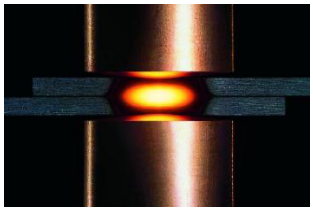
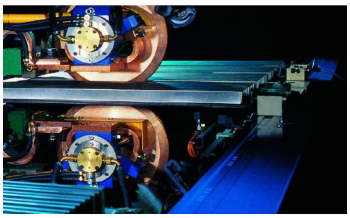
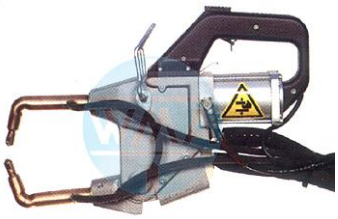
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE KULLANILAN KAYNAK YÖNTEMLERİ (DERS NOTLARI)

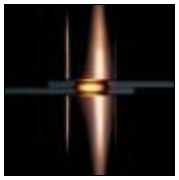






PROF. DR. SALİM ASLANLAR

Şubat 2012

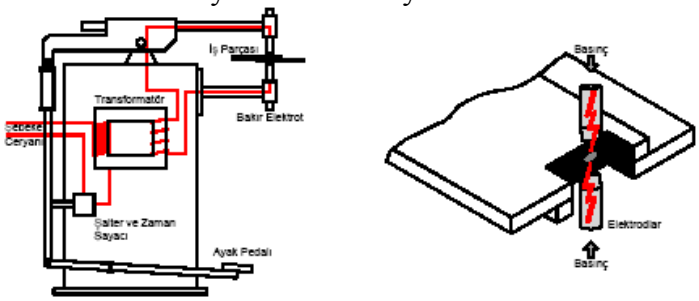


1 ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI

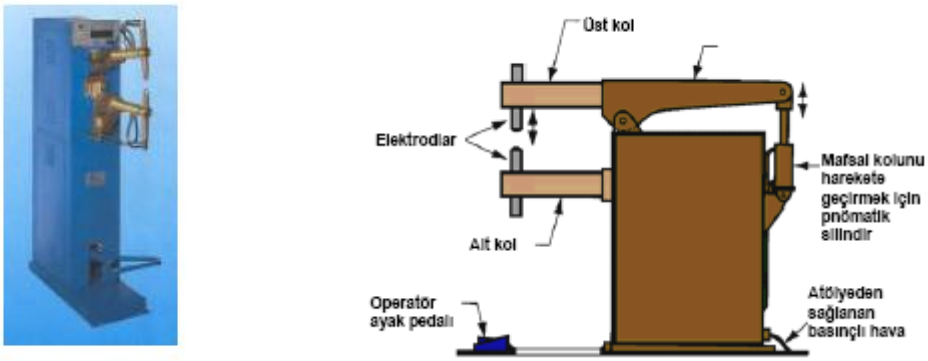
1.1 Direnç nokta kaynağı prensibi

Elektrik direnç nokta kaynağının prensibi, elektrotlar arasında basınç altında bir arada tutulan iş parçalarından geçen elektrik akımına karşı, iş parçalarının gösterdiği direnç nedeniyle meydana gelen ısı ile yapılan kaynak yöntemidir. Kaynak edilecek parçaların temas yüzeyi, kısa bir süre tatbik edilen düşük gerilim ve yüksek akım ile ısıtılarak erimiş haldeki kaynak çekirdeğine dönüştürülür. Elektrik akımı kesilince, erimiş metal hızla soğur ve katılaşır. Bu sırada elektrotlar, kaynak edilen parçaları sıkı bir şekilde tutmaya devam ederler daha sonra geri çekilerek parçayı serbest bırakırlar. Kaynak işlemi genellikle 1 sn ‘ den daha kısa bir sürede tamamlanır. Elde edilen kaynağın şekli ve boyutu öncelikle elektrot ucunun boyutu ve çevresi ile belirlenir. Şekil de ‘görüldüğü gibi kaynak çekirdeği iki parçanın temas yüzeylerinde meydana gelir ve dış yüzeylere kadar yayılmaz Kesit alınırsa, uygun bir şekilde yapılmış kaynağın çekirdeğinin oval şekilde olduğu görülür. Üstten görünüşü ise elektrot yüzeyinin şeklinde ve yaklaşık aynı boyuttadır.

Kaynak noktaları, parçaların elektrot kuvveti ile çarpılması sonucu kaynak noktasından metalin kıvılcım halinde fırlamasını önlemek için kenarlarından yeteri kadar uzakta olmalıdır. Diğer yandan, paralel akım devrelerinin meydana gelmesini önlemek veya makul bir seviyede tutabilmek için, birbirini takip eden kaynak noktaları ve hatları arasındaki mesafe yeteri kadar büyük olmalıdır.

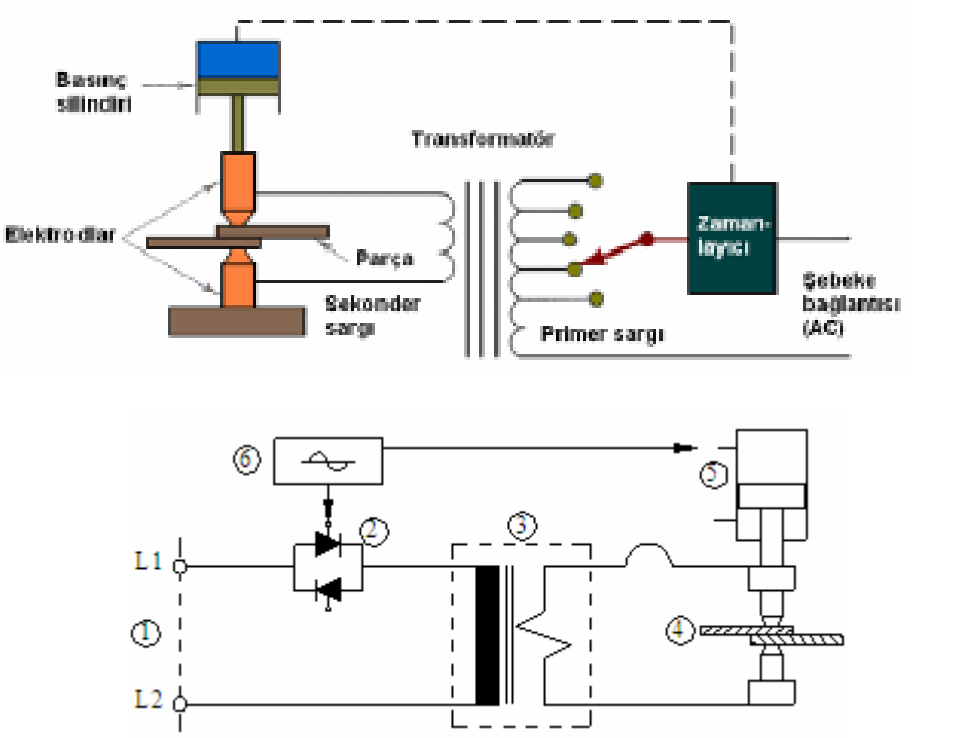


Şekil 1.1 Elektrik direnç nokta kaynağının prensibi



Şekil 1.2 Elektrik direnç nokta kaynağı makinesi

Kaynak için gerekli akım, yüksek gerilim ve düşük akım şiddetindeki şebeke elektrik akımını, düşük gerilim ve yüksek akım şiddetinde kaynak akımına çeviren kaynak makinesinden sağlanır. Gerekli basınç veya elektrot kuvveti, hidrolik, pnömatik veya mekanik donanımlarla gerçekleştirilir (Şekil 1.2) ,(Şekil 1.3) .



Şekil 1.3 Elektrik direnç nokta kaynağı makinesinin şematik görünüşü

(1) Şebeke bağlantısı
(2) Akım ayarlayıcı
(3) Transformatör
(4) Sekonder devre akım iletimi ve elektrotlar
(5) Kuvvet iletim sistemi
(6) Prozess-Kontrol Cihazı

I akımı, *R* ohmik direncinden *t* süresince geçtiğinde, Joule kanununa bağlı olarak *J* birim ısı açığa çıkar.

$$Q = I^2 \; R \; t$$

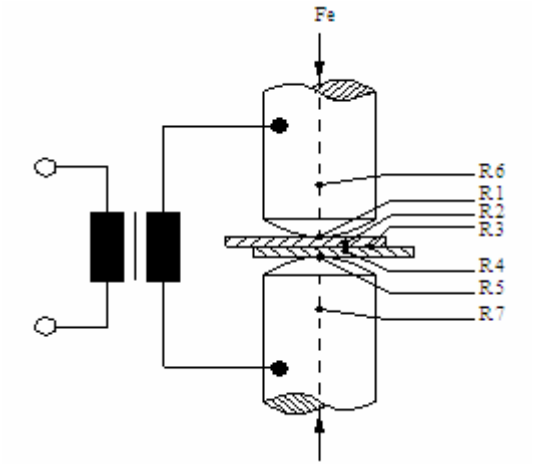
Burada,

$$R = R_i = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7$$

dır, yani sekonder devredeki toplam dirençtir.
Bu dirençler

- Malzeme dirençleri :
  R_6 , R_7 elektrotların direnci
  R_2 , R_4 iş parçalarının dirençleri

- Temas dirençleri :
  R_1 , R_5 elektrod - malzeme temas direnci
  R_3 malzeme - malzeme temas direnci



Şekil 1.4 Elektrik direnç nokta kaynağında meydana gelen Dirençler.

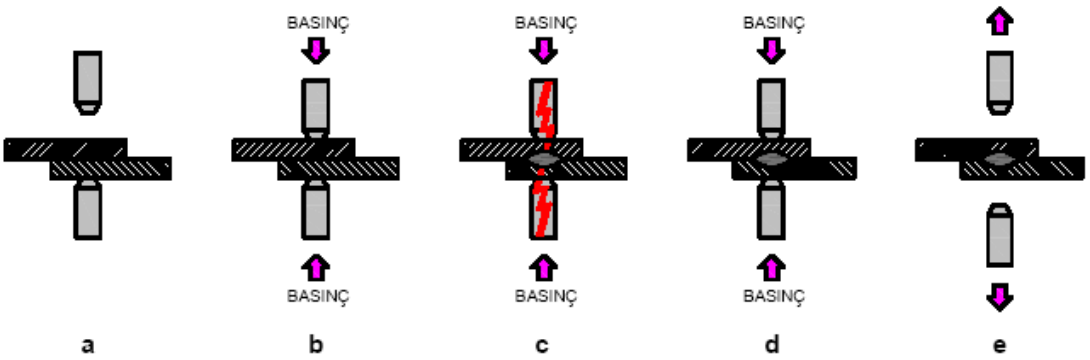
Malzeme direnci, malzemenin fiziksel özelliklerinden kaynaklanır ve değişken değildir. Temas dirençleri ise, malzemenin ve elektrotların uç durumlarına bağlı olarak değişir.

Kaynak sırasında $\mathbf{R_3}$, en büyük ısının gerçekleşeceği direnç olarak seçilir. Diğer dirençlerdeki ısınmaların mümkün olduğunca küçük olması gerekir. Bu ise, I kaynak akımının, t kaynak süresinin ve F elektrot kuvvetinin seçimiyle sağlanır. Temas dirençleri bağlantının kalitesine etki ederler.

R_1 ve R_5 temas bölgelerindeki ısınma, mümkün olduğunca düşük tutulur. Bu ise, iyi ısı ileten elektrot ve malzeme yüzeyleriyle sağlanır. Yüzeylerdeki pas, yağ ve boya gibi iyi ısı iletmeyen tabakaların olmaması gerekir. Temas dirençleri, farklı büyüklükte ısı miktarlarına ve bağlantı dayanım özelliklerinin farklılaşmasına yol açar.

1.2 Kaynak Çevrimi

Kaynak çevrimi 4 ana zaman diliminden oluşur.



Şekil 1.5 Elektrik direnç nokta kaynağı işlem sırası

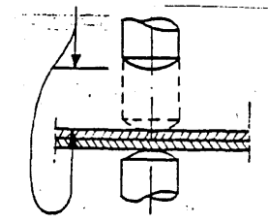
Bunlar;

- Yaklaşma ve sıkma zamanı(a-b)
- Kaynak zamanı(c)
- Tutma zamanı(d)
- Ayrılma zamanı(e)

1.2.1 Yaklaşma ve sıkma zamanı

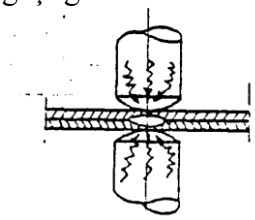
İşlemin başlatılması ile kaynak akımının tatbikatını arasında geçen zamandır. Yaklaşma zamanı, elektrotların birbirine yaklaşıp iki sacı sıkmasıdır. Bu zaman süresince basıncı

sağlayan silindirin selenoid vanası açılır, üst kol aşağı inerek kaynak edilecek parçalar ile temasa gelir ve elektrot kuvveti teşekkül eder.



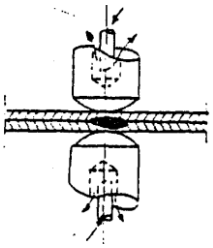
1.2.2 Kaynak zamanı

Devreden akımın, birleştirilen saçlardan düşük gerilimde yüksek akım şiddetinde akımın geçtiği süredir.



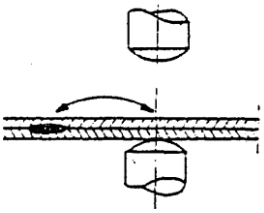
1.2.3 Tutma zamanı

Kaynak akımı kesildikten sonra, kaynak çekirdeğinin katılaşması için elektrot kuvvetinin parçalar üzerinde tutulduğu süredir. Elektrotlar içinde su sirkülâsyonu vasıtasıyla kaynak noktasının soğutulması eğer bu sürenin başlangıcında sıkma basıncı arttırılırsa bu etap tutma zamanı olarak da adlandırılır.

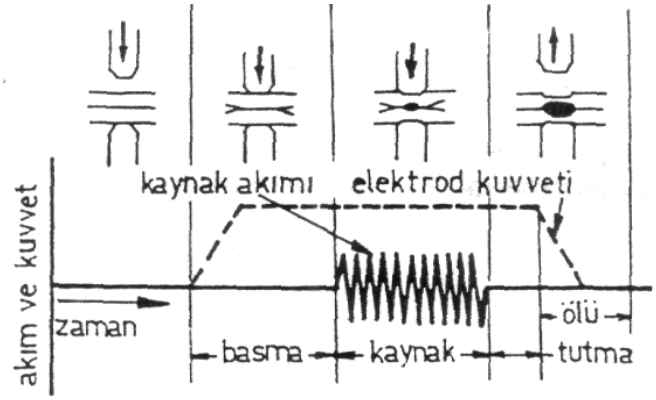


1.2.4 Ayrılma zamanı

Tutma zamanının sonu ile bir sonraki çevrimin yaklaşma zamanının başlangıcı arasındaki kısa bir süre olup, parçaların diğer bir nokta kaynağı için hareket ettirildiği süredir. Otomatik çevrimde ayrılma zamanı elektrotların geri çekilmesi ve parçanın alınması veya yeniden pozisyonlanması için gerekli zamandır. Kesikli çevrimde ise bu sure kontrol cihazı tarafından tayin edilmez, süresi operatörün yeni çevrimi başlatmak için geçirdiği süreye eşittir.



Bütün bu zaman dilimlerinin süreleri Periyot ile ifade edilir. Frekansı 50 Hz olan bir sistemde bir perıyod 1/50 saniyeye tekabül eder.



Şekil 1.6 Elektrik direnç Nokta Kaynağında Kaynak Çevrimi

1.3 Direnç kaynağında meydana gelen ısı

Direnç nokta kaynağı makinelerinin Sekonder devreleri, kaynak edilecek parçalar dahil, bir seri dirençten meydana gelmiş. Bu dirençlerin toplamı elektrik akım şiddetini tayin eder. Elektrik akımı (amper olarak) devrenin her noktasında, o noktanın direncinden bağımsız olarak aynıdır. Bununla beraber herhangi bir noktada meydana gelen ısı, direk olarak o noktadaki direnç ile orantılıdır. Sekonder devreyi meydana getiren elektriksel sistem, istenilen noktada ısı meydana getirecek ve sistemin geri kalan elemanlarının relatif olarak soğuk kalmasını sağlayacak şekilde etüt edilmiştir.

Dönüştürülen bu ısının tümü, kaynak noktasında oluşturulan dikişte harcanmaktadır. Elektrotların aşırı ısınmaya karşı, hava ya da su ile soğutulması, özellikle uzun zaman aralıklarında yapılan kaynak işlemlerinde ısınan parça boyunca yayılması, tükenen bu ısının bileşenleri olarak sayılabilmektedir. Oluşturulan kaynak noktalarının büyüklüğü, verilen ve kaçan ısı miktarlarının sabit olması durumlarında bile eşit olmayabilmektedir.

1.3.1 Kaynak bölgesinde ısı oluşumu

Kaynak bölgesinde kaynak işlemi için gerekli ısı miktarı, sadece I, R ve t' nin Joule etkisine bağlı olmayıp, aynı zamanda malzemenin kaynağa uygunluk şartına da bağlıdır. Verilen kaynak akımı ve bu akımın uygulanma süresinde oluşan ısı miktarı, aşağıdaki şartlara bağlıdır.

- *Malzemelerin ve elektrotların ısı iletim kabiliyetleri*
- *Temas noktalarının, yani elektrot ve malzemelerin pürüzlülük ve temizlik gibi yüzey şartları.*

Nokta Kaynağında ısı üretimi, bir bilânço esasına göre oluşup tüketildiğinden, Q

Q_1: Kaynak sırasında oluşan,
Q_2: Elektrotlarda oluşup noktaya iletilen,
Q_3: Kaynak noktasının oluşumunda kullanılan,
Q_4: Isı iletimi ile parça içine ve çevreye dağılan ısı miktarları olarak

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4$$

şeklinde yazılabilir. Kaynak noktasında ve elektrotlarda oluşan ısının toplamı:

$$Q_1 + Q_2 = 0{,}24.\ I_k^2\ .\ R_{top}\ .\ t_k\ (cal\ )$$

şeklinde, noktanın oluşumunda kullanılan ısı ise,

$$Q_3 = 0{,}24\ C_1 \,.\, G \,.T + C_2 \,.\, G\ (cal)$$

Burada:

G	*(g)*	*Kaynak çekirdeğinin kütlesi*
T	*(°K)*	*Malzemenin ergime sıcaklığı*
C_1	*(J/g °K)*	*Malzemenin özgül ısısı*
C_2	(cal / g)	*Malzemenin özgül ergime ısısı*

parça içine dağılan ısı.

$$Q_4 = 0{,}24\ T \,.\, L_t \,.\, t_k\ (cal)$$

şeklinde ifade edilir.

Burada:

L_t	(m)	Deney parçasının toplam uzunluğu
t_k	(perıyod)	Kaynak süresi
T	(°K)	Malzemenin ergime sıcaklığı

Kaynak çekirdeğinin kütlesi ise,

$$G = \gamma \,.\, 4/3 \,.\, \pi \,.\, (dn/2)^2 \,.\, (hn / 2)$$

olarak ifade edilir.

Burada:

γ	(g/cm^3)	Malzemenin özgül ağırlığı
hn	(mm)	Çekirdek boy çapı
dn	(mm)	Çekirdek en çapı

Kaynak bağlantısının oluşturulmasındaki önemli şart, üretilen ısının, birim zamanda iletilen ısıdan büyük olması yani ısının yığılabilmesidir. Büyük soğuma hızları, yüksek ısı iletim kabiliyetine bağlı olup, malzemelerde, sertleşmeye ve böylece çatlak eğilimine neden olur. Su ile soğutulan elektrotlardaki yüksek ısı iletim kabiliyeti istenen bir özeliktir ve elektrot ile malzeme arasındaki temas sıcaklığını düşük tutar. Böylece elektrot ve malzeme arasındaki alaşımlaşma en düşük seviyede tutulur.

1.3.2 Isı kaybı

Kaynak işleminde ısı kaybı iki şekilde etüt edilmelidir;

- *Akımın uygulama zamanı sırasındaki ısı kaybı,*
- *Akımın kesilmesinden sonraki ısı kaybı.*

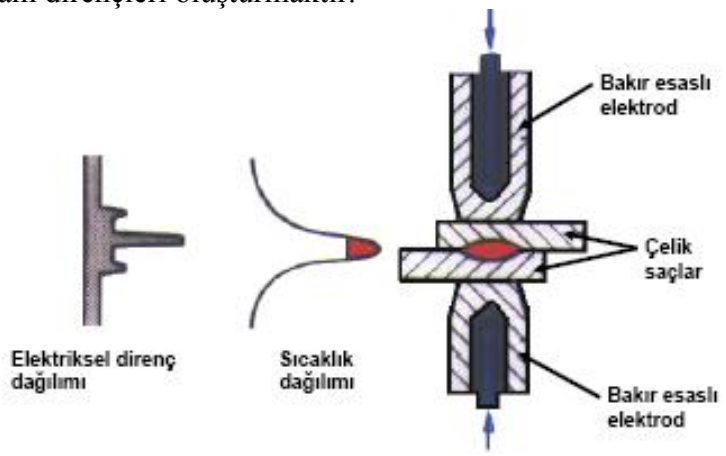
Birinci safhadaki ısı kaybının derecesi, aşağıdaki faktörlere bağlıdır:

- *Metalin bileşimi*
- *Parçaların kütlesi*
- *Kaynak süresi*
- *Dış soğutma vasıtası*

Verilen bir akım şiddeti için, üretilen ısı, elektrik iletkenliği ile ters orantılıdır. Isıl iletkenlik, bu ısının kaynak bölgesinden kayıp veya iletilme hızını belirler. Bu iki faktör, metallerde aynı yönde paralel gider. Eğer elektrotlar, akım kesildikten sonra iş parçası ile temas halinde kalır ise, elektrot malzemesinin yüksek ısı iletim kabiliyeti sebebiyle, kaynak bölgesi hızla soğur. Elektrotların etkili bir biçimde su ile soğutulması ısı kaybını hızlandırır. Kaynak bölgesinden, iş parçalarına doğru soğuma hızı, uzun kaynak zamanı kullanarak azaltılabilir. Soğutma hızı, uzun kaynak zamanının kullanıldığı kalın levhalarda düşük, kısa kaynak zamanını kullanıldığı ince levhalarda büyüktür. Elektrotlar kaynak yerinden derhal kaldırılacak olursa, ısı kaynak bölgesini saran metale ve atmosfere geçeceğinden imkân verecek kadar yerinde tutmak uygun olur.

1.3.3 Kaynak Noktasında Oluşan Elektriksel Direnç

Kaynak bölgesindeki direnci, birleştirilen malzemelerin dirençleri ile kontak noktalarının toplam dirençleri oluşturmaktır.



Şekil 1.7 Elektrik direnç nokta kaynağı elektriksel direnç dağılımı ve sıcaklık dağılımı

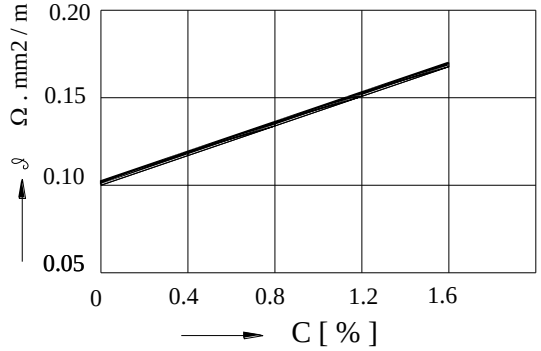
Malzemelerin dirençlerini,

- *Malzemelerin kaynak edilen bölgelerinin, imal ve hazırlanmasından gelen fiziksel özellikler*
- *Kaynak devresindeki akımın çeşidi ve büyüklüğü*
- *Akım devresindeki sıcaklık, belirlenmektedir.*

Kontak noktalarının dirençleri ise ,

- *Üst elektrot – parça*
- *Parça - parça*
- *Parça - alt elektrot*

temas noktalarındadır. Uygulamada elektrotları kendi dirençleri genellikle ihmal edilebilecek boyutlarda bulunmaktadır. Karşılaştırma açısından, saf metaller alaşımlardan daha kararlı yüksek dayanım gösterirlerse de, alaşım elemanlarının bileşiminde yükselmesi ile özgül dirençleri de saf durumlarına kıyasla daha yüksek değerlere ulaşmaktadır.
Karşılaştırma açısından, saf metaller alaşımlardan daha kararlı yüksek dayanım gösterirlerse de, alaşım elemanlarının bileşimde yükselmesi ile özgül dirençleri de saf durumlarına kıyasla daha yüksek değerlere ulaşmaktadır. Saf demirde C-yüzdesinin artımına bağlı olarak, özgül direncinin değişimi Şekil.1.8.'de görülmektedir. Bileşimde bulunan Si ve diğer elemanlar nedeni ile de özgül direncin daha da büyüyeceğinin dikkate alınması gerekmektedir.



Şekil 1.8.Çelikte bileşimde bulunan C- yüzdesi – özgül direnç ilişkisi

Su verilmiş ve soğuk şekillendirilmiş teknik metallerde, genellikle Elektriksel direnç yükselmektedir. Bu tür işlemler uygulanmış Metallerin, bilinen ısıl işlemlerle başlangıç

özelliklerine dönüştürülmesine, çoğu kez, ihtiyaç duyulabilmektedir. Bir elektrik iletkenin direnci;

$$R=(\rho.l)/A$$

δ =malzemenin özgül direnci ($\Omega.mm^2$ /m)
l =ileticinin uzunluğu (m)
A=ileticinin kesiti (mm^2)

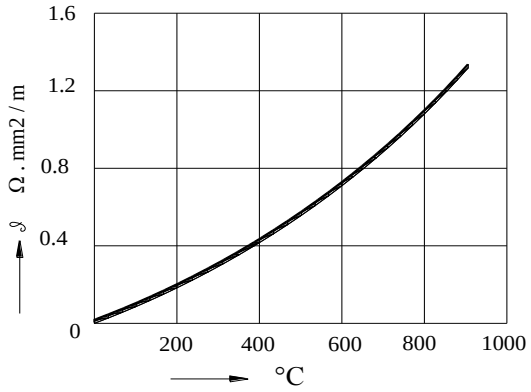
Bu ifadenin nokta kaynağında akım geçen kesite göre yazılışı.

$$R=(\rho.2.s)/(\pi.d^2.250)$$

Şeklinde olur
2s=akım yolunun uzunluğu (mm)
s =parça kalınlığı (mm)
d =Akım geçen kesitin çapı (mm)

Bu örnekte akım geçen kesit ile elektrot temas yüzeyi birbirine eşittir. İşlemlerde, eş değerde nokta dayanımlarının elde edilmesi amaçlandığından, elektrot temas yüzeylerinin çapları önemsiz boyutlarda değiştirilebilmektedir.

Sıcaklığın büyümesi ile metalsel malzemelerin özgül dirençleri büyümektedir. Bu özellik kaynak devresindeki metalsel malzemeye, direncinin büyümesi seklinde yansımaktadır. Şekil.1.9.'da saf demire ait, oda sıcaklığı ile 950°C arasındaki özgül direnç değişimi verilmektedir.



Şekil 1.9 Saf demirde sıcaklığa bağlı olarak özgül direncin değişimi

Sıcaklığın büyümesi ile metalsel malzemelerin özgül dirençleri büyümektedir. Bu özellik kaynak devresindeki metalsel malzemeye, direncinin büyümesi şeklinde yansımaktadır. Özgül direncin sıcaklığa bağlı olarak değişimini, aşağıda verilen ifadeden de hesaplamak mümkündür;

$$\rho_t = \rho_o [1 + \alpha (t-20)]$$

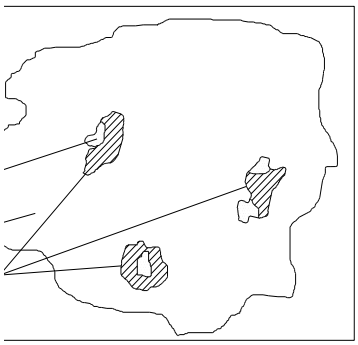
ρ_t = t C' de özgül direnç (Ω . mm^2 / m)
ρ_o = oda sıcaklığında özgül direnç (Ω . mm^2 / m)
α = sıcaklık katsayısı (1 / C)

Bazı metalsel malzemelerin oda sıcaklığında, özgül dirençleri ve sıcaklık katsayıları Tablo 1.1'de verilmektedir. Sıcaklık artımı ile malzemelerin özgül dirençleri 2 – 8 kat arasında değiştiği görülmektedir. İki metal yüzeyi basınç altında tutulduğunda, temas sınırları içinde birçok değme noktalarının bulunduğu gözlenmektedir.

Tablo 1.1 Bazı metalsel malzemelerin, oda sıcaklıklarında özgül direnç katsayıları

Malzeme	Özgül Direnç (Ω . mm^2 . m^{-1})	Sıcaklık Katsayısı ($^oC^{-1}$) x 10^{-5}
Al 99.5	0.0278	4.0
Al Mg 5	0.059	2.1
Fe	0.10	5.6
Cu	0.0178	3.9
Ni	0.069	6.9
Ag	0.0159	4.0
Çelik (% 0.1C, % 0.5Mn)	0.13 – 0.15	4.0 – 5.0
Çelik (% 0.25C, % 0.3 Si)	0.18	4.0 – 5.0
Çelik (% 1.0C, % 10.0Mn)	0.66	1.3

İki metal yüzeyi basınç altında tutulduğunda, temas sınırları içinde birçok değme noktalarının bulunduğu gözlenmektedir. Değme noktalarındaki değişim, değme yüklerinin etkisi altında bulunmaktadır. Şekil değiştirme süreci içinde sürekli yeni temas noktaları oluşmakta, bu aşmada ya plastik değiştirmeler meydana gelmekte veya elastiklik sınırları arasında bulunmaktadır.



Şekil 1.10 Elektrot Temas Yüzeyleri
A: görülen temas yüzeyi
A_o: gerçek temas yüzeyi
a: başlangıç akım geçiş yüzeyleri

Uygulamada ideal düzlemlerin oluşturulması imkan dışı olduğunda , gerçek toplam kontak yüzeyi $\mathbf{A_0}$, temas yüzeyi olarak bilinen **A** ‘ dan daha küçüktür . Bu kontak yüzeyleri farklı geometri şekil ve boyutlarda kuralsız olarak yüzeyde dağılmış durumdadırlar. Burada yük taşıyan yüzeyler, farklı geometrik biçim ve şekil değiştirme oranlarına sahip olduklarından, kısmi veya tam bir örtü tabakası ile de kaplı olmaları ihtimalinden, birbirleri için tam bir elektriksel akış alanı olması özelliğini taşımamaktadır. Akım geçen her bir yüzey **a** ve kontak yüzeyleri toplamlarında $\mathbf{A_0}$ ile tanımlanmaktadır. Kontak direncinin incelenmesinde,

- Dış zarf direnci (Rh)
- Akım geçen boğaz direnci (Re)

var oluşu dikkate alınarak, toplam kontak direnci;

$$Rk = Rh + Re$$

olarak yazılabilmektedir.

Dış zarf direncinin nedeni, malzemenin temas yüzeyinden oluşmuş oksit, yağ filmi veya benzeri yabancı tabakalardır. Bu yüzeysel yabancı elemanlar, belirli bir kalınlığın altında bulunması durumunda, metalsel bir tabaka rolü oynarlar. Dış zarf direnci görülen temas yüzeyinin (A) durum ve büyüklüğüne bağlı olmayıp, gerçek kontak noktalarının

büyüklüklerinin etkisi altındadır. Verilen örnekte ele alınan A yüzeyi içinde birkaç noktadan akım geçebilmektedir. Akım yolunun büzülmesinden doğan bu direnç, R_e boğaz direnci olarak tanımlanmaktadır.

1.4 ELEKTROTLAR

Elektrik direnç nokta kaynağında kullanılan elektrotların değiştirilme imkânı vardır. Elektrik direnç nokta kaynağı elektrotlarından şu koşulları yerine getirmesi istenir;

- *Yüksek sıcaklıkta sertlik,*
- *Malzeme ile düşük alaşımlaşma eğilimi,*
- *İyi elektrik ve ısı iletim kabiliyeti,*
- *Yüksek dayanım,*
- *Elektrot uçlarının emniyetli soğutulması.*

Düşük dayanım nedeniyle saf bakır çok nadir kullanılmaktadır. Bakır krom, gümüş, berilyum, molibden ve diğer metaller ile alaşımlandırılmaktadır. Bu tür bir alaşımlandırma, yüksek sıcaklıklarda büyük dayanımlar sağlar. Elektrot şekil ve ölçüleri, ısı iletimini, akım yoğunluğunu, temas direncini ve kaynak çekirdeğini belirlemektedir. Düz uçlu elektrot, düz yüzeylerin kaynağında kullanılmaktadır. İnce oksit tabakalarının parçalanması ve ilk temasta büyük akım yoğunluklarının eldesinin gerektiği durumlarda ise küresel uçlu elektrotlar kullanılmaktadır. Amerikan standartlarına göre elektrot malzemeleri iki ana gruba ayrılmıştır.

- *A grubu: bakır alaşımları*
- *B grubu: refrakter metal bileşimleri*

1.4.1 A-grubu bakır esaslı alaşımlar

Bunlar üç sınıfa ayrılmışlardır:

1.4.1.1 Malzeme sınıfı 1

Nominal bileşimi %1 kadmiyum ve %99 bakır olan bir alaşımdır. Bu malzeme yüksek mukavemete ve sertliğe ve aynı zamanda yüksek ısı ve elektrik iletkenliğine sahiptir. Bu malzeme ısıl işleme tabi tutulamaz. Sertleştirme ve dayanıklılık kazandırma soğuk haddeleme işlemi ile elde edilir ve bu işlem malzemenin yüksek ısı ve elektrik iletkenliğini etkilemez. Bu alaşım, çubuk veya kütük şeklinde çekile bilir, yassı çubuk veya levha haline getirile bilir, dövüle bilir.

1.4.1.2 Malzeme sınıfı 2

Bu sınıfın nominal bileşimi %0.8 krom ve geri kalanı bakır olan alaşım meydana getirir. Bu malzeme 1. Sınıfa nazaran daha yüksek mekanik özelliklere fakat daha düşük ısı ve elektrik iletkenliğine sahiptir. Malzeme sınıfı2, çok geniş bir sahaya hitab eden genel maksatlı elektrotların yapımında kullanılır.
Bu malzeme çubuk veya kütük şeklinde çekilebilir, yassı çubuk veya levha haline getirilebilir, dövüle bilir veya döküle bilir.

1.4.1.3 Malzeme sınıfı 3

Nominal birleşimi % 0.5 berilyum , %1 nikel, %1 kobalt ve geri kalanı bakır olan alaşımdır. Sertleştirile bilir bir malzemedir. Sınıf 1 ve 2 ye nazaran daha yüksek mekanik

özellikleri fakat daha düşük ısı ve elektrik iletkenliğine sahiptir. Bu malzeme çubuk veya kütük şeklinde çekilebilir, yassı çubuk haline getirile bilir ve dövüle bilir.

1.4.2 B-grubu: refrakter metal bileşimleri

1.4.2.1 Refrakter-metal

Tungsten, tantal, molibden gibi erime noktası yüksek metaller refrakter metal olarak adlandırılırlar. Çeliklerin nokta kaynağında kullanılan refrakter metal (RWMA grup B) bileşimlerinin minimum özellikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir. Bu grup 10, 11, 12, 13, ve 14 olmak üzere beş sınıfa ayrılır. Bu elektrot malzemeleri yüksek ısı, uzun kaynak zamanı, kifayetsiz soğutma veya yüksek elektrot kuvveti gibi nedenlerin bakır esaslı elektrotların kısa zamanda bozulmasına sebep olduğu durumlarda kullanılırlar.

- **MALZEME SINIF 10**
  Bu malzeme yüksek erime noktasına sahip bakır-tungsten alaşımıdır.
- **MALZEME SINIF 11**
  Hacim olarak %42 bakır ve %58 tungsten ihtiva eden refrakter metal olup yüksek sertliğe fakat sınıf 10a göre daha düşük elektrik iletkenliğine sahiptir.
- **MALZEME SINIF 12**
  Bakır-Tungsten refrakter metal olup sınıf 11e nazaran daha yüksek sertliğe ve daha düşük elektrik iletkenliğine sahiptir.
- **MALZEME SINIF 13–14**
  Sırası ile alaşımsız tungsten ve molibdenden meydana gelmişlerdir. Genellikle bakır alaşımlarının düşük karbonlu çelikler ile kaynağında kullanılır.

1.4.2.2 Özel Alaşımlar

Bunlar bakır-zirkonyum ve bakır-kadmiyum-zirkonyum gibi alaşımlar olup, özellikleri sınıf 1 ve sınıf 2 malzemelerininkine benzer. Çinko, alüminyum, kalay, kalay-kurşun alaşımı ve kadmiyum ile kaplanmış çeliklerin kaynağı için uygun elektrot malzemesidirler.

1.4.3 Elektro Bakımı

Elektrot uçlarının şekli, boyutları ve yüzey şartları kaynak kalitesi açısından çok önemlidir. Elektrotların uçları, mekanik aşınmaya ve deformasyonlara maruz kalırlar. Elektrot uçlarının bozulma hızı elektrodun malzemesine, şekline, kaynak sıcaklığına, ısınma ve soğuma hızlarına ve kaynak kuvvetine bağlı olarak değişir.

Kaynak edilen parçalın malzemesi ile elektrot malzemesi arasında alaşım teşekkülü, elektrot ucunun bozulma hızını çok arttırır. Zayıf ve tutmamış kaynak noktaları, gayri muntazam şekilli kaynak noktaları, girintili kaynak noktaları, yanma ve metalin renk değiştirmesi ve elektrodu kaynak edilen parçalar üzerine çökmesi hatalara meydan vermemek için elektrot uçlarını durumlarına sürekli olarak dikkat etmek lazımdır ve gerektiğinde değiştirilmelidir.

1.4.4 Elektrot Etüdü

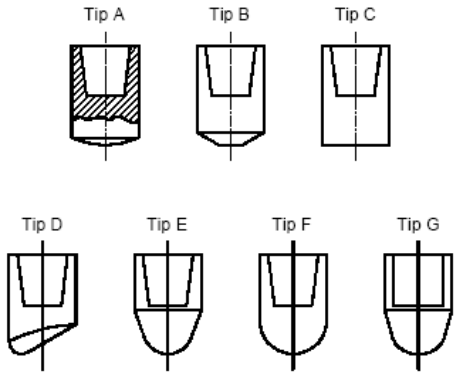
Elektrot etüdü yapılırken elektrodun dört yapısal özelliğini göz önünde bulundurmak gerekir.

- **Elektrot ucu:**

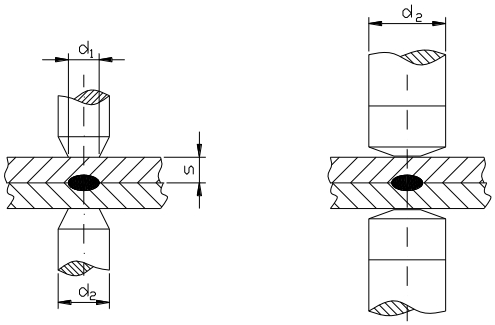
Kaynak edilecek metaller ile bunların erime noktalarının altında veya üzerindeki sıcaklıklarda temas halindedir. İmalat sırsında elektrotlar tekrarlanan yüksek sıcaklık ve basınca maruz kalırlar. Bu bakımdan elektrot malzemesinin seçiminde elektrodun alaşım meydana getirmesi kaynak edilen metaller üzerinde çökme olasılığı ile maruz kalacağı deformasyonlar göz önüne alınmalıdır.

Elektrodun ucunun boyutları kaynak edilecek metalin kalınlığı, kaynak çekirdeğinin boyutu ve birleştirilecek parçaların boyut ve şekilleri bakımından belirlenir. Elektrot uç ve şekilleri standartlaştırılmış olup A dan F ye kadar harflerle belirtilen 6 standart tip ayrılmıştır.

Tip A=sivri uçlu elektrot
B=kesik küresel uçlu elektrot
C=düz uçlu elektrot
D=eksantrik elektrot
E=kesik koni uçlu elektrot
F=küresel uçlu elektrot



Şekil 1.11 TS EN 2582' ye göre Elektrik Direnç Nokta Kaynak Elektrot Uçları

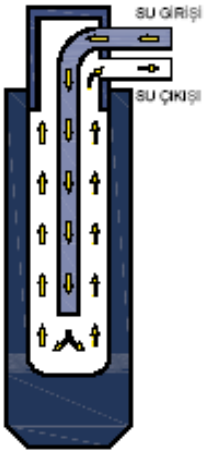


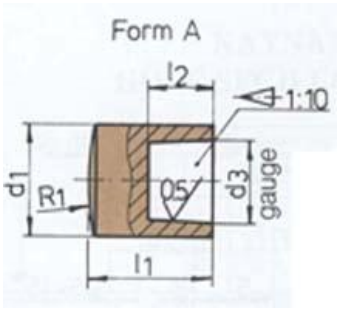
a) b)

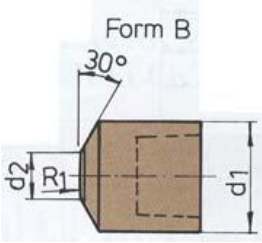
Şekil 1.12 En yaygın kullanılan nokta kaynağı elektrotları
a) düz uçlu elektrotlar
b) küresel uçlu elektrotlar

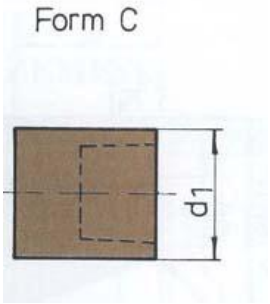
- **Elektrot gövdesi**
- **Elektrot taşıyıcıya bağlantı şekli**
- **Soğutma durumu:**

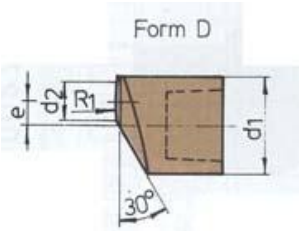
Kaynak süresini uzatabilmek için elektrotlar genel olarak su ile soğutulur. Elektrot temas yüzeyinin büyümesi, akım yoğunluğunu azaltır. Elektrot uçlarının düz şekilde tutulması için zımpara ve cilalama uygulanır. Böylece elektrot ile iş parçası arasındaki temas dirençleri mümkün olduğunca düşük tutulur.

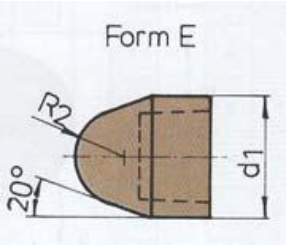


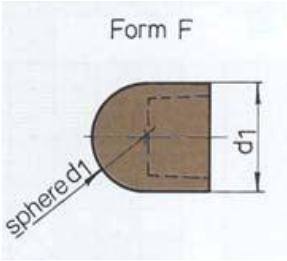


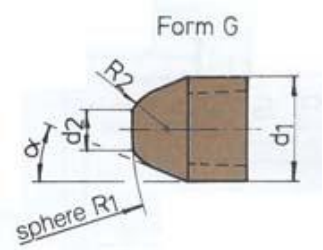


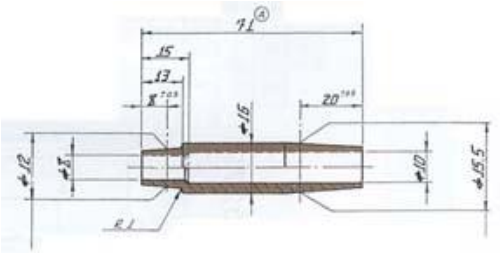






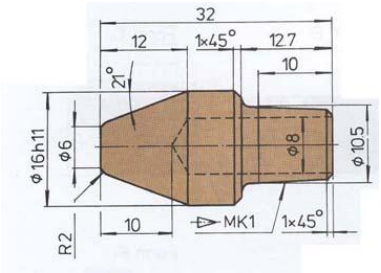


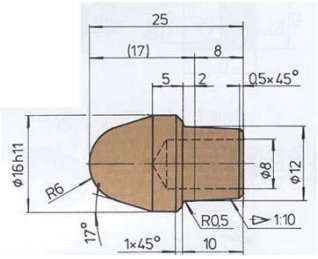


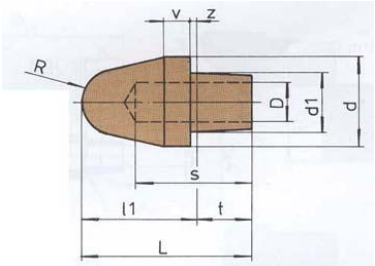


Dimensions

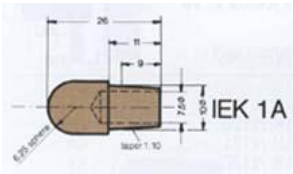
d1 h 11	d2	d3	I1	I2 ± 0,5-0	c	R1	R2	α	Electrode force Fmax/kN
13	5	10	18	8	3	32	5	-	2,5
16	6	12	20	10,5	4	40	6	15"	4
20	8	15	22	11,5	5	50	8	22,5"	6,3

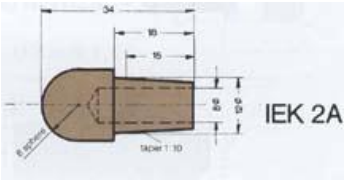


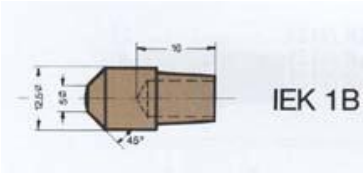


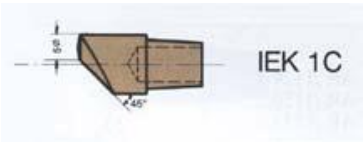


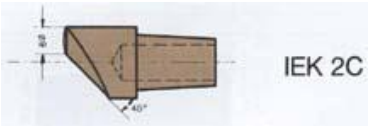
d	tol.	d1	D	L	I1 +-0,3	R	S +-1	t +-0,3	V	Z
16	+-0,10	12	8	25	17	6	13	8	5	2
20	+-0,12	14	10	39	27	8	25	12	7	2
25	+-0,12	15	11	47	32	9	32	15	7	2

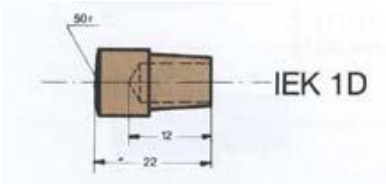


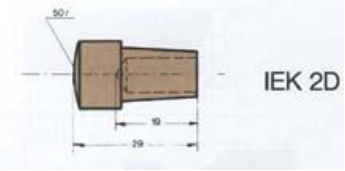


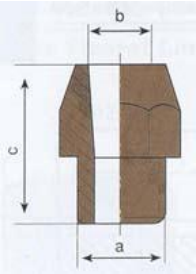






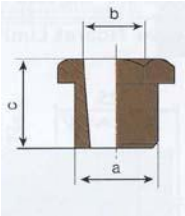


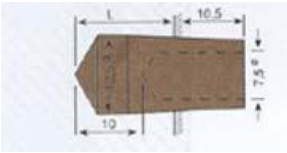
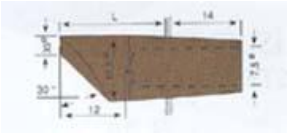
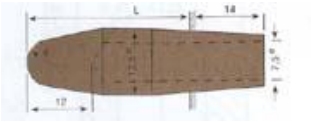
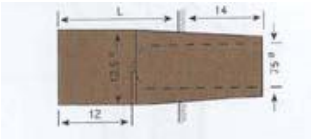


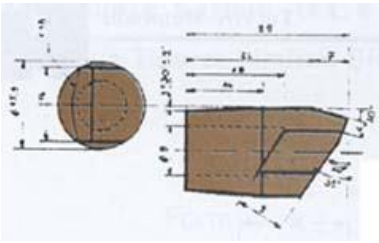


Kavrama çapı Ø 17,8

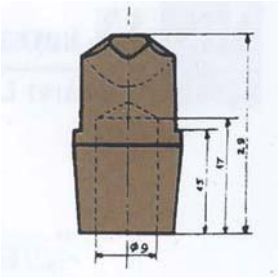
Konik 1 : 10



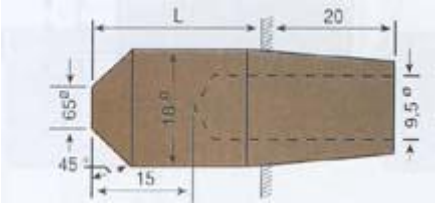
	Elektrot No.	L « mm »
	AR / 1120 AR / 1121 AR / 1122	25 40 55
	AR / 1123 AR / 1124 AR / 1125	25 40 55
	AR / 1126 AR / 1127 AR / 1128	25 40 55
	AR / 1129 AR / 1130 AR / 1131	25 40 55
	AR / 1132 AR / 1133	25 40
	AR / 1140	45



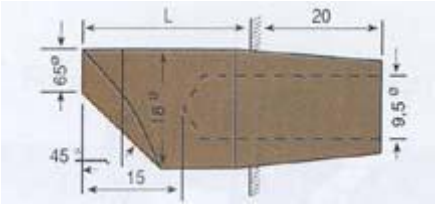
Kavrama çapı 17,8 Ø Konik 1 : 10



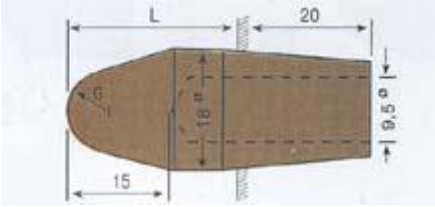
Elektrot No.	L « mm »



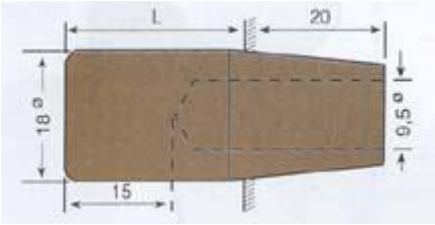
AR / 1101	15



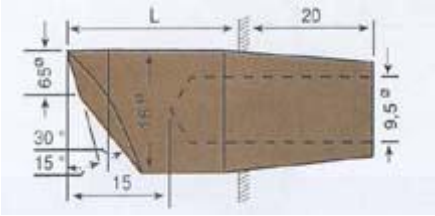
AR / 1102	20
AR / 1103	30
AR / 1104	45
AR / 1105	60



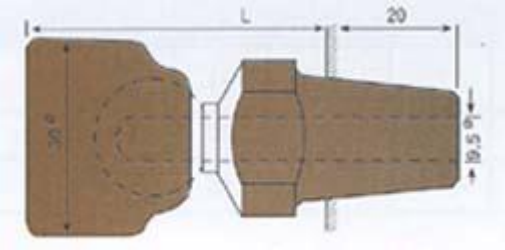
AR / 1106	20
AR / 1107	30



AR / 1108	20
AR / 1109	30
AR / 1110	45
AR / 1111	60



AR / 1112	30
AR / 1113	45
AR / 1114	60

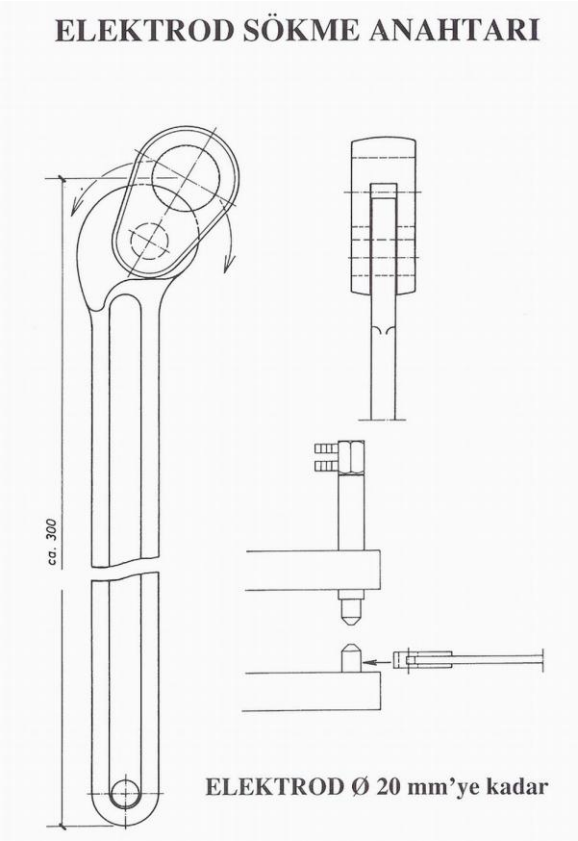


AR / 1115	20
AR / 1116	30
AR / 1117	45
AR / 1118	60

1.4.4.1 Elektrot değişiminde dikkat edilecek kurallar

- Elektrot değişikliğine başlanacağında makine kaynaksız konuma getirilir,
- Soğutma suyu giriş ve çıkış vanaları kapatılır,
- Elektrodu değişecek pensin alt kolu mengeneli arabaya bağlanır,
- Elektrodun çapına göre sökme aparatı seçilerek elektroda yerleştirilir ve elektrot alt veya üst koldan ayrılır. Bu sırada elektrodu çıkarmak için taşıyıcıya çekiç vb. malzeme ile vurmak malzemenin yapısını, şeklini bozar. Maliyetleri artırır.
- Taşıyıcı içindeki spiralin boyu, tıkalı, ezik, deforme olup olmadığı kontrol edilir.
- Pens göbek boşluğu kontrol edilir.
- Yeni elektrotlar takıldığında uçların birbirini karşılayıp karşılamadığı kontrol edilir.

- Karşılamıyorsa elektrot uçları aşırı tesviye edilmemeli, pens kolları ayarlatılmalıdır.
- Pensin posta öngörülerine göre gerekiyorsa eksen aralığı kontrol edilir.
- Rekor ile takılan şekilli (sabo) elektrotlar takılır veya sökülürken elektrot sabit konumda tutularak somun boşalıncaya kadar döndürülmelidir. Aksı halde elektrot çevrilirse içerdeki bakır boru veya spiral kırılır.
- Sabit kolda değiştirilen elektrot tam sıkılmadan elektrotların birbirini karşılayıp karşılamadığını kontrol etmek yanlıştır. Sıkma işlemi konik yüzeyler tam olarak öpüştüğü zaman kontrol yapılmalıdır.
- Bu tür elektrotların sökme veya takma işlemlerinde boru anahtarı, kurbağacık, ayarlı pense gibi takımların kullanılması yanlıştır. Çünkü bu takımlar elektrot veya taşıyıcının dişlerini bozar, çatlama, kırılma ve sızdırma gibi problemlere yol açar.



Şekil 1.13 Elektrot sökme anahtarı

Sac Kalınlığı		Saca Uygun Baskı Kuvveti		Kaynak Akımı	Kaynak Zamanı	Kaynak Noktası	
S1[mm]	S2[mm]	Normal Kuvvet [N]	Fazla Kuvvet [N]	kA	CYCLES	MİN. ÇAP mm	KAYNAK ARALIĞI mm
0.60	0.60	2000	2400	7.0	6	2.7	12
0.60	0.80	2100	2500	7.0	7	2.7	15
0.60	1.00	2150	2600	7.0	8	2.7	16
0.60	1.20	2200	2650	7.0	9	2.7	18
0.60	1.50	2200	2650	7.0	9	2.7	18
0.60	1.75	2300	2750	7.0	10	2.7	23
0.60	2.00	2300	2750	7.0	10	2.7	23
0.70	0.60	2100	2500	8.0	7	2.9	15
0.70	0.80	2200	2650	8.1	7	2.9	16
0.70	1.25	2250	2700	8.2	8	2.9	17
0.70	1.00	2300	2750	8.5	9	2.9	18

0.70	**1.50**	**2350**	**2800**	**8.8**	**10**	**2.9**	**20**
0.70	**1.75**	**2400**	**2850**	**9.0**	**10**	**2.9**	**23**
0.70	**2.00**	**2450**	**2950**	**9.2**	**11**	**2.9**	**25**
0.80	**1.25**	**2350**	**2800**	**8.5 - 11.0**	**10**	**3.2**	**20**
0.80	**1.50**	**2400**	**2900**	**8.6 - 11.1**	**12**	**3.2**	**23**
0.80	**1.75**	**2450**	**2950**	**8.7 - 11.2**	**13**	**3.2**	**25**
0.80	**2.00**	**2500**	**3000**	**8.8 - 11.3**	**14**	**3.2**	**27**
0.80	**2.25**	**2550**	**3050**	**8.9 - 11.4**	**14**	**3.2**	**28**
0.80	**2.50**	**2600**	**3100**	**8.9 - 11.5**	**14**	**3.2**	**30**
1.00	**1.25**	**2850**	**3850**	**9.6 - 12.1**	**11**	**3.5**	**22**
1.00	**1.50**	**2900**	**3900**	**9.7 - 12.2**	**12**	**3.5**	**25**
1.00	**1.75**	**2950**	**4000**	**9.8 - 12.3**	**13**	**3.5**	**27**
1.00	**2.00**	**3000**	**4050**	**9.9 - 12.4**	**14**	**3.5**	**28**
1.00	**2.25**	**3050**	**4100**	**10.0 - 12.5**	**14**	**3.5**	**29**
1.00	**2.50**	**3100**	**4200**	**10.1 - 12.6**	**15**	**3.5**	**31**
1.00	**3.00**	**3200**	**4300**	**10.3 - 12.8**	**15**	**3.5**	**36**
1.25	**1.25**	**3300**	**4600**	**10.5 - 13.0**	**12**	**3.9**	**25**
1.25	**1.50**	**3350**	**4700**	**10.6 - 13.1**	**13**	**3.9**	**26**
1.25	**1.75**	**3400**	**4750**	**10.7 - 13.2**	**14**	**3.9**	**27**
1.25	**2.00**	**3450**	**4850**	**10.8 - 13.3**	**15**	**3.9**	**29**
1.25	**2.25**	**3500**	**4900**	**10.9 - 13.4**	**15**	**3.9**	**31**
1.25	**2.50**	**3550**	**5000**	**10.0 - 13.5**	**16**	**3.9**	**33**
1.25	**3.00**	**3650**	**5100**	**10.2 - 13.7**	**16**	**3.9**	**38**
1.50	**1.50**	**3800**	**5500**	**11.6 - 14.1**	**15**	**4.3**	**27**
1.50	**1.75**	**3850**	**5600**	**11.7 - 14.2**	**15**	**4.3**	**29**
1.50	**2.00**	**3900**	**5650**	**11.8 - 14.3**	**16**	**4.3**	**31**
1.50	**2.25**	**3950**	**5700**	**11.9 - 14.4**	**16**	**4.3**	**33**
1.50	**2.50**	**4000**	**5800**	**12.0 - 14.5**	**17**	**4.3**	**36**
1.50	**3.00**	**4100**	**5950**	**12.3 - 14.7**	**17**	**4.3**	**40**

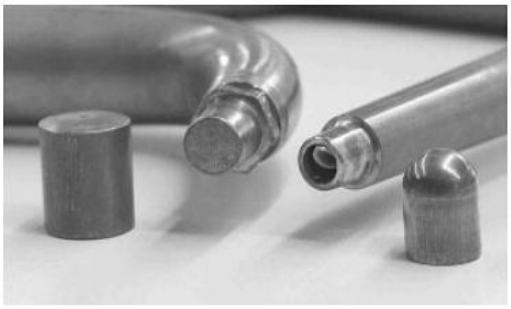
1.5 Elektrik Direnç Nokta Kaynağı Parametrelerinin İncelenmesi

Kaynak kalitesini etkileyen başlıca kaynak değişkenleri şu şekilde sıralanabilir;

- *Elektrotların malzemesi ve boyutları*
- *Kaynak akımı*
- *Kaynak zamanı*
- *Elektrot kuvveti*
- *İş parçasının malzemesi*
- *İş parçasının yüzey durumu*

1.5.1 Elektrot bileşiminin ve şeklinin ısınma üzerine etkisi

Elektrodun ısınmasını minimumda tutabilmek için, elektrotlar, yüksek elektrik iletkenliğe ve düşük temas direncine sahip olmalıdırlar. Aynı zamanda, elektrod ucu ile metalin temas ettiği alanlardaki ısının uzlaştırılabilmesi için yüksek ısı iletkenliğine sahip olmalıdır. Elektrotlar ayrıca tekrarlanan yüksek kaynak kuvvetlerinin sebep olduğu deformasyonlara direnebilecek kadar kuvveti olmalıdırlar.



Şekil 1.14 Elektrot tutucu ve ucu

1.5.1.1 Elektrotların bileşiminin etkisi

Genellikle, alaşımın sertliği arttıkça ısı ve elektrik iletkenliği azalmaktadır. Dolayısıyla en uygun alaşımın seçiminde, elektriksel, ısısal ve mekaniksel özelliklerin uygun bir kombinezonu bulunmalıdır. Ticari saf bakır mükemmel bir elektriksel iletkenliğe sahip olmasına karşılık, sıkıştırma kuvvetlerine direncinin ve tavlama sıcaklığının düşük olma nedeniyle elektrot malzemesi olarak tek başına kullanılamaz.

1.5.1.2 Elektrot şeklinin etkisi

Aynı bileşimde ve kalınlıktaki parçalar kaynak edildiğinde, elektrodların uç çapları aynı olmalıdır. Bununla beraber, eğer kaynak edilecek parçaların kalınlıkları farklı ise, kalın parçayla temas eden elektrodun ucunun çapının, uygun ısı dengesini sağlayabilmesi için daha büyük olması gerekebilir. Farklı metallerin kaynağında, eğer metallerden birisinin elektriksel direnci diğerinden büyük ise aynı husus geçerlidir. Bu farklılık, yüksek dirençli parça ile temasta olan elektrodun ucunun çapı büyütülerek veya düşük dirençli parçayla temasta olan elektrot için yüksek dirençli malzeme kullanılarak telafi edilebilinir. Kaynak çekirdeğinin çapı, elektrodun temas yüzeyinden hafifçe küçüktür. Elektrodun ucu aşındıkça veya mantarlaşma nedeni ile büyüdükçe, kaynak çekirdeğinin çapı artar. Uç çapının % 5 ten fazla büyümesi, akım yoğunluğu azalacağı ve açığa çıkan ısı iyi bir kaynak meydana getirmeye yeterli olmayacağı için, kaynak kalitesini etkileyecektir.

Şekil 1.15 Elektrot uçlarında mantarlaşma

1.5.1.3 Elektrotların malzemesi ve boyutları

Ticari saf bakır en iyi iletkendir. Saf bakır elektrotlar, üstün mekanik özellikleriyle beraber, yeterli elektrik iletkenliğine sahip malzemeler elde edilinceye kadar, direnç kaynağı elektrodu olarak kullanılmıştır. Daha yüksek akım şiddeti, daha yüksek kaynak hızı kullanılan yöntemlerin gelişmesi, saf bakırın elektrot malzemesi olarak kullanılışını durdurmuştur. Soğuk çekilmiş bakır, statik ve dinamik basma kuvvetlerine karşı düşük mukavemete ve düşük yumuşama sıcaklığına sahiptir. Ticari saf bakırın bu istenmeyen

özelliklerini ortadan kaldırmak için daha iyi fiziksel ve mekanik özelliklere sahip bir seri bakır alaşımı geliştirilmiştir.

Genel olarak, alaşımın sertliğinin artması, elektriksel ve ısıl direncini arttırır. Bu nedenle, herhangi bir uygulama için belirli bir elektrot alaşımının seçimi, onun mekaniksel özelliklerine göre değişen ısıl ve elektriksel özelliklerini de göz önüne alınmasıyla gerçekleşir Örneğin, ***Alüminyum kaynağı için kullanılan elektrotlar, yüksek basma mukavemeti yerine yüksek iletkenliğe sahip olmalıdırlar***. Buna karşılık, ***paslanmaz çeliğin kaynağı için kullanılan elektrotlar da, maksimum basma mukavemeti elde etmek için iletkenlikten fedakârlık edilmelidir.***

Yetersiz elektrot kuvvetleri, temas direncinin düzensiz dağılımına neden olmaktadır. Bu ise, farklı kaynak akımlarına yani farklı kaynak noktası dayanımlarına neden olur. Yeterince büyük elektrot kuvvetlerinde ince yüzey tabakaları hafifçe ezilmekte ancak elektrot temas yüzeyi büyük olmaktadır.

Sac kalınlığına ve malzemeye bağlı olarak elektrot temas yüzeyinin seçimi aşağıda belirtildiği şekilde yapılır;

- **Küresel uçlu elektrotlar**

$$r = K_1 \cdot s + K_2$$

r (mm) Küresel ucun çapı
s (mm) Sac kalınlığı
K_1 , K_2 Malzeme sabitleri

K_1 =	20	Yumuşak çelik ve paslanmaz çelikler için
K_1 =	60	Alüminyum ve alaşımları için
K_2 =	50	Yumuşak çelik ve paslanmaz çelikler için
K_2 =	20	Alüminyum ve alaşımları için

- **Sivri, düz, eksantrik ve kesit koni uçlu elektrotlar**

$$d_e = 5 \cdot s \qquad s < 3 \text{ mm için}$$

$$d_e = 2s + K \quad s > 3 \text{ mm için}$$

s (mm) Sac kalınlığı
d_e (mm) Elektrot çapı
K Malzeme sabiti,

K = 2 s< 7,5 mm için
K = 3 s > 7,5 mm için

Çoğu durumda malzemenin kaynak yapılacak yüzeyi yabancı maddelerden (yağ, kir, pas vs.) arındırılmalıdır.
Bu ,

- Mekanik yöntemler (zımparalama, fırçalama vs.)
- Kimyasal yöntemler (Redükleyici atmosferde taşlama) yoluyla yapılır.

1.5.2 Kaynak Akım Şiddeti

1.5.2.1 Isı oluşumuna kaynak akımının etkisi

$$Q = I^2 . R . t$$

Joule kanununda ısıya etki eden en önemli faktör, **I** kaynak akımıdır. Alternatif akım devresinde Sekonder **U** gerilimi

$$I = [U/(\sqrt{(R^2 + \omega^2 L^2)})], \text{ dır}$$

Burada:

L		Toplam endiktivite
R	(Ω)	Sekonder devredeki toplam omik direnç
ω	(1/f)	Devre frekansı (devre frekansı)

Sabit Sekonder gerilimde kaynak akımı, artan dirençle ve artan endiktivite ile azalmaktadır. Sekonder devredeki kol açıklığının büyüklüğüne ve bunun içindeki manyetikleşebilen malzemelere bağlı olarak, endüktivite değişik değerler alabilmektedir. Kaynak bağlantısına etki eden, olabildiğince sabit kaynak akımı, sadece sabit direnç ve endiktivite ile sağlanmaktadır.

Belirli değerlerin altında kalan ısı enerjisi, istenen bağlantıyı oluşturamaz. Çok fazla kaynak akımı ise, kısmi sıvı metal fışkırmalarına, gözenek ve çatlak oluşumuna ve çekme - makaslama dayanımının düşmesine neden olmaktadır.

Kaynak akımı, transformatörün Sekonder sargısı, sargıyı kollara bağlayan elastik kablolar, kollar, elektrotlar ve kaynak olacak parçalardan geçer. Devrenin her kısmında aşağıdaki formüle göre ısı meydana gelir.

Meydana gelen ısının bir kısmı, elektrotlardan ve kaynak olan parçalardan radyasyon ve konveksiyon ile kaybolur. Genellikle. Bu kayıpların büyüklüğü bilinememektedir.

Çeliklerin ısı iletkenliği bakırınkinin yaklaşık % 12' si kadardır. Eğer çeliğin bakır esaslı elektrotlar ile kaynağında yeterli bir kaynak akımı kullanılırsa, kaynak edilecek parçaların ara yüzeyinde meydana gelen ısının kaynak noktasından uzaklaşması, elektrod yüzeylerinde meydana gelen ısının su soğutmalı elektroda geçişinden daha yavaştır. Dolayısıyla, önce kaynak edilen parçaların ara yüzeyi erime sıcaklığına ulaşır ve kaynak bu noktada meydana gelir. Erimenin elde edilmediği, bir alt akım yoğunluğu limiti vardır. Kondüksiyon ile Elektrotların içine, olan ısı kayıplarını karşılayacak kadar meydana getirilmelidir.

Akım yoğunluğu arttırılarak, elektrodların temas yüzeylerine birkaç yüz dereceden fazla ısıtmaksızın, kaynak işleminin sağlanabileceği şekilde, kaynak zamanı yeteri kadar azaltılabilir. Kaynak akımı için aynı zamanda bir üst limitte vardır. Eğer kaynak akımı çok yüksek ise, kaynak bölgesi erime sıcaklığına ulaştığında, kaynak edilen metalin elektrotlar arasındaki kalınlığının tamamı plastik bölgeye kadar ısıtılmış olur ve elektrotlar derin bir şekilde metale gömülürler. Elektrotların yüzeyi aşırı ısınabilir ve yanabilir. Her bir elektrot kuvveti için, akım yoğunluğunu bir üst limiti vardır. Bu limit aşıldığında metal yüzeyinden sıcak metal tanecikleri fırlamaya başlar ve elektrotlar kaynak edilen parçalara gömülür, kaynak kalitesi düşer.
Nokta kaynağında maksimum direnci, metal yüzeyinden sıcak metal tanecikleri sıçramasına neden olan, maksimum akım şiddetinin hafifçe altındaki akım yoğunluklarında elde edilir (imalat için akımın ayarlanması genellikle bu kurala göre yapılır .)

1.5.3 Kaynak zamanı

1.5.3.1 Kaynak zamanı ısınma üzerine etkisi

Kaynak akımı, yaklaşma basıncı ve elektrot basıncı arttırılarak, kaynak zamanı bir miktar azaltılabilir. Kaynak akımı artırıldığı zaman, kıvılcım sıçramasını önlemek için yaklaşma basıncı arttırılmalıdır. Kaynak katılaşıncaya kadar parçaları sıkı bir temasta tutabilmek için elektrot basıncı ve bu basıncın meydana geliş hızını da arttırmak lazımdır.

Kaynak bölgesinde, belirli hacimdeki metali erime sıcaklığına ulaştırmak için ve bu sırada oluşan ısı kayıplarını karşılamak için gerekli toplam ısı ifadesi yardımıyla R direnci,

- Malzemeye,
- Levha kalınlığına
- Elektrot kuvvetine
- Elektrot uç çapına bağlı olup,
- Değeri, artan elektrot kuvveti ile azalmaktadır.

Şu halde, verilmiş bir elektrot kuvveti ve levha için, gerekli ısı miktarını elde etmek amacıyla değiştirilecek kaynak parametreleri, kaynak akımı ve kaynak zamanıdır. Belirli bir ısı enerjisi elde etmek için çeşitli (I, t) değerleri mevcut olmakla beraber, ısı kaybının da zamana bağlı olması nedeniyle akım şiddetini keyfi olarak azaltarak kaynak zamanını arttırmak mümkün değildir. Akımın bir minimum şiddetinden küçük değerlerinde herhangi bir erime meydana gelmez, bu minimum şiddet, malzemenin cinsine, kalınlığına, elektrod uçlarının boyutlarına ve elektrot kuvvetine bağlıdır. Bir başka deyimle, erimenin meydana gelebilmesi için bir minimum akım yoğunluğu mevcut olup, bu değer malzemenin cinsine, kalınlığına ve kaynak bölgesine etki yapan elektrot basıncına bağlıdır.

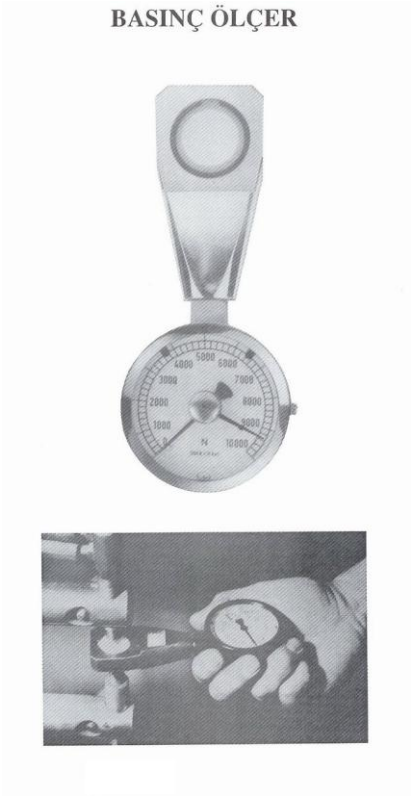
Verilmiş bir elektrot basıncı için, akım yoğunluğunun bir üst sınırı da mevcuttur. Bunun üzerindeki değerlerde kaynak bölgesindeki erimiş metal, levhalar arasında, bölge dışına doğru fışkırır. Bu olay kaynak dikişinde dayanıklılık azalmasına neden olur. Elektrotlarla levhalar arasındaki temas yüzeylerinde erime meydana gelir, elektrotlar levhalara yapışarak tahrip olurlar.

Yüksek ısı iletimi durumunda, gerekli ısı miktarını kısa sürede üretmek yerine, daha düşük gücü uzun süre uygulamak daha uygun olmaktadır. Kaynak süreleri, kaynak akımı süresince birkaç periyottan başlayarak kalın kesitli parçalarda azami birkaç saniyeye kadar ulaşır. Artan kaynak süresi, kaynak bölgesindeki erimiş metal miktarını büyütmekte, ısının tesiri altındaki bölge (ITAB) büyümekte ve yumuşamış malzeme miktarı artmaktadır. Böylece fışkırma oluşumu, gözenek oluşumu ve malzeme yüzeyinin elektrot ucuna gelen kısmında istenmeyen deformasyonlar ortaya çıkmaktadır. 3 mm. den kalın iş parçalarında sürekli etkiyen kaynak süresi yerine, kısa süreli impulslarla çalışmak daha doğru olmaktadır. Böylece kaynak yerinde ısı yükselmekte, malzeme – elektrot temas noktasında iyi ısı ileten ve suyla soğutulan elektrot dan da ısı alınmakta ve kaynak çekirdeği çevresinde yüksek sıcaklıklara erişmiş bir bölge oluşmaktadır.

1.5.4 Kaynak kuvvetinin ısınma üzerine etkisi

Kaynak kuvveti veya elektrot kuvveti, elektrot tarafından kaynak edilecek parçalara, kaynak çevrimi boyunca tatbik edilen kuvvettir. Elektrod kuvveti genellikle, statik bir kuvvet olarak ölçülüp ifade edilmesine rağmen, işlem sırasında dinamik bir kuvvettir ve kaynak makinesinin hareketli kısımlarının atıllığı ve sürtünmesinden etkilenir. Kaynak

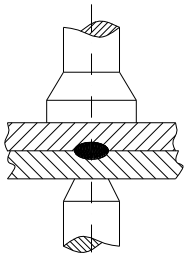
edilecek parçalar, kaynak edilmek istenen noktadan akım geçmesini sağlamak için iyi bir şekilde temas etmelidirler. Bununla beraber, elektrod kuvvetinin arttırılması. Kaynak olacak metallerin temas direncini dolayısıyla bu noktada kaynak akımının meydana getireceği ısıyı azaltacağından, elektrod kuvveti aşırı olmamalıdır. Parçalar birbiri ile iyi bir temas sağlamıyorsa, deformasyonu yenmek için aşırı bir elektrot kuvveti kullanmak gerekmektedir. Bazen de, parçaları sıkı temasa getirmek için, yanaşma zamanı normalden daha uzun tutulur. Parçaların yaylanmasına mani olmak ve kaynak noktasının katılaşmasını sağlamak için tutma zamanı da uzatılabilinir.



Şekil 1.16 Elektrot basıncının kontrolü

Elektrot kuvveti kaynak işleminin üç safhasında da önemli rol oynar. Basma safhasında, elektrod kuvveti, levhalar arasındaki temas direncinin düşük bir değerde olmasını sağlar. Levhaların elektrotlar altında, belirli bir alanda temas etmesini sağlayarak kaynak noktasının kesin yerini belirler. Kaynak safhasında elektrot kuvvetinin görevi, levhaları arsında fışkırmaya çalışan sıvı metali, katı haldeki metal çukuru içinde basınç altında tutarak bu fışkırmayı engellemektir. Dövme safhasında ise, kaynak dikişinin sıvı halden itibaren soğuması ve katılaşması sırasında, büzülme nedeniyle ortaya çıkabilecek boşluk, çatlak gibi kusurların oluşumunu önlemektir. Elektrot kuvvetinin artması, levhaların arası temas direncini azaltacağından, kaynak akımının arttırılmasını gerektirir. Diğer taraftan çok yüksek elektrot kuvveti, levhalarda istenmeyen distorsiyonlar ortaya çıkarabilir

Bazı durumlarda malzeme yüzeyinde elektrot izleri olmaması istenir. Bu, büyük yüzeyli paralel ve düz, olabildiğince düzgün bir iş parçası yüzeyi hazırlanmasıyla sağlanır. Böylece bir tarafta baskı izi olmaması istenen yüksek akım yoğunluğu sağlanmış olur.



Şekil 1.17 Elektrot tasarımı (Düz elektrot ile saç yüzeyinde baskı izi oluşmamasının sağlanması)

1.5.5 İş Parçasının Malzemesi

Metallerin bileşimi, onların özgül ısılarını, erime sıcaklıklarını gizli erime ısılarını, ısıl ve elektrik iletkenlikleri ve yoğunluklarını etkiler. Elektrik iletkenliği ifadesindeki R değeri yoluyla verilmiş bir akım şiddetinde, ısı üretim hızını belirleyen bir faktördür. Metallerde elektrik ve ısıl iletkenlik genellikle aynı yönde paralel olarak değişir. Bu nedenle, yüksek elektrik iletkenliği ve dolayısıyla da yüksek ısı iletkenliğine sahip bakır, gümüş, alüminyum gibi metallerde yüksek akım yoğunluğunda dahi, üretilen çok az ısı çevreye hızla yayılır ve erime için gerekli ısı birikimini engeller. Bu ise, kaynak işlemini imkânsız veya zor hale getirir. Diğer taraftan, mevcut ticari birçok metalin birim kütlelerini erime sıcaklığına yükseltmek için gerekli ısı miktarı aynı malzeme ve levha kalınlığına bağlı olarak elektrot kuvveti oluşur.

1.5.6 Kaynak edilecek parçaların yüzeylerinin ısınma üzerine etkisi

Yüksek ve tekrarlanabilir kalitede nokta kaynakları elde edilebilmesi için, elektrotların temas dirençleri minimum tutulmalıdır. Düşük elektrot temas direnci temiz parçalar kullanılarak ve elektrot kuvveti kontrol edilerek sağlanır. Mikro boyutlarda bakıldığında metal saçların yüzeylerinin muntazam olmadığı görülür. Bu durum, düşük elektrot basıncı tatbik edildiğinde metal-metal temas yüzeyi, bütün temas yüzeyinin ufak bir yüzdesi olmasına neden olur. Elektrot kuvveti artırıldıkça metal-metal temas alanı artar ve böylece elektrik direnci azalır. Elektrot malzemesinin kaynak edilecek parçalarda daha yumuşak olduğu durumlarda, elektrod kuvvetinin arttırılması metal-elektrot temas yüzeyinin, metal-metal temas yüzeyinden daha iyi bir şekilde temas etmesini sağlar.

Her ne kadar, elektrot kuvveti ısı formülüne;

$$Q = I.\ R\ .t$$

Direk olarak girmiyorsa, elektrik direnci üzerine büyük bir etkisi vardır. Temas direnci elektrik kuvveti ile ters orantılıdır.

Yüzey pürüzlüğü, elektrik akımının tüm temas yüzeyi yerine sadece birbirine değen pürüz yüzeylerinden geçmesine neden olur. İki yüzey arasındaki temas direnci, birleştirilecek malzemelerin yüzey pürüzlüğünden ileri gelen daralma ve yüzey film dirençlerinin toplamıdır. Temas direnci, akım yoğunluğuna, elektrot kuvvetine, sıcaklığa ve birleştirilecek malzemelerin deformasyon özelliklerine bağlı olarak akım süresinin dörtte biri kadar bir süre etkili olur. Bu süre içinde maksimum değerine ulaşır ve hızla azalır. Artan elektrot basıncı sonucu oluşan plastik şekil değiştirme, temas direncini azaltmaktadır.

1.5.6.1 Yüzey hazırlama

Kaynak edilecek parçalar veya en azından birleştirme yüzeyleri, kaynakların gayri safiyetlerden arınabilmesi için temizlenmelidir. Elektrotlarla temasa gelebilecek, pislik pas ve oksit filmleri kaynakların bu yüzey görünümünü bozarlar. Kaynak edilecek parçaların

yüzeyindeki yabancı malzemelerin uzaklaştırılması, elektroların bu malzemeleri bünyelerine alması olayını azaltacağından, elektrod ömrünü arttırır. Pislik veya filmleri buhar fazında yağ alma veya kimyasal banyolarla uzaklaştırabilir. Bununla beraber bezle, elle silinerek de kaliteli nokta kaynakları elde edilebilinir. Oksit filmleri ise mekanik yollarla uzaklaştırılabilir.

1.5.6.2 Yağ tabakasının etkisi

Soğuk haddelenmiş yüzeyler veya asit ile temizlenmiş sıcak haddelenmiş ve yağlanmış yüzeyler üzerindeki ince yağ filminin kaynak kalitesi üzerindeki etkisi çok küçüktür. Bu konuda yapılan testler üzerinde ince bir yağ filmi bulunan metaller üzerinde yapılan nokta kaynaklarının dirençlerinin, aynı metallerin yağı alındıktan sonra yapılanlara nazaran % 2–3 daha düşük olduğunu göstermiştir. Fazla miktarda yağ ve gres bezle silinerek veya yağ alma ile uzaklaştırılmalıdır. Yağın kendinin kaynağa bir zararı olmayabilse de, üzerine yapışan kirler ve yabancı maddeler zayıf kaynakların elde edilmesine neden olabilir.

1.5.6.3 Pas ve oksitlerin tesiri

Paslanmış veya ısı ile meydana gelmiş siyah veya mavi oksit filmleri ihtiva eden çelikler direnç nokta kaynağı ile kaynak edilebilinirler. Fakat kaynak kalitesi ve sürekliliği bu tabakaları ihtiva etmeyen çeliklere nazaran düşük olur. Muntazam ve düşük bir elektrik direncine sahip olan ince filmlerin kaynak üzerine etkisi azdır. Oldukça kalın ve muntazam olmayan oksit filmleri ihtiva eden çelikler bu tabaka uzaklaştırılmadan seri imalat şartlarında kaynak edilemezler. Kalın fakat muntazam oksit filmleri ihtiva eden çelikler düşük bir değerden orta bir değere doğru artan seri halde kaynak tatbik edilerek ve oldukça yüksek elektrot kuvvetleri kullanılarak kaynak edilebilirler.

1.5.7 Kaynaklar arasındaki mesafenin ısınma üzerine etkisi

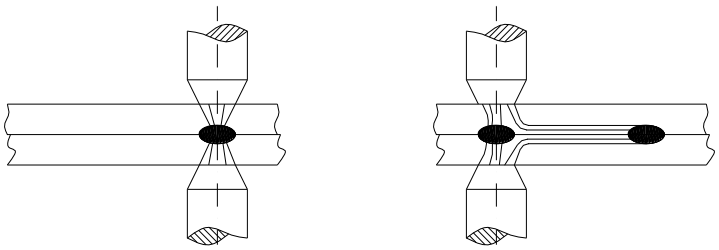
Daha önce yapılmış bir nokta kaynağına çok yakın ikinci bir nokta kaynağı yapıldığında paralel devre meydana gelir, kaynak akımının bir kısmı daha önce yapılan kaynak noktasından geri kalanı da yapılmakta olan ikinci kaynak noktasından geçer. Bu iki devreden geçen akımların miktarı, bu devrelerin direnci ile ters orantılıdır. Akımın bu devrelere dağılımı esas olarak kaynak edilen metallerin iletkenliği ile kaynak noktasındaki ara yüzey direncine bağlıdır. Kaynak sırasında metal ısındığından direnci artar ve dolayısıyla paralel devreden geçen akımda artar.

Yapılmakta olan nokta kaynağı daha önce yapılmış olan nokta kaynaklarından yeteri kadar uzakta ise, daha önceki noktaya kaynaklarından teşekkül eden devrenin direnci, yapılmakta olan nokta kaynağının direncinden oldukça büyüktür ve paralel devre ihmal edilebilinir. Elektrik direnci yüksek olan metaller düşük olanlardan daha az paralel devre olayından etkilenirler.

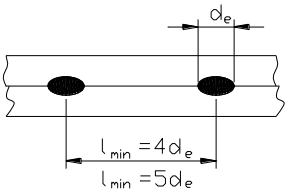
Nokta kaynakları arasındaki minimum mesafe (adım) elektrot ucunun ve kaynak çekirdeğinin çapını tayin eden kaynak edilen parçaların kalınlığına bağlıdır.

1.5.7.1 Akımın şöntlenmesi

Şönt akımları, nokta kaynağında çok küçük nokta aralığında ortaya çıkmaktadır. Bunun sonucu olarak ortaya düşük akım şiddeti çıkar ve $\mathbf{d_n}$ çekirdek çapı küçülür. Çeliklerde minimum nokta Aralığı **($4.d_n$)** ile **($5.d_n$)** arasındadır. Alüminyum gibi yüksek elektrik iletkenliğine sahip malzemelerde bu Aralık **($8.d_n$)** ile **($10.d_n$)** alınmalıdır.



a) b)



Şekil 1.18 Elektrik direnç nokta kaynaklı bağlantılarda akımın Şöntlenmesi (kısa devre) hali
a) şöntlenme (kısa devre) olmadan akımın geçişi
b) yakın noktalar arasında şönt akımı oluşumu
c) $L_{min.} \approx 4\ d_n$ ve $L_{min.} \approx 5\ d_n$ koşulunda akımın şöntlenmesi önlenmektedir

1.5.8 İstenilen yüzey işlem (boya vs) kalitesinin ısınma üzerini etkisi

Daha sonra boyanacak, emaye yapılacak veya başka bir dekoratif yüzey işlemine tabi tutulacak birleşik parçalar seçiminde kaynakların yüzey görünümleri kaynağın dayanıklılığı kadar önem kazanır. Yüzey işlem kalitesini etkileyen, aşırı elektrot batması, aşırı ısınma kaynak noktasının boşalması, çatlaması, gibi olayların meydana gelmesine mani olurlar. Kaynak ayarları, minimum elektrot batması ve aşırı ısınmaya neden olacak fakat yeterli dayanıklıkta kaynaklar elde edilmesini sağlayacak şekilde seçilmelidir. Birçok hallerde iz istenmeyen yüzey üzerine bir bakır levhanın yerleştirilmesi uygun görünüm şartının sağlanması için yeterlidir.

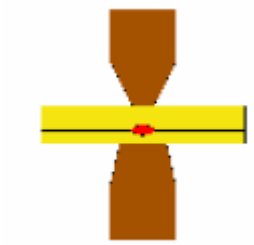
1.6 Isıl denge

Isıl denge ısıl ve elektriksel iletim kabiliyetiyle ilgilidir.

- Eğer eşit bileşimde ve kalınlıkta iki levha, eşit kütle ve şekle sahip elektrotlarla kaynak edilirse, ısı her iki parçada da üniforma olarak üretilecek ve kaynak çekirdeği simetrik olacaktır. Bu şart mevcut ise ısıl denge mevcuttur.

- Bununla beraber, levhalardan biri diğerinden daha yüksek elektriksel dirence sahipse, ısı denge mevcut değildir. Diğer bir değişle simetrik bir kaynak çekirdeği elde edilmez.

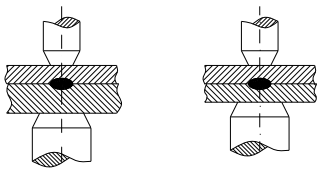
Simetrik bir kaynak çekirdeği elde etmek için büyük temas yüzeyli elektrotlar kullanılmaktadır.



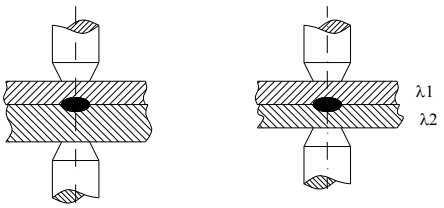
- Farklı kalınlıktaki metallerin kaynağında, soğutulmuş elektrotun ince parça tarafında kaynak ara yüzeyine daha yakın olması nedeniyle, ara yüzeyde yetersiz ısı üretimi yönünde bir eğilim vardır. Uygun ısıl denge, ince levha tarafında daha küçük temas alanına sahip elektrot kullanarak daha yüksek akım yoğunluğu elde etmek ve kısa kaynak zamanı kullanmak suretiyle elde edilir.

Isıl dengeyi, esas olarak şu faktörler etkiler:

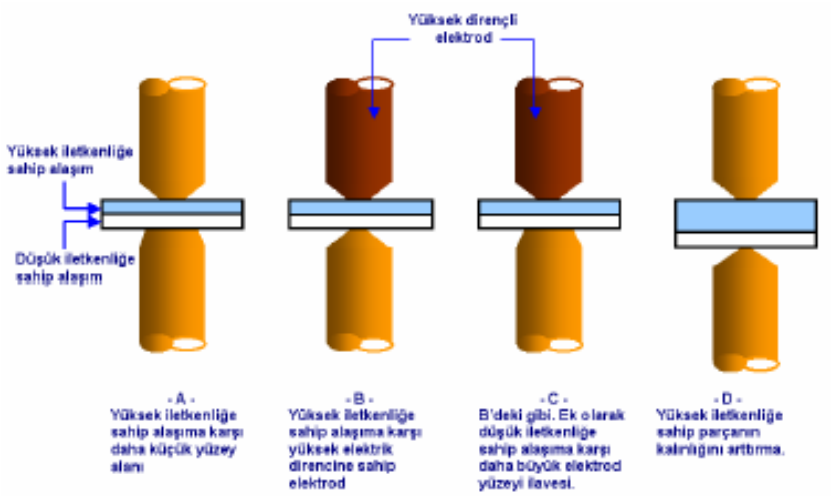
- Kaynak edilecek malzemelerin izafi ısıl ve elektriksel iletkenlikleri,
- Kaynak edilecek parçaların izafi geometrileri,
- Elektrotların ısıl ve elektriksel iletkenlikleri,
- Elektrotların geometrisi

a)  b)

Şekil 1.19 Elektrik direnç nokta kaynağında ısıl dengenin bozulması
Farklı kalınlık halinde kaynak çekirdeğinin simetrisinin bozulması
Farklı ısı iletim kabiliyeti halinde kaynak çekirdeğinin simetrisinin bozulması



Şekil 1.20 Elektrik direnç nokta kaynağında ısıl dengenin sağlanması
(Geniş yüzeyli elektrot kullanımı ile kaynak çekirdeğinin simetrisinin elde edilmesi)

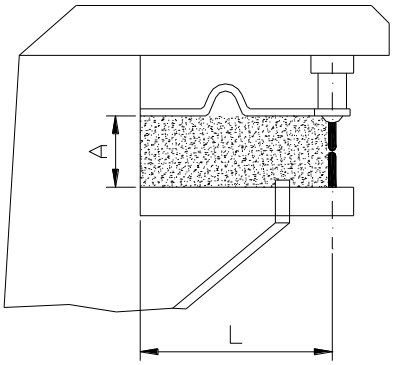


Şekil 1.22 Elektrik direnç nokta kaynağında ısıl dengenin sağlanması

1.7 Sekonder pencere açıklığı

Sekonder pencere açıklığı **S, A** kol uzunluğundan ve L kol aralığından oluşmaktadır. İş parçasının büyüklüğü ve manyetikleşebilmesi sonucu, endüktiv direnç büyümektedir. Bunun sonucu olarak etkin kaynak akımı düşmektedir. Doğru akım kaynak makinelerin de endüktiv akımlar sadece devre kapanırken oluşur. Tasarımcı, bağlantı parçalarının, küçük pencere açıklığı oluşturacak şekilde tasarımına dikkat etmelidir.

$$(S = A.L)$$



Şekil 1.23 Sekonder pencere açıklığının tanımlanması

1.8 Akım ve kuvvet programları

Elektrik ve elektronik kumanda donanımları, kaynak akımının ve elektrot kuvvetinin aşağıdaki durumlarda uygulanmasına olanak tanır;

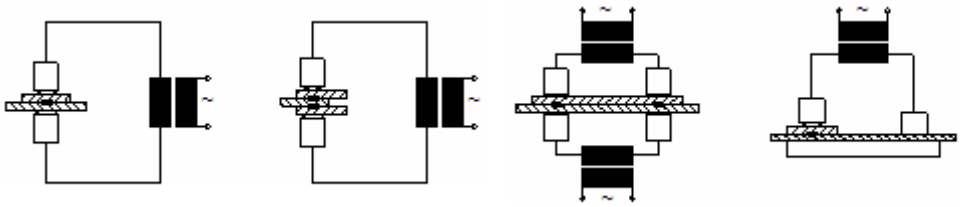
- Sertleşebilen ve kaynağa uygun olmayan çeliklerde (karbon oranı % 0,2' nin üstünde) çatlama eğilim vardır.
- Uçak inşasında olduğu gibi yüksek kaliteye ihtiyaç olan bağlantılar.
- s > 4 mm den kalın malzemeler
- Alüminyum ve sertleşebilen alaşımlar (örneğin AlSiMg) ısıl ve metalürjik olarak hassastırlar.

Bu programların uygulanması şu şekilde olmaktadır:

- **Ön Tavlama :** Ön tavlamada kaynak işlemine yetmeyecek şekilde ısı üretilir. Böylece soğuma hızı azaltılır. Yüksek elektrot kuvveti, bağlantıyı temin eder.
- **Kaynak :** Basınç kuvveti azaltılır ve böylece R direncinin artması sonucu $I^2 R$ artar. Böylece kaynak akımı yükseltilir. Bu işlem, bir veya birkaç impuls şeklinde uygulanır. Sertleşebilen alaşımlar gibi hassas malzemeler durumunda, sürekli olarak yükselen ve düşen akım kullanılır.
- **Sonradan Tavlama :** Bu ısıl işlemle, bağlantının metalürjik kalitesi iyileştirilir. Soğuma hızının düşmesi, bu işlemin ana hedefidir

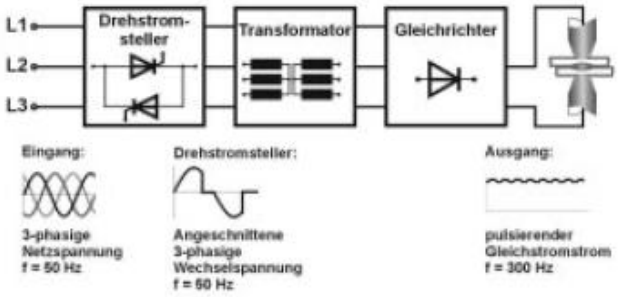
1.9 Yöntemin Uygulanması

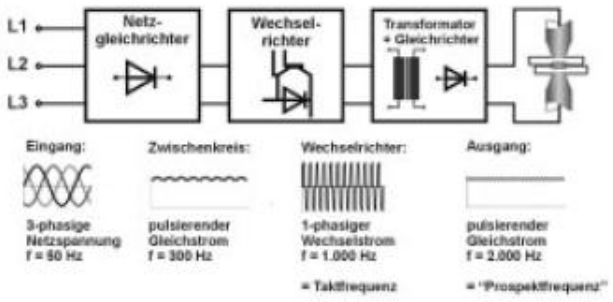
Nokta kaynağı, yaklaşık 3mm kalınlığa kadar olan saç levhaların birbiri üzerine bindirilerek birleştirilmesinde, çok geniş bir şekilde kullanılır. Bazen 6 mm ve daha kalın saçların birleştirilmesinde de kullanılır. Direnç nokta kaynağı, genel olarak, aynı birleşimde ve aynı kalınlıktaki metal levhaların birleştirilmesinde kullanılır. Bununla beraber, ikiden daha fazla metal levhanın, bileşimi ve kalınlıkları farklı metallerin başka bir metal ile kaplanmış saçların birleştirilmesinde de kullanılır. Gaz veya su sızdırmazlığı istenmeyen, pres ile şekillendirilmiş parçalardan meydana gelen birleşik parçaları yüksek bir üretim hızıyla en ekonomik şekilde nokta kaynağı vasıtasıyla birleştirilebilirler. Nokta direnç kaynağının en önemli avantajı yüksek hızlı olması, yüksek imalat kapasitesindeki birleştirme hatlarında kolaylıkla kullanılabilmesi ve otomasyona elverişli olmasıdır. Akım, zaman ve elektrot kuvvetinin otomatik kontrolü ile yüksek imalat hızlarında, sağlam, birbirinin aynı özellikte nokta kaynakları elde edilir. Bu avantajlarına karşılık, saçların direnç nokta kaynağı (yaklaşık 5–20 voltta, 5000–20000 amper çekilir) yüksek kilovolt - ampere (KVA) ihtiyaç gösterir. Daha iletken metaller örneğin birçok alüminyum veya bakır alaşımları daha da yüksek KVA gerektirir. Direnç nokta kaynak makineleri birçok ark kaynak makinesinden daha pahalıdır. Konstrüksiyon, imal usulü ve malzemeye bağlı nedenlerle, direkt nokta kaynağı dışında bir dizi avantaj ve olanak sağlayan uygulama türleri kullanılmaktadır. Çift nokta kaynağında çoğu kez küçük nokta aralıkları zorluk çıkarır. Her iki kaynak noktasında aynı elektrot kuvvetleri uygulanmaz. Bu durumlarda çoğu kez kabartılı nokta kaynağı uygundur.
Şekil 1.24'de indirekt nokta kaynağının uygulama şekli verilmektedir. Burada elektrotlar, parçanın bir tek tarafından etki edecek tarzda düzenlenmiştir. Bu yöntem, kolay ulaşılamayan hallerde avantaj sağlamaktadır.



a) b) c) d)

Şekil 1.24 Elektrik direnç nokta kaynağının uygulama türleri
a) yaygın yöntem, b) üç sacın nokta kaynağı,
c) çift nokta kaynağı d) Akım iletmeyen kör elektrotla nokta kaynağı





Şekil 1.25 Elektrik direnç nokta kaynağının uygulama türleri

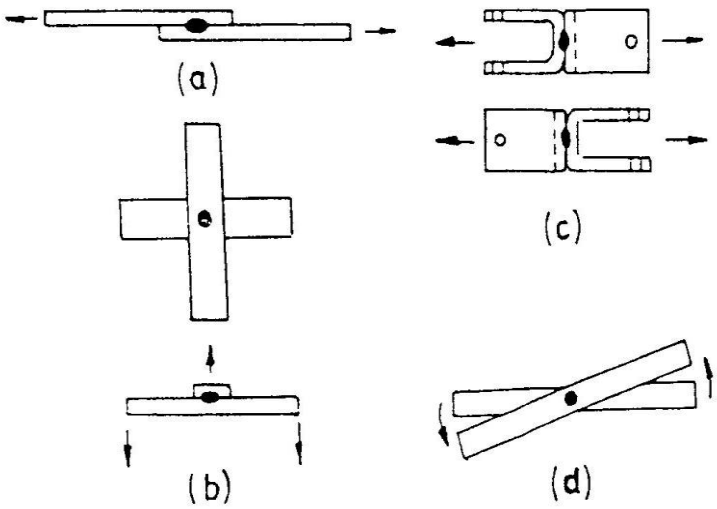
1.10 Uygulama ve uygulama sınırları

Nokta kaynağı yöntemi sanayide esas olarak saçlara uygulanır. Ev cihazlarının, otomotiv sanayi mamullerinin ve hassas cihazların çelikten imalatında kütle halinde uygulanmaktadır. Parça kalınlıkları 0,02 mm ile 2,5 mm aralığındadır. Azami parça kalınlığı 20 mm ye kadar çıkabilmektedir. İş parçalarının kaynağında kural olarak stasyonar makineler kullanılmaktadır. Bir başka uygulamada ise, hareketli nokta kaynağı pensleri kullanılır. Otomotiv sanayi buna en iyi bir örnektir. Bu durumda imalat bölgesinde endüstri robotları kullanılmaktadır. Bu tür imalat tarzında, nokta kaynağı pensleri, nokta kaynağı makinesine bağlı ileticilerle kullanılmakta ve bitmiş parçalar banda bağlı olarak nakledilmektedir. Serbest programlanabilir endüstriyel robotlar, pahalıya mal olan transfer hatlarını kısaltmaktadır.

1.11 Kaynak noktasının mukavemeti

Nokta kaynağının statik mukavemetini tayin için aşağıdaki deneyler yapılmaktadır.

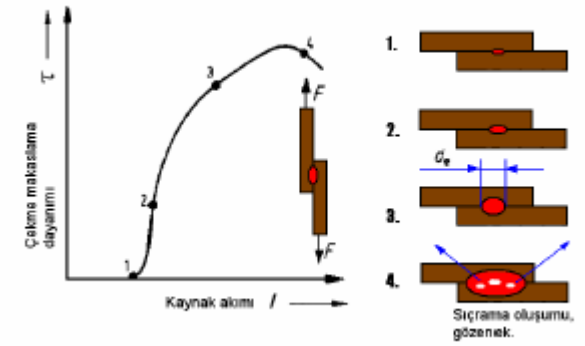
- Çekme- makaslama deneyi(a)
- Haç biçimi çekme deneyi(b)
- U biçimi çekme deneyi(c)
- Burulma deneyi(d)



Şekil 1.26 Elektrik direnç nokta kaynak çeşitli mukavemet deneyleri

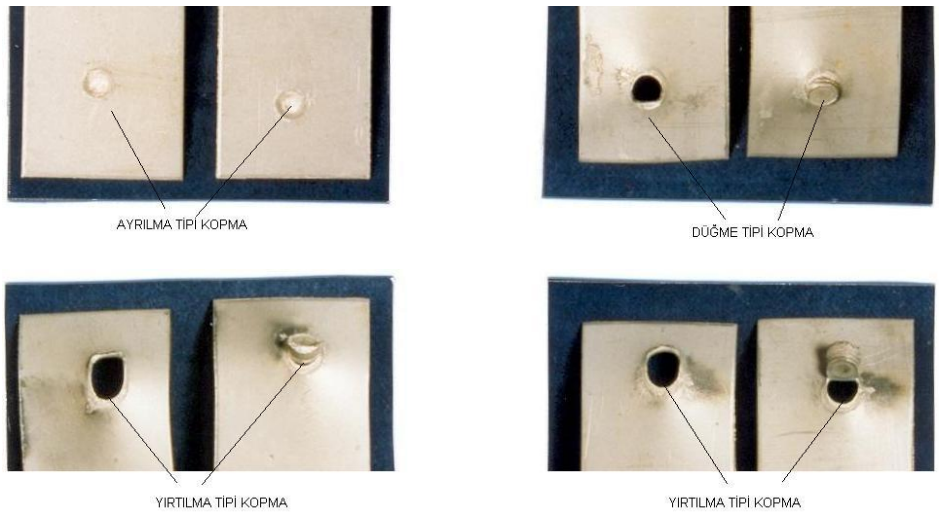
Nokta kaynağının, çekme makaslama mukavemetinin kaynak akımına göre değişimi, sabit kaynak zamanı için Şekil 1.27 ‘de verilmiştir. Sabit kaynak akımında, kaynak

mukavemetinin, kaynak zamanı $\mathbf{t_k}$ ya göre değişim eğrisinde Şekil 1.27 'ye benzer bir eğridir. Değişik elektrot uç çapları kullanıldığında, özellikle 3 mm. kalınlığa kadar levhalarda, çekme- makaslama deneyi sonucu, levhalar düğmelenme yoluyla hasara uğrar. Yani kaynak noktası levhanın birinden sıyrılıp, bir delik bırakarak diğer levhada kalır. (Şekil 1.28) . Bu hasar tipi yeterli bir kaynak mukavemetinin göstergesidir.(Şekil 1.27). Yetersiz bir kaynak dikişinde hasar makaslama yoluyla meydana gelir.(Şekil 1.29) . Bu nedenle imalat sırasında da kalite kontrolü amacıyla, ayırma deneyi çok sık kullanılır (Şekil 1.31). Deney sonucu düğmelenme meydana gelmezse kaynak dikişleri yeniden ayarlanır.



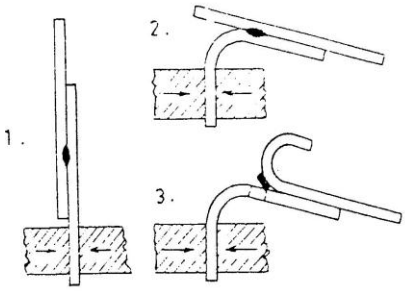
Şekil 1.27 Nokta kaynağının çekme-makaslama mukavemetinin kaynak akımına bağlı olarak değişimi

Şekil 1.28 Nokta kaynağında düğmelenme yoluyla hasar



Şekil 1.29 Nokta kaynağında makaslama yoluyla hasar.

Şekil 1.30 Nokta kaynağında sıyırma yoluyla hasar.



Şekil 1.31 İmalat sırasında kalite kontrolü amacıyla kullanılan ayırma deneyi.

1.12 Elektrik Direnç Nokta Kaynak Makineleri

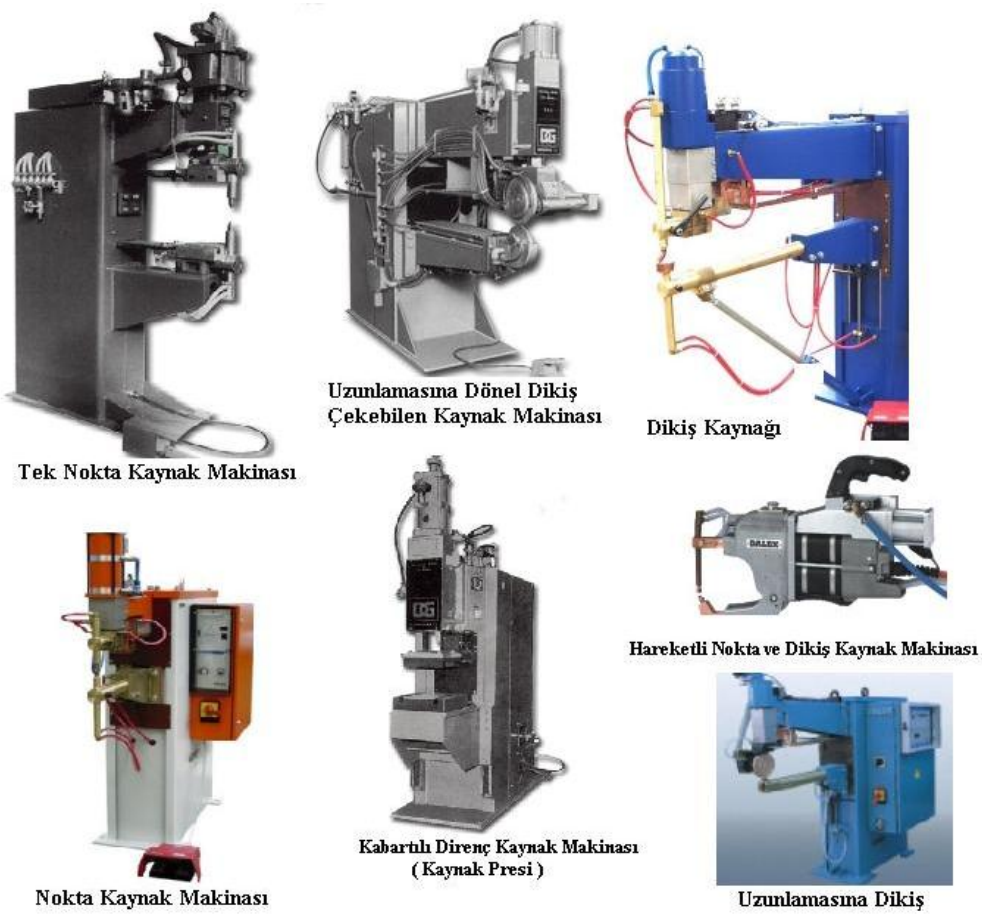
Elektrik Direnç nokta kaynağında kullanılan makineler otomasyon derecesine bağlı olarak basit ve ucuz ve pahalı olabilir.

Radyo, televizyon, elektronik ve oyuncak sanayi gibi alanlarda tam elektronik kuman dalı hassas nokta kaynak makineleri gerekir. Örnek olarak 6 kVA bağlantı güçlü bir hassas kaynak makinesi ile en yüksek Sekonder devre akımı 4500 A, elektrot kuvveti 0,5 – 15,0 daN, kaynak süresi 0,5 – 4 veya 0,002 – 0,08 s (50 Hz) olarak verile bilir.

Yüksek güçlü kaynak makinelerinde ise, kademesiz kol aralığı ayarlanabilirliği, hidrolik elektrot hareketi, tam elektronik kumanda ile donatımları yanında, yüksek çalışma emniyeti de dikkate alınmaktadır.

Gelişmiş tiplerde, programlı basınç akım şiddetleri ile tek ve çok impulslu kaynak işlemleri yapılmaktadır. Örnek olarak, yüksek mekanik – elektriksel güce sahip, böylece Al- ve Al- alaşımlarında hızlı çalışma koşulu sağlayan 100 kVA, Sekonder devre akımı 50 kA, elektrot kuvveti 1000 da N' luk bir makine bu gurupta sayılabilir. Böylece bir makinede, trafo primer devresinin değiştirilmesi olanağı ile da küçük güçlü makine gibi kullanılması da mümkündür. Örnek olarak, çeliğin kaynağı için 50 kVA güçlü ve 25 kA Sekonder devre akımlı olarak.

Vagon, taşıt ve gemi gibi ağır yapımlar için, nokta kaynak makineleri, hareketli ve sabit olarak iki üniteden oluşturulmaktadır. Bu tiplerde tek sac kalınlığı 20 mm' ye kadar birleştirmeler yapıla bilinmesi yanında, ince sac ince sac uygulamalarından karasöri yapımında, 600 nokta / dakika hızlara kadar ulaşıla bilmektedir. Bu tür hızlı çalışma kaynak makine ve donatımları, aynı biçim birleştirmelere uygun olduğundan, tek amaçlı makineler olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 1.32 Elektrik Direnç Nokta Kaynak Makineleri

Kaynak makineleri üç temel prensipte imal edilir.

- Pres Tipi Makineler
- Seyyar Makineler
- Çok Nokta Kaynak Makineleri

1.12.1 Pres Tipi Kaynak Makineleri (Sabit Kaynak Makineleri)

Bu bölümde dikey olarak doğrusal bir şekilde hareket eden üst elektrodu taşıyan bir kaynak kafası ihtiva eder. Alt elektrot dikey olarak ayarlanabilir bir kol üzerine yerleştirilmiştir. Üst kafa kızaklar üzerinde hareket eder. Üst kafanın hareket ve kaynak basıncı, hava ve hidrolik silindirlerle sağlanır. Hidrolik silindirler çok yüksek (500 KVA'den daha büyük) kapasiteli makinelerde kullanılırlar.

Hava silindirli makinelerde, hava bir selenoit vana vasıtasıyla silindirlere verilir. Hava silindirdeki pistonu ve buna bağlı olan kafayı aşağıya doğru iter, üst elektrot parçayı sıkıştırır. Elektrotlar üzerinde elde edilen kuvvet sabit veya kontrollü olabilir. Bugün kullanılan kaynak makinelerinin çoğunda kuvvet kontrollü sistemi vardır.
Pres tipi makineler genel olarak nokta ve kabartma kaynağının her ikisinide yapabilecek şekilde elektrot kolları ve tablaları ile donatılmışlardır. Alt tablo dikey olarak ayarlanabilir.

Şekil 1.33 Mekanik Elektrik Direnç Nokta kaynak makinesi (Mekanik ayak pedallı ve merkezi su soğutma sistemine sahip model olup max. 5+5 mm parça kalınlığına kadar kaynak yapabilir.)

Şekil 1.34 Pnömatik Elektrik Direnç Nokta kaynak makinesi (Pnömatik ayak pedallı ve merkezi su soğutma sistemine sahip model olup max. 5+5 mm parça kalınlığına kadar kaynak yapabilir.)

1.12.2 Seyyar Makineler (Kaynak Penseleri)

Bu tip makineler parçanın makineye taşınmasının pratik olmadığı veya imkânsız olduğu durumda kullanılırlar.

Genellikle dört ana elemandan oluşurlar;

- Taşınılabilir kaynak pensesi
- Kaynak noktaları ve zaman ayarlayıcısı gibi kontrol ünitesi
- Kaynak transformatörü

Transformatör ve pense arasında güç iletimini sağlayan Sekonder devre kabloları ve hortumlar, Kaynak pensesi su ile soğutulan elektrot taşıyıcıları ve kolları ve hortumlar, Kaynak pensesi su ile soğutulan elektrot taşıyıcıları ve kolları, hava veya hidrolikle çalışan, elektrotların kapanıp gerekli basıncı tatbik etmesini sağlayan silindiri ve işlem başlatma düğmesini ihtiva eder. Hidrolik basınç genellikle bir hava-hidrolik basınç arttırıcı vasıtasıyla sağlanır. Seyyar makinelerde Sekonder kayıpları yüksek olduğundan seyyar makinelerin Sekonder voltajları aynı kapasitedeki sabit makinelerinkinden 2–4 defa fazladır. Seyyar makinelerde, transformatör, primer devre sargı sayısı değiştirme anahtarı,

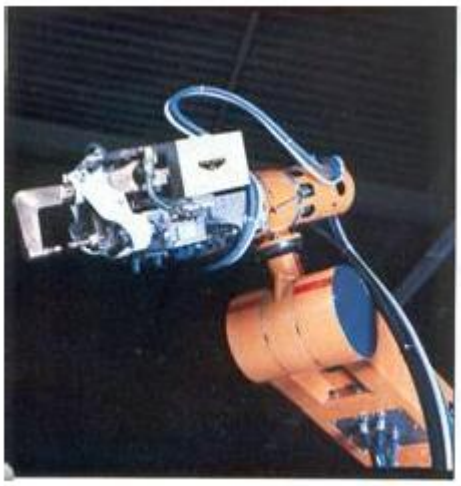
kontrol üniteleri iş bölgesinin üst kısmına asılırlar. Kaynak pensesinde bir dengeleyici vasıtasıyla iş bölgesinin üst kısmına asılır. Bu dengeleyici pensenin kolaylıkla kullanılmasını sağlar.

Şekil 1.35 Kaportacı nokta kaynak makinesi(Kaporta düzeltme, tek ve çift taraflı nokta kaynağı, vida saplama, çektirme işlerinde kullanılır. Elle sıkmalı modelleri olup max. 2+2 mm parça kalınlığına kadar kaynak yapabilir.).

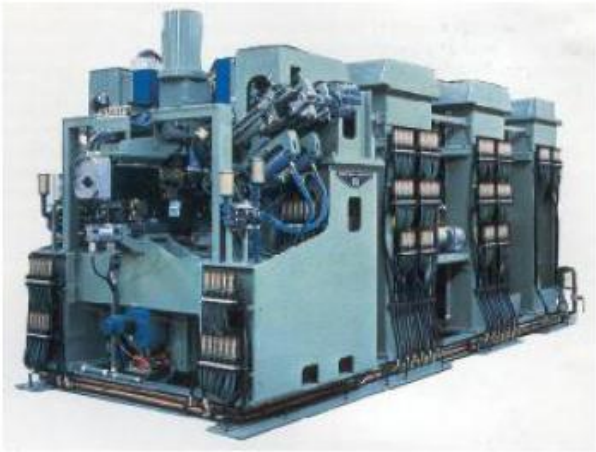
Şekil 1.36 Elde Taşınabilir Nokta kaynak makinesi(Elle veya hava sıkmalı modelleri olup 1+1 mm parça kalınlığına kadar kaynak yapabilir.)

1.12.3 Çok Nokta Kaynak Makineleri

Bunlar özel maksatlı makinelerdir. Yüksek imalat hızlarına veya birleştirme çok fazla kaynakla yapılıyorsa kullanılırlar. Bu makinelerin ilk yatırım masrafları yüksek olmasına rağmen işletme masrafları tek nokta kaynağı makinelerinden daha düşüktür. Bu makinelerin çoğunda her bir kaynak kafası ayrı bir transformatöre bağlanmıştır. Kaynaklar aynı anda veya sıra ile gerçekleştirilir. İmal edilen mamul değiştirildiğinde bu makineler kullanılmaz hale gelirler. Bu nedenle bu gün makinelerin yerini programlana bilen robotlar almıştır.
Kaynak makineleri aşağıdaki üç ana sistemden oluşurlar.



Şekil 1.37 Elektrik Direnç Nokta kaynak Robotu



Şekil 1.38 Özel tasarımlı tam otomatik Elektrik Direnç nokta kaynak makinesi(Otomobil fabrikalarında kaporta seri üretiminde kullanılır).

1.12.4 Elektrik Devresi

Elektrik devresi, kaynak transformatörü, primer sargı sayısı değiştirme anahtarı ve Sekonder devreden oluşur. Sekonder devre kaynak edilen parçalara akım ileten elektrotları da ihtiva eder.

Direnç nokta kaynağında kullanılan kaynak makineleri mono veya tri fazlı şebekeden alınan alternatif akımı, 2–20 volt gibi düşük bir gerilime indirgerler. Makinenin mono veya tri fazlı olarak seçiminde makinenin kapasitesi, ilk yatırım, işletme ve bakım masrafları göz önüne alınır. Ekonomik açıdan mono fazlı makineler daha sık kullanılır. Kaynak makinesinin elektrik devresi kaynak transformatörü, primer sargı değiştirme anahtarı ve Sekonder devreden ibarettir. Sekonder devre transformatörü Sekonder uçlarından itibaren kaynak edilen parçalara akım iletilmesini sağlayan kısımdır.

1.12.4.1 Kaynak Transformatörü

Kaynak transformatörü yüksek gerilimdeki şebekeden alınan gücü, düşük gerilimdeki hemen hemen eş değer bir güce çevirir. Transformatör devresi esas olarak:

- Bir manyetik devre

- Şebekeye bağlanmış primer sargı
- Elektrotlara kaynak için gerekli gücü sağlayan Sekonder sargıdan (genellikle bir veya iki sargıdan oluşur) ibarettir.

1.12.5 Kontrol Cihazı

Bu cihaz kaynak akımının başlatılmasını, işlemlerin sürelerinin belirlenmesine ve bu işlemlerin belli bir sıra içerisinde gerçekleşmesini sağlar. Ayrıca primer sargı sayısını değiştirme anahtarı yerine veya bına ilave olarak kaynak akımının şiddetinin ayarlanmasında kullanılabilir.

Kaynak makinelerinin kontrol cihazlarının üç ana fonksiyonu vardır.

- Kaynak akımının başlatılması ve kesilmesi
- Kaynak makinesinin mekanik işlemler süresini ayarlamak ve sıra ile cereyan etmesini sağlamak
- Kaynak akımı şiddetini ayarlamak

Kontrol cihazları üç gruba ayrılır:

1.12.5.1 Kaynak Kontakları

Bu kontaklar elektrik güç devresinin açılıp kapanmasını sağlarlar. Genel olarak primer devre üzerindedirler. Kaynak makinelerinde üç tip kontak kullanılabilir.

- Mekanik Kontaklar:
  Mekanik kontaklar daha ziyade çok küçük kapasiteli makinelerde kullanılırlar. Kontak ayak pedalı veya motor ile döndürülen bir kam ile kumanda edilir.
- Manyetik kontaklar:
  Manyetik kontaklar, bir elektromıknatıs vasıtasıyla elektrik kontağını kaparlar. Elektromıknatısın devresi açılınca kaynak kontağı da bir yay vasıtasıyla açılır. Mekanik ve manyetik kontaklar çeşitli dezavantajlardan dolayı kullanımı epey azalmıştır.
- Elektronik Kontaklar:
  Elektronik kontaklarda, ignitron tüpü, Thration tüpü ve tristörler kullanılır. Tüp şeklindeki kontaktörler bugün yerlerini tristörlere bırakmıştır. Günümüzde birçok fabrika kaynak makinelerini ignitron tüpü ile teçhiz edilmişlerdir.

1.12.5.2 Zaman Ayar Cihazları

Zaman ayar cihazları kaynak işlemlerinin birbiri ardına cereyan etmesini ve bu işlemlerin sürelerinin ayarlanmasını sağlar. Bunlar senkronize veya nonsenkronize olmak üzere iki tiptirler. Zaman ayar cihazları, hemen bütün kaynak çevrimleri için gerekli olan dört ana işlemin zamanının ayarlanmasında kullanılırlar.

Bu işlemler:

- Elektrotların kapanması ve kuvvet tatbiki,
- Kaynak akımını başlatmak,
- Kaynak akımını kesmek ve elektrot kuvvetinin devamını sağlamak,
- Elektrotları açmak.

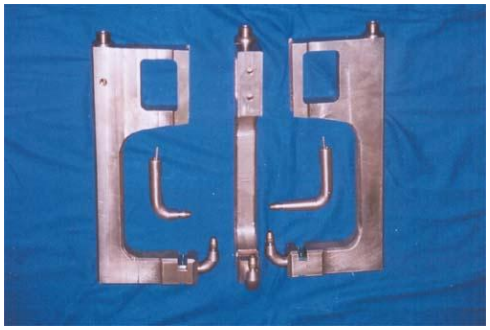
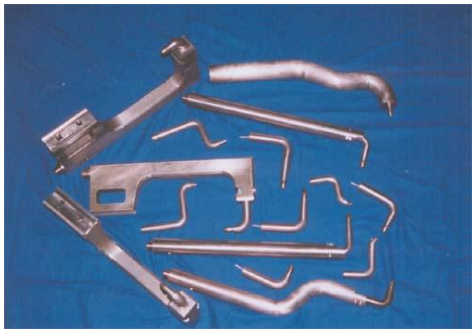
1.12.5.3 Faz Kaydırma İle Kaynak Akımının Ayarları

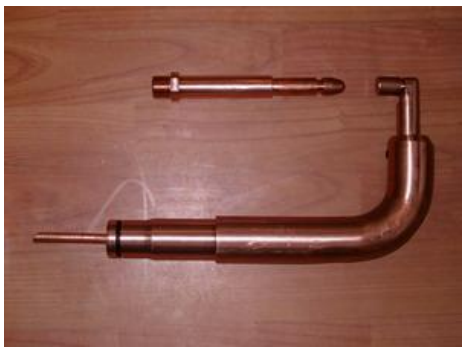
Primer devre üzerindeki, sargı sayısı değiştirme anahtarı, kaynak akımının ana ayarı için kullanılır. Ara veya hassas ayarlar gerekli olduğu takdirde elektronik faz kaydırma cihazı kullanılabilir. Faz kaydırma cihazları kullanıldığında, ignitron ateşleme devrelerindeki yarı iletken doğrultucular yerine thyratron tüpleri veya silikon kontrollü doğrultucular kullanılır. Bu tüpler ve doğrultucular vasıtası ile ignitronların her yarım periyottaki ateşlemesi kontrol altına alınır. Bu suretle ignitronların ateşlenmesi istenilen anda yapılabilir yani ateşleme voltaja göre geciktirilebilir. Bu gecikme faz kaydırma cihazı ile kontrol edilebilir.

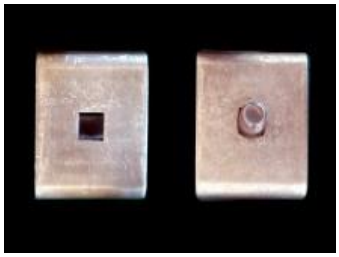
1.12.6 Mekanik Kısım

Mekanik kısım, gövde, kaynak kuvvetini sağlayan ekipmanları ve elektrotların soğutma devresini ihtiva eder.

1.13 Punta Kolları ve uçlarına Örnekler





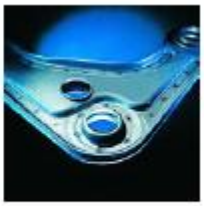
Şaft titreşim tutucuları Braket Hava filtresi parçaları

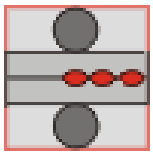
Hava fitresi montajı

PKW-Rücksitzlehne (Blech-Blech)

PKW-Rücksitzlehne (Rohr-Blech)

PKW-Querträger


PKW-Achslenker

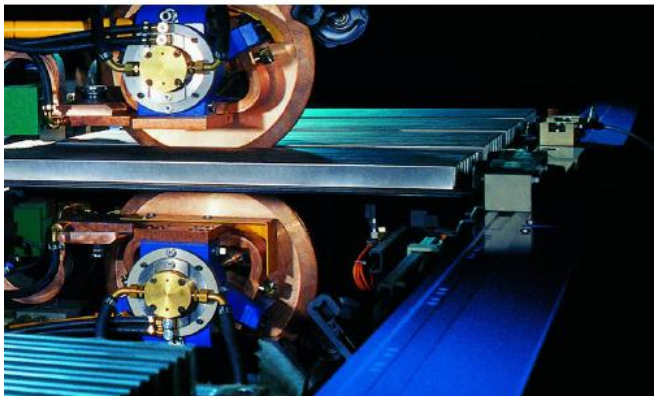


2. ELEKTRİK DİRENÇ DİKİŞ KAYNAĞI

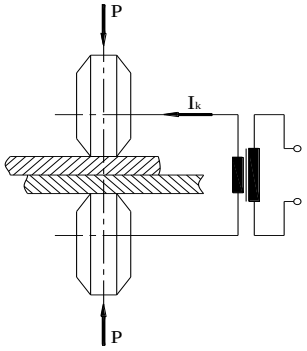
Direnç dikiş kaynağı, eletrodlarla gerçekleştirilen, seri bir nokta kaynağı olarak tanımlanabilir. İnce saclardan yapımlarda sızdırmazlık koşulunu da sağlaması nedeni ile karoseri yapımından konserve kaplarına kadar uygulama alanlarına sahip bulunmaktadır.

Direnç Dikiş Kaynağı Birleştirme Örnekleri;

- Üç parçadan oluşturulan metalsel fıçılar
- 1,25 mm'lik sacdan derin çekilmiş ve birleştirilmiş radyatör dilimleri
- Egzoz dumanı susturucusunun kaynağı
- Çamaşır makinesi kazanı (1,2 mm)
- Motosiklet selesi
- Benzin deposu.



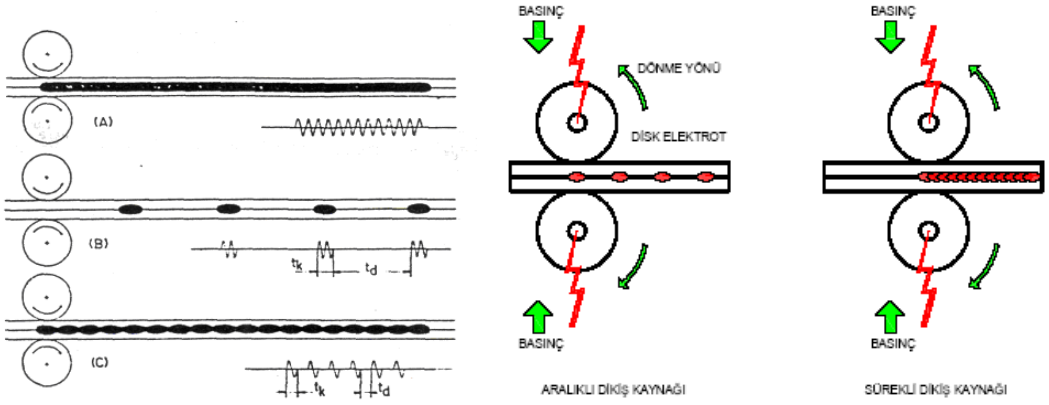
Bu yöntemde dönel elektrotlar, akım geçişi ve uygulanan kuvveti iletmesinin dışında, birleştirilen malzemenin ilerlemesini de sağlamaktadırlar (Şekil 2.1). Çelik esaslı malzemelerin kaynağında, dönel elektrotlardan bir tanesinin döndürülmesi yeterlidir. Diğeri ise sürtünme etkisi ile dönmektedir. Demir olmayan malzemelerin kaynağında kaymalardan sakınmak için her iki elektrodun da döndürülmesi gerekmektedir. Kaçınılmaz yan devre etkisi nedeni ile kaynak edilebilir parça kalınlıkları, nokta direnç kaynağına kıyasla daha ince olmaktadır. Örnek olarak yüksek güçlü kaynak makinesi kullanılsa bile, çeliklerin birleştirilmesinde, 4 mm'nin üstündeki uygulamalarda başarılı olunmamaktadır.



Şekil 2.1 Yukaçlı dikiş kaynağının esası

Yufkaç ile yapılan dikiş kaynağında farklı üç uygulama türü bulunmaktadır.

- Sürekli akımla dikiş kaynağı,
- Kesintili akımla dikiş kaynağı,
- Kademeli, gidiş – dönüş esasına göre dikiş kaynağı.



Şekil 2.2 Elektrik Direnç dikiş kaynak çeşitleri
A) Sürekli Dikiş
B) Aralıklı Dikiş
C) Dinlenme zamanı kullanılarak elde edilen sürekli dikiş

Akım kesilmesi olmadan ve sabit akım şiddetiyle dikiş kaynağı, sadece temiz sacların, 1mm'ye kadar toplam kalınlıklarında uygulanır. Eşit olmayan malzeme kalınlıklarında, akım kesilmesi tehlikesi oluşacağından, dikişlerde kavrulma delikçikleri ortaya çıkabilmektedir. Kesintili akımla dikiş kaynağı ile çeşitli malzemeler birleştirilmekte, uygulamada yufkaçlar sabit çevre hızına sahip bulunmaktadırlar. Temiz olmayan yüzeylerin kaynağında da iyi sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu tür işlemde akım devreden periyodik olarak geçirilmektedir. Kademeli gidiş – dönüş esasına göre dikiş direnç kaynağı, kesintili dikiş kaynağı ile karşılaştırılabilir. Bu uygulamada yufkaçlar, kaynaktan sonra her bir nokta için küçük bir geri hareketi yapar ve o nokta tekrar haddelenerek geçilir. Bugünkü uygulamalarda bu yönteme fazlaca rastlanmamaktadır.

Dikiş direnç kaynağında elde edilen dikişin genişliği ile kullanılan yufkacın temas yüzeyi genişliği arasında yaklaşık olarak;

$$\mathbf{L = b + 1\ (mm)}$$

ilişkisi bulunmaktadır.

L: Yufkaç Genişliği (mm)

B: Dikiş Genişliği (mm)

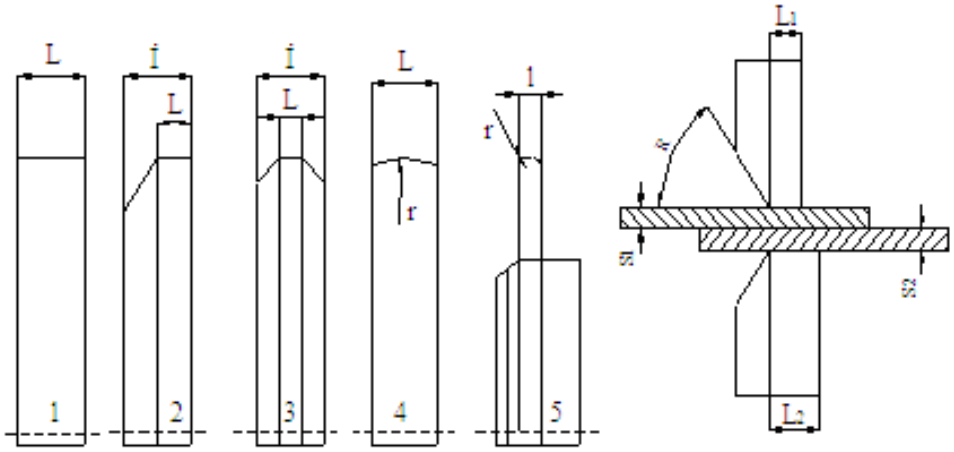
Farklı et kalınları için

$$L_1 = 2\ S_1 + 2\ mm$$
$$L_2 = 2\ S_2 + 2\ mm$$

Genel

$$L = 2\ S + 2\ mm$$
$$İ = 4s + 6\ mm$$

r= 50 mm (0.5-1.5 mm)
r= 75 mm (1.5–2.0mm)



Şekil 2.3 Dikiş direnç kaynağı için elektrotlar

2.1 Yufkaç Elektrotlar

Yufkaç elektrotlar beklenen özellikler de, nokta kaynağında kullanılan elektrotlardan beklenen özelliklerin benzeridir. Malzemeleri bakır, bakır – kadmiyum, bakır – krom, bakır – kobalt – berilyum alaşımlarıdır. Bu malzemelerin sertlikleri arttıkça, elektriksel dirençleri de büyümektedir. İşlemlerde, Yufkaç elektrotların temas profillerinin birleştirilecek konstrüksiyona göre seçilmesi gerekmektedir. Şekil 2.3.'de yufkaçların kaynak edilecek malzemelere temas formları görülmektedir. Bu formların seçilişlerinde, nokta kaynağında olduğu gibi, malzeme yüzey durumu, kalınlığı ve elektrik iletkenliği dikkate alınmaktadır.
Yufkaçlar genel olarak 50 – 500 (800) mm çap aralığında imal edilmekte, yaygın olarak ise 250, 300, 350 mm çaplar kullanılmaktadır. Yufkaç kalınlıkların seçimleri ise, 3 mm'den ince olmamak koşulu ile kaynak edilecek saclar dikkate alınarak yapılmaktadır.

Şekil 2.4 Direnç Dikiş Kaynağı Elektrotları

Tablo. 2.1. Dönel yufkaç dikiş kaynağı için işlem değerleri

Kalınlık (mm)	Kuvvet (daN)	Akım şiddeti (A)	Kaynak süresi (s)	Ara süre (s)	Kaynak hızı (m / dak)
Alaşımsız Çelikler					
0,5	250	10600	0,02 – 0,04	0,04	2,3
0,8	340	13000	0,02 – 0,06	0,04	2,1
1,0	400	15000	0,04 – 0,06	0,04	1,9
1,5	525	17500	0,04 – 0,08	0,06	1,7
2,0	675	21000	0,06 – 0,12	0,08	1,5
2,5	800	26000	0,08 – 0,14	0,10	1,3
3,0	950	30000	0,10 – 0,20	0,16	1,1
Paslanmaz Çelikler					
0,5	330	8250	0,02	0,04	1,4
0,8	400	12000	0,04	0,06	1,3
1,0	580	12800	0,06	0,06	1,2
1,5	810	15100	0,06	0,08	1,1
2,0	1000	16500	0,08	0,10	1,0
Hafif Metaller					
0,5	260	23600	0,02	0,02	1,25
0,8	330	28600	0,02	0,06	1,0
1,0	380	32000	0,04	0,06	0,9
1,5	430	36000	0,04	0,06	0,75
2,0	480	42000	0,06	0,10	0,6

Dönel yufkaçlarla nokta kaynağı uygulamasında, noktalar arası “e” aralığı için işlem hızı ve frekans bir faktör olarak ele alınmaktadır.

$$e = 1000.V_k / (2.f.60) \qquad (mm)$$

V_k: kaynak hız (m / dak)
f: frekans (Hz)

Bu ifadenin aralıksız noktalar oluşturmasında, dikiş kaynağı yapılmasında, bir anlamı bulunmaktadır. Dönel yufkaçlarla yapılan nokta kaynağında, normal elektrotla yapılan nokta kaynağına kıyasla, daha yüksek çalışma hızlarına ulaşıl maktadır. Tablo.2.1.’de değişik malzemelerin, en az “e” aralık yoğunluğunda kaynak yapılmalarında, çalışma değerleri bir ölçek olarak verilmektedir.

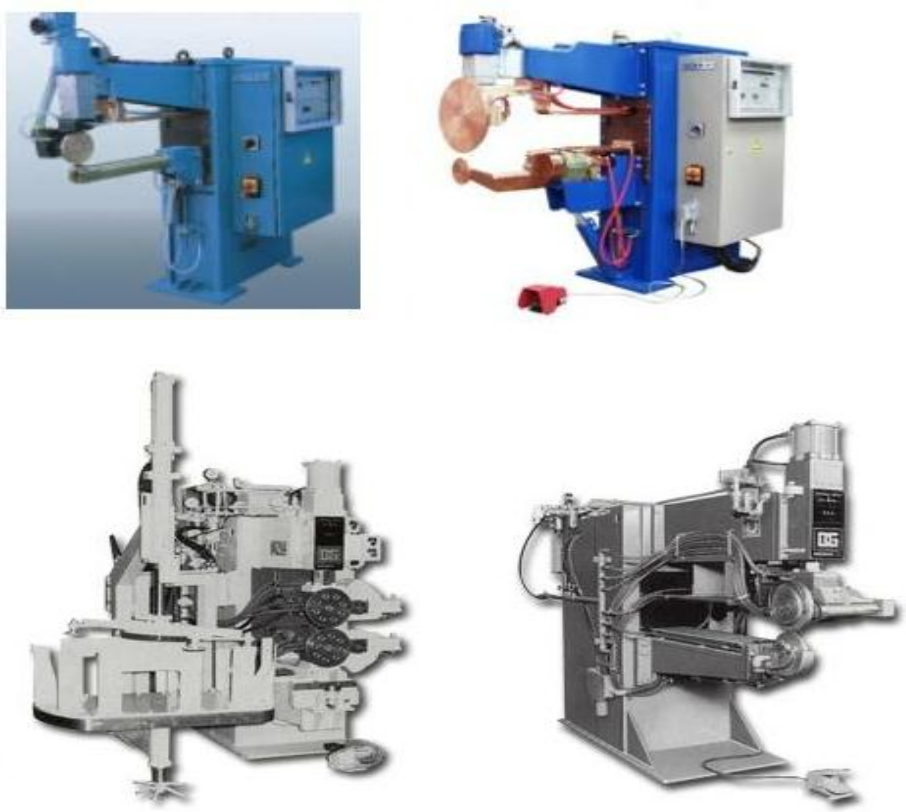
2.2 Direnç Dikiş Kaynak Makineleri

Direnç dikiş kaynak makineleri, esas olarak nokta direnç kaynak makinelerinin benzeridir. Normal bir nokta kaynak makinesi bu amaçla kullanılabilir. Bu makineler yufkaç elektrotların tertiplenmesine göre, uzunlamasına dikiş çekebilen, enine dikiş

çekebilen ve özel maksatlı kaynak makineleri olarak tanımlanabilir. Uzunlamasına dikiş çekebilen makinelerde, dikişin doğrultusu elektrot kolu boyuncadır. Enine dikişli kaynak makinelerinde yufkaçlar, elektrot kollarının eksenine enli olarak tertiplenir ve bu düzenleme dönel dikişlerle uygulanır. Dikiş direnç kaynak makinelerini güçlerine göre tanımlamada, malzeme ilerleme hızı, kaynak hızı, esas alınmaktadır. Bu tanımlamaya göre iki örnek aşağıda verilmiştir.

Küçük güçlü kaynak makinesi (çelik 0,5 x 2 veya Al- 0,2 x 2)	0,0 – 2,4 m / dak
Büyük güçlü kaynak makinesi	0,8 – 4,0 m / dak

Özel olarak tanımlanan dikiş direnç kaynak makineleri ise, tek amaç için düzenlenmiştir. Bunlardan çift dikiş çekmede, boru, oluk ve halka imalinde yararlanılmaktadır.

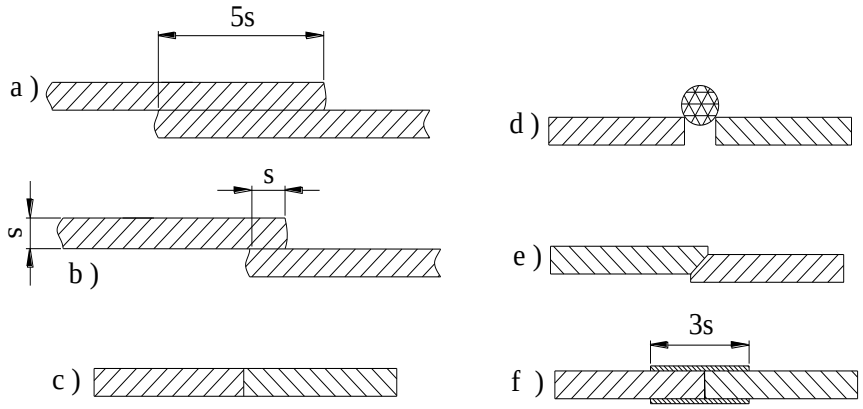


Şekil 2.5 Direnç Dikiş Kaynağı Makinaları

2.3 Direnç Dikiş Kaynağında Dikiş Biçimleri

Uygulamalarda, dikiş güveni yönünde değişik bindirme biçimlerinden yararlanıl-maktadır. Bindirme boyu 5s olduğundan malzeme dayanımının % 90 – 100'üne ulaşılabilmektedir. Daha az güven gereken uygulamalarda, bindirme aralıkları daha kısa tutulabilirse de, kaynak hatası oluşum ihtimalini azaltmak için, "s" kalınlığının altına inilmesi gerekir. Bu biçim (b), yufkaç kalınlığı da dikkate alınarak, toplam kalınlık 1,2 mm'ye kadar uygulanır. Bu tür oluşturulan dikişlere dayanım, ana malzemeden yaklaşık % 5 – 15 daha az olarak ortaya çıkmaktadır.

Alın birleştirmelerinde (c), alın yüzeylerinin çok iyi bir ön hazırlama işlemine tabi tutulmuş olması gereklidir. En iyi şartlarda ana malzemenin % 60'ı kadar bir dayanıma ulaşılmaktadır.



Şekil. 2.6. Dikiş biçimleri.
a) bindirme dikiş, b) kısa bindirmeli dikiş, c) alın dikişi, d) tel ilave alın dikişi, e) çapraz alın dikişi, f) folie ilaveli alın dikişi

İlave telle yapılan kaynak uygulamasında (d), sonuç ve işlemin yapılışı açısından her durumda önerilmez. İşlem sonunda saclar kısmen kaynak edilmiş olmaktadırlar.

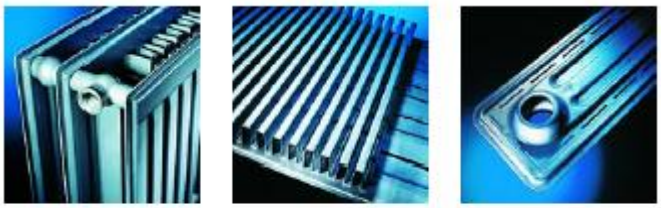
Kaçık alın birleştirmeli dikişlerle (e) her ne kadar iyi dayanım değerlerine ulaşılırsa da, ön hazırlama işlemlerinin fazlalığının maliyete yansıması nedeni ile her durumda başvurulmamaktadır.

Folie ilave malzemesi ile yapılan alın dikişlerinde ise, yüksek dayanım ve iyi bir dış görünüm elde edilmektedir. Uygulamaya genellikle alaşımsız ve alaşımlı çeliklerin birleştirilmelerinde başvurulmaktadır. İşlemde alın alına getirilen ana malzemelerin eş kalınlıkta olmaları ön şart olarak gerekli bulunmaktadır. Birleştirilmesi ön görülen sac kalınlıklarına uygun Folie band kalınlıkları aşağıda verilmektedir.

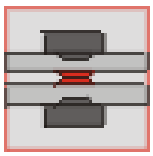
Sac Kalınlığı (mm)	Folie Band Kalınlığı (mm)
0,6 – 2,0	0,20
1,5 – 3,5	0,35
3,0 – 5,0	0,50

Yakıt deposu

Yakıt deposu montajı



Dreilagiger Plattenheizkörper | Design-Heizkörper mit Konvektor | Element für Elektroheizkörper

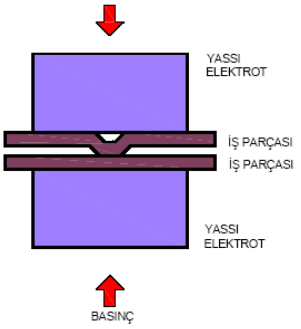


3. KABARTILI DİRENÇ KAYNAĞI

Kabartılı direnç kaynağı, seri imalat için ekonomik bir birleştirme yöntemidir. Uygulamadan yararlanılarak, çoğunlukla sac malzemelerin, tek işlemde iki veya daha çok noktasının birleştirilmesi gerçekleştirilebilmektedir.

Kabartılar iki grupta sınıflandırılır:

- Yapay kabartılar
- Doğal kabartılar



3.1 Yapay Kabartılar

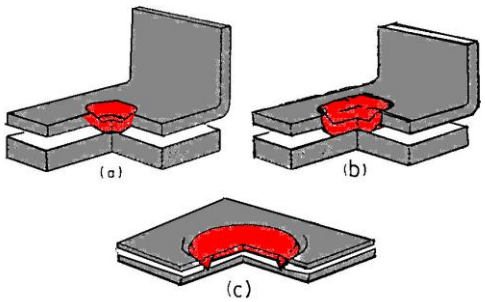
Yapay kabartılar kaynaklanacak parçalar üzerinde mekanik bir işlemle elde edilir. Kabartılar ince levhalarda kabartı kalıpları kullanılarak elde edilir. Bu işlem genellikle, saclara şekil verme işlemi sırasında, şekil vermenin bir safhasında uygulanır. Kalın parçalarda ve dövme parçalarda ise kabartı damgalama yoluyla elde edilir. Damgalama işlemi parçaların dövme işlemi sırasında gerçekleştirilir.

Kabartılardan aşağıdaki özellikler beklenir:

- Kaynak akımı öncesi uygulanan elektrot basıncı altında çökmeyecek mukavemete sahip olmalıdır.
- Kaynak akımının geçişi sırasında çökmesi yavaş olmalıdır. Sıcak mukavemeti düşük olan alüminyum ve bazı bakır alaşımlarının kabartılı kaynağı bu nedenle çok güçtür.
- Uygun bir kaynak dikişi oluşturmaya yeterli ısıyı sağlayabilecek büyüklükte olmalıdır.
- İmalatı sırasında kullanılan takımların aşınmasını minimum kılan ve sürekli sabit boyutlarda üretilebilmesini sağlayan basit bir şekle sahip olmalıdır.
- Şekil verilmesi sırasında civarındaki malzemede distorsiyona neden olmamalıdır.
- Parçada kopma, ayrılma ve benzeri hasarlar meydana getirmeden imal edilebilmelidir.

Bu şartları sağlayan üç çeşit kabartı mevcuttur (Şekil3.1):

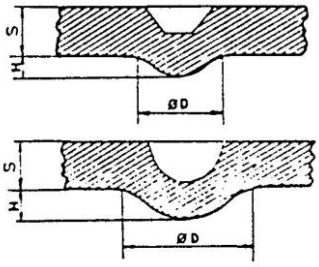
- Nokta kabartı
- Uzun kabartı
- Halka biçimli kabartı



Şekil 3.1 Yapay kabartılar

3.1.1 Nokta Kabartı

Bunlar ince levhalarda kabartma kalıpları kullanarak, kalın levhalarda veya büyük kütleli parçalarda damgalama veya dövme işlemi ile elde edilirler. Kabartma kalıpları ile elde edilmiş kabartıların dış yüzeyleri küreseldir. İç kısımları ise, kullanılan ıstampanın şekline bağlı olarak kavisli veya köşeli (Şekil3.2) olabilir. Kabartı boyutları, H yüksekliği ve D taban çapı ile belirlenir. Bu boyutlar levha kalınlığına bağlı olarak değişir.

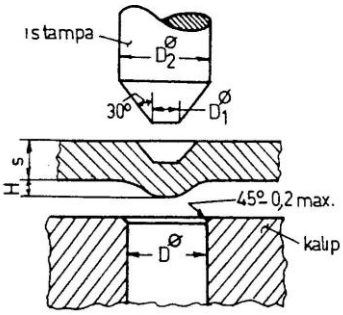


Şekil3.2 Kabartı kalıpları ile gerçekleştirilen nokta kabartılar

Şekil3.3'te 3 mm ye kadar kalınlıktaki sıcak veya soğuk haddelenmiş yumuşak çelik saclarda kullanılan kabartı kalıbı Tablo 3.1'de ise sac kalınlığına bağlı olarak kalıp ve kabartı boyutları verilmiştir. Tablo 3.1'de gösterilen boyutlardaki kabartılar kullanılarak, nokta kaynağındakine benzer şekilde, s (mm) levha kalınlığı olmak üzere,

$$5\sqrt{s}$$

çapında kaynak dikişi elde edilir.



Şekil3.3 Kabartma kalıbı ve ıstampası ve kabartının şekli

Tablo 3.1 Sac kalınlığına bağlı olarak kalıp ve kabartı boyutları verilmiştir.

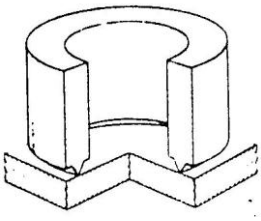
Saç kalınlığı s (mm)	D_1 (mm)	D (mm) (+ 0,1-0 mm)	H (mm) (+ 0-0,1 mm)
0,5 'e kadar	0,5	1,6	0,4
0,5 - 0,6	0,63	2,0	0,5
0,6-1,0	0,8	2,5	0,63
1,0-1,6	1,0	3,2	0,8
1,6-2,5	1,25	4,0	1,0
2,5-3.0	1,6	5,0	1,25

3.1.2 Uzun Kabartı

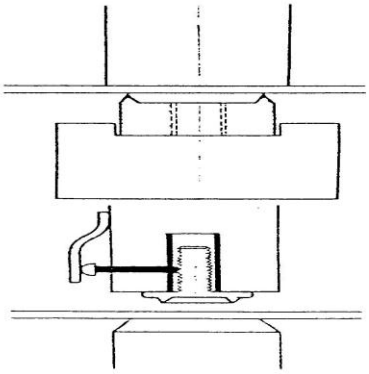
Uzun kabartı parçanın şekli ve cinsi böyle bir kabartının kullanılmasını gerektirdiğinde veya nokta kabartı yeterli mukavemet sağlamadığı zaman kullanılır. Verilen bir levha kalınlığı için, uzun kabartının yüksekliği nokta kabartının yüksekliği, eni ise nokta kabartının taban çapı kadardır. Uzunluğu, uygulamaya uygun düşen miktarda ve genellikle genişliğinin iki veya üç katı kadar yapılmalıdır.

3.1.3 Halka Biçimli Kabartı

Bu tip kabartılar özellikle 0.6 mm den daha ince sacların kabartılı kaynağında tercih edilir. Bu tip kabartının kaynak akımı öncesi elektrot kuvvetine karşı gösterdiği mekanik direnç, nokta kabartıya nazaran daha yüksektir. Bu tip kabartılar gaz ve su sızdırmaz kaynak dikişi istendiğinde ve boruların levhalara kaynağında (Şekil 3.4) kullanılır. Sac eşya ve oto karoseri imalatı gibi birçok sanayi kolunda, cıvata, somun gibi parçaların saclara kaynatılmasında bu kabartı tipi kullanılır.(Şeki3.5).



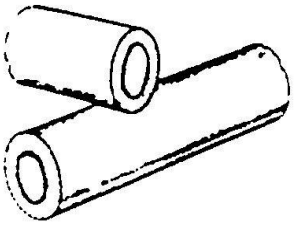
Şekil 3.4. Borunun levhaya kaynağında halka biçimli kabartı



Şekil 3.5 .Somun ve cıvatanın levhaya kaynatılmasında halka biçimli kabartı

3.2 Doğal Kabartılar

Bazı parçalar özel geometrik şekilleri nedeniyle, belirli bölgelerde kaynak akımının yoğunluğunun artmasına neden olurlar ve böylece o bölgeler doğal kabartı işlevi görür. Buna en iyi örnek iki borunun haç şeklinde direnç kaynağı ile birleştirilmesidir (Şekil3.6). Haç biçiminde yerleştirilmiş iki borunun başlangıçtaki teması noktasal olur. Bu noktasal temas, kaynak akımı yoğunluğunun bu bölgede büyük ölçüde artmasına ve bu bölgede kaynamaya neden olur. Benzer şekilde dairesel kesitli tellerin borulara haç şeklinde kaynağı mümkündür.

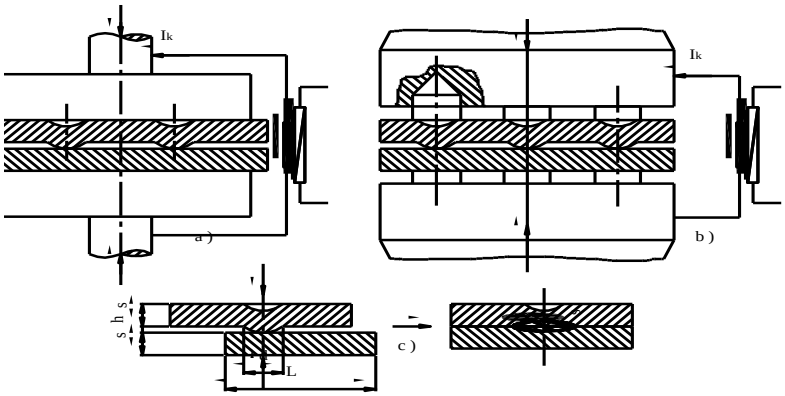


Şekil 3.6. İki borunun haç şeklinde kaynağı

Kabartılı direnç kaynağı birleştirme örnekleri;

- Boru üzerine üç noktalı kulak birleştirmesi
- Üç parçanın tek işlemde birleştirilmesi
- Dört nokta ile kelepçe birleştirilmesi
- Oto fren pabucu, yedi nokta ile birleştirme

Yöntemde kaynak akımı, oluşturulan çıkıntılardan aktığından, kaynak belirli bir kısım olarak sınırlandırılmış olmaktadır (Şekil.3.7). Yöntem nokta direnç kaynağı ile kıyaslandığında, üstün yönleri aşağıda özetlenmektedir.



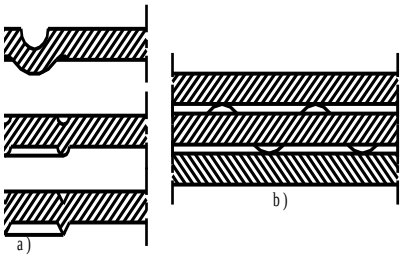
Şekil 3.7 Kabartılı kaynak işleminin esası

a). Düz elektrot düzenlemeli b). Nokta sayısı kadar elektrot düzenlemeli

c.)İşlemin yapılışı kaynaktan önce ve sonra

3.3 Kabartılı Direnç Kaynağının Üstünlükleri

- Elektrodun tek hareketi ile aynı anda birçok nokta kaynak edilebilmektedir.
- Kaynak akımı ve bununla birlikte birleşecek kısmın tavlanması çıkıntılar boyunca yoğunlaştırılmaktadır.
- Elektrot yüzeyinin büyüklüğü nedeniyle, daha düşük akım yoğunluğu ve daha küçük elektrot basıncı koşulları oluştuğundan, elektrot ömrü uzun olmaktadır.
- İşlemde basınç uygulamasından yüzeyde bir şekil değiştirme ortaya çıkmadığından, daha güzel dış görünüme ulaşılmaktadır.
- Birçok etkenlerin oluşturduğu, maliyet açısından tasarruf sağlamaktadır.



Şekil 3.8 a)Noktasal ve çevresel düzenlenmiş kabartı biçimleri,

b)Kabartılı kaynak ile üç parçanın birleştirilmesi

3.4 Kaynak Değerleri

Kabartılı kaynak uygulamasında verilen değerlerden kesin bir yargıya varılması gerekmektedir. Çalışma değerleri kabartı biçimi, boyutları ve sayısına bağlı bulunmaktadır. Şekil 3.8'de noktasal ve çevresel düzenlenmiş kabartı biçimleri görülmektedir. Değer seçiminde bu noktaların dikkate alınması gerekmektedir. Bu uygulama ile, yakın kaynak değerleri kullanılarak, kaynak birleştirilmeli tel eleklerin imali de mümkün olabilmektedir..

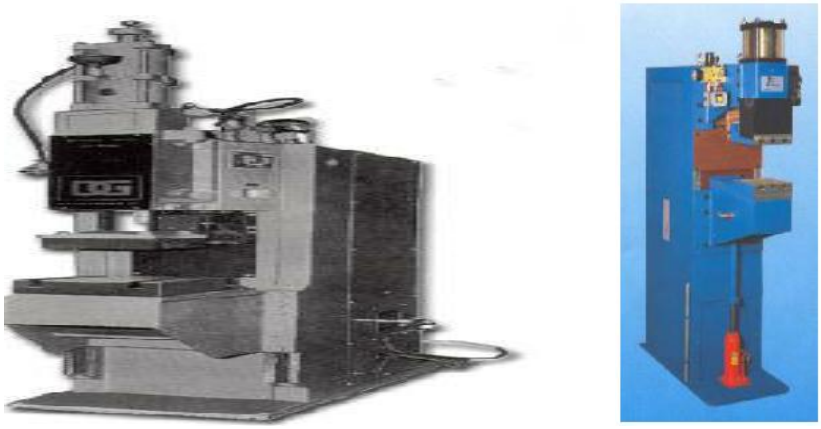
Tablo.3.2 . Kabartılı Kaynak İçin Çalışma Değerleri

Alaşımsız Çelikler

Kabartı boyutları (mm)				Kuvvet	Akım şiddeti	Kaynak süresi	Kaynak
S	d	h	l	(daN)	(A)	(s)	noktası (mm)
0,5	1,75	0,5	4,0	115	4800	0,16	3,5
1,0	3,0	0,7	7,0	230	8000	0,26	4,5
1,5	4,0	0,9	9,5	350	11000	0,36	5,7
2,0	4,75	1,0	11,0	465	13000	0,42	7,0
2,5	5,5	1,0	12,5	580	14500	0,46	9,0
3,0	7,0	1,5	17,5	700	16500	0,48	11,0
Paslanmaz Çelikler							
0,5	1,75	0,5	4,0	200	4000	0,16	3,5
1,0	3,0	0,7	7,0	400	6600	0,26	4,5
1,5	4,0	0,9	9,5	600	9000	0,36	5,7
2,0	4,75	1,0	11,0	800	11000	0,42	7,0
2,5	5,5	1,0	12,5	1000	12500	0,46	9,0
3,0	7,0	1,5	17,5	1200	14000	0,48	11,0

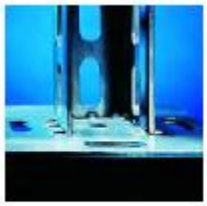
3.5 Kabartılı Direnç Kaynağı İçin Kaynak makineleri

İşlem, bütün çıkıntıların aynı elektrot basıncı ile tutulması ve bunun elektrodun tek hareketi ile sağlanması esasına dayanmaktadır. Bu koşul, kullanılan kaynak makinesinin dik baskı yüzeyinin tam çakışması ile sağlanabilir. Bu nedenle kabartılı kaynak makineleri elektrot kolları yerine, büyük bir baskı yüzeyi ve buna basınç iletici elemanlar ile donatılmıştır. Kabartı yüksekliklerindeki küçük farklılıklar, piston ve basınç yüzeyi arasında yerleştirilmiş, bir ara parça ile dengelenmektedir. Kabartılı kaynak makinesi kaynak presi olarak da adlandırılmaktadır.



Şekil 3.9 Kabartılı Direnç Kaynak Makinesi (Kaynak Presi)

Kabartılı kaynak için düzenlenmiş, tek faz beslemeli kaynak makinalarında, en yüksek güç 800 kVA, akım şiddeti ise 100 kA'e kadar olabilmektedir. Elektroda uygulanan kuvvet ise, hidrolik olarak üretilmekte ve 40 kN'a kadar çıkabilmektedir. Bu tür kaynak makinelerinde, basınç ve akım şiddetlerinin kumandası, elektronik bir zaman ayarlayıcı aracılığıyla sağlanmaktadır. Kaynak ünitesinin kazalara karşı güven yönünden, çift kademeli sigortalarla donatılmış olmaları gerekmektedir.


Buckelgeschweisste Palett-Regalstütze

Komponente für PKW-Scheibenwischer-anlage

Bauteil für PKW-Frontbeleuchtung

Pressgeschweisste Komponenten für Boilerdeckel

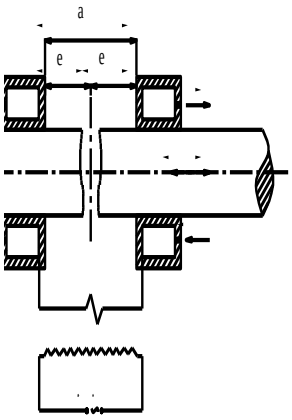
Pressgeschweisste Komponenten für PKW-Unterbau

4 ALIN DİRENÇ KAYNAĞI

Elektrik alın direnç kaynağında, kabartılı kaynakta olduğu gibi, parçanın toplam temas yüzeyinden akım geçirilerek bu kısım kaynak sıcaklığına getirilmektedir. Bu uygulamada, elektrot olarak tanımlanan elemanlar, parçaları tamamen veya kısmen kuşatmaktadır. Bu germe elemanlarının tipini, kaynak yapılacak parçaların şekli, büyüklüğü ve bileşimleri belirlemektedir. Bağlantı elemanları iş parçalarının şişme doğrultusuna doğru hareketli olarak düzenlenmektedir. Bu elemanların işlevleri aşağıda belirtilmektedir.

- Kaynak işlemi esnasında parçaları tam ölçülerinde tutmak,
- Kaynak akımını parçalara iletmek,
- Parçalara yığma (şişirme) kuvvetini iletmek

Alın kaynağında, bütün kesitte eşit akım yoğunluğu bulunduğundan, birim yüzeyde açığa çıkan ısı miktarı da eşit olmaktadır. Bu nedenle uygulamalarda, kesitlerin eş büyüklükte olması veya bir ön hazırlama ile bu koşulun sağlanması gerekmektedir. Sıkıştırma uzunluğu “e” kaynak edilecek kesit ve malzeme türüne göre seçilmektedir. Bu uzunluk, daha iyi elektrik ve termik iletkenliğe sahip olan malzemelerde(düşük C- lu çelik), düşük olanlara
(yüksek C- lu çelik) kıyasla daha büyüktür. Bu nedenle, farklı malzemelerde eş tavlamaların gerçekleştirilmesi sorunu ortaya çıkmaktadır. Akım geçiren germe elemanlarının diyagonal düzenlenmeleri ile de daha iyi sonuçlar elde edilebilmektedir.

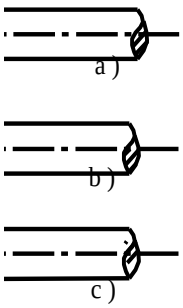


Şekil. 4.1 . Elektrik alın direnç kaynağı esası

Uygulamada akım geçişi genellikle, dört sıkıştırıcı eleman üzerinden yapılmaktadır. Akım geçirmesini de üstlenmiş germe elemanları Cu- veya Cu- alaşımlarından, akım geçirmeyenler ise genellikle çelikten seçilmektedirler. Elektrik direnç alın kaynağı kaynak dikişinin oluşum mekanizması bakımından alın yığma kaynağı ve alın yakma kaynağı olarak iki kısımdan incelenebilir.

4.1 Alın Yığma Kaynağı

Bu uygulama pres alın kaynağı olarak da adlandırılmaktadır. Yöntem, basit geometrik kesitli, düşük C- lu çeliklerin, 200 mm^2'ye kadar yüzeylerinin birleştirilmesinde uygulanmaktadır. Yöntemden demir olmayan metallerin birleştirilmesinde de yararlanılmaktadır. İşlem, iş parçalarının alın yüzeylerinin temizlenmesi ve paralel bir konumda, alın alına sıkıştırılması ile başlamakta, relatif kontak noktalarının arttırılması aşamasından sonra, kaynak akımı devreye sokulmaktadır. Kontak direnci ve kaynak akımının beraberce etkisinden, temas yüzeylerinde büyük bir ısı oluşmaktadır. Kaynak bölgesindeki sıcaklığın 850–1250 ^oC'ye ulaşması sonrası, etki ettirilen yığma kuvveti ile birleştirme tamamlanmaktadır.



Şekil 4.2 Alın yığma ve yakma direnç kaynağı sonu parça dış görünümleri.
a) çeliğin alın yığma kaynağı ile birleştirilmesi
b) Fe- olmayan metalin alın yığma kaynağı ile birleştirilmesi
c) alın yakma kaynağında dış görünüm

Yöntemin uygulanmasında aşağıda belirtilen esaslar ve sınırlamaların göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

- Ekonomiklik açısından, yöntem sadece küçük kesitlerin birleştirilmelerinde uygun görülmektedir (yaklaşık 200 mm^2'ye kadar).
- Alın yüzeylerinin, paralellik koşulunu sağlaması gerekmektedir.

- Yüzeylerin eş kesitli olacak şekilde işlenmesi, yabancı eleman bulunmayacak şekilde soyulmuş olması gerekli bulunmaktadır.
- Elde edilen kaynaklı birleştirmenin dayanımı, özellikle dinamik zorlamalara maruz parçalarda, yeterli bulunmamaktadır

4.2 Yakma Alın Kaynağı Ve Endüstride Kullanımı

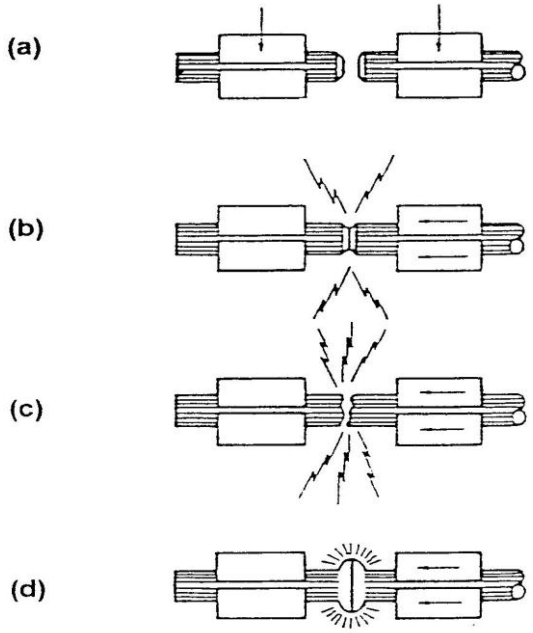
Yakma alın kaynağı, bitişik iki alın yüzeyinin tüm alanını kapsayan bir elektrik direnç basınç kaynak yöntemidir Bu yöntem en ilkel kaynak yöntemi olan demirci kaynağının modernleşmiş biçimidir. Kaynak edilecek iki çubuğun birleştirilmesi için öncelikle alın kısımlarının erime sıcaklığına getirilmesi gerekir. Bunun için gerekli kaynak ısısı, elektrik akımının aktığı temas noktasının direnci ve yüzeyler arasındaki ark ile sağlanır. Uygulanan eksenel basınç ile erimiş metal ve oksitler dışarı sürülerek ana metal bir miktar yığmaya uğratılır.

Yakma alın kaynağı için aşağıdaki işlem sırası izlenir.

- Çeneler arasındaki parça sıkıştırılır (Şekil 4.3a),
- Parçalara yakma gerilimi ve akımı uygulanır, kızak harekete başlar (Şekil 4.3b),
- Normal gerilimde yakma işlemi gerçekleştirilir (Şekil 4.3.c),
- Kaynak bölgesine yığma uygulanır ve akım kesilir(Şekil 4.3.d),

Yukarıda anlatılanlardan da anlaşılacağı üzere yakma alın kaynağı
- Yakma kademesi
- Yığma kademesi

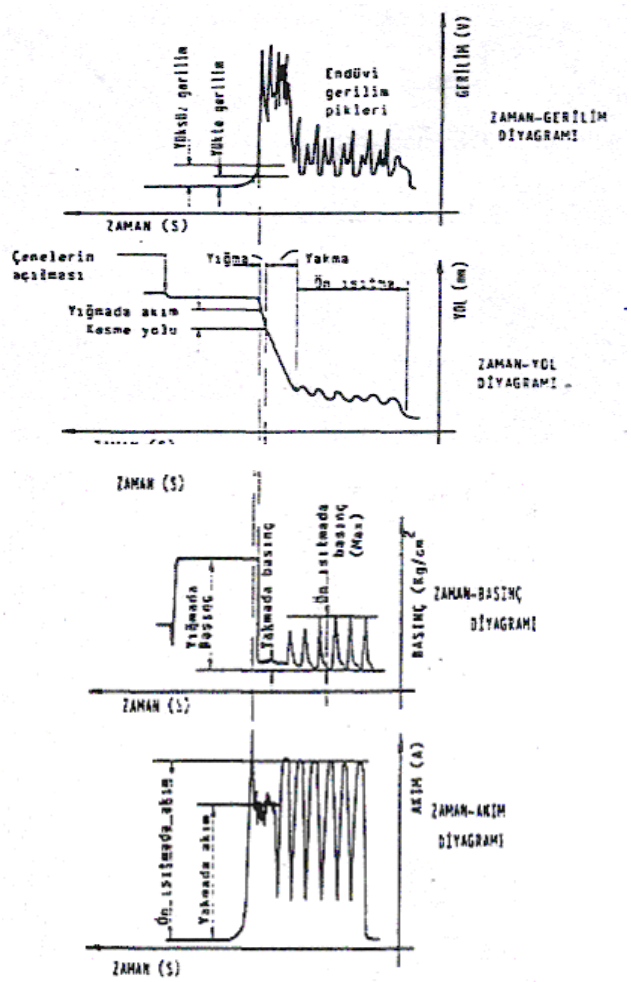
olmak üzere iki ana kademeden oluşmaktadır.



Şekil 4.3 Yakma alın kaynağının işlem kademeleri

Eriyik duruma gelen metal hacimler patlar ve kıvılcımlar halinde dışarı fırlar; metal hacminin yerinden ayrılmasıyla elektrik köprüsünün devresi kapanır ve kısa süreli ark oluşur. Bu oluşum sonrasında temas noktalan küçük kraterlere dönüşür. Parçalar tekrar temas ettirildiğinde bu kez bu kraterlerin uç kısımları elektrik köprüsü görevini görür ve yukarıda anlatılan olaylar tekrarlanarak yeni kraterler oluşur. Tablanın bu ileri geri hareketi bütün malzeme yüzeyi kraterle, arkla ve erimiş metal ile kaplanana kadar devam ettirilir. Belli bir yakma süresi sonrasında yüzeyler gerekli sıcaklığa ulaştığında parçalara eksenel bir basınç uygulanarak erimiş metal ve bağlantılar dışarı sürülerek ana metal yığmaya uğratılır. Yığma basıncının uygulanmasıyla yakma gerilimi kesilir. Daha düşük yığma basınçlarının uygulandığı bazı durumlarda yığma gerilimi uygulanır.

Yakma alın kaynak İşleminde, kaynak makinesinde ayarı kolaylıkla yapılabilecek olan en önemli parametrelerden uzaklık, gerilim, akım ve yığma basıncı gibi değerlerin, zamanın fonksiyonu olarak kaydedilmesi mümkündür (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 Yakma alın kaynağı kaynak parametre diyagramları

Bu diyagramlar kaynak işleminin irdelenmesinde önemli yararlar sağlamaktadır. Bu diyagramlar ile

- Ön ısıtma, yakma ve yığma süreleri kontrol edilebilir,
- Kızak hareketindeki ve akım geciktirmesindeki olası hatalar saptanabilir,
- Malzeme sarfiyatı hesaplanabilir,
- Yığmadaki akım kesme noktası kontrol edilebilir,

Yakma alın kaynağı işlemi için kullanılan makinalar beş ana parçadan oluşmaktadır.

- Kızak ve kızak hareketini sağlayan elektrik tesisatının bulunduğu makine yatağı,
- Hareket edebilir kızak,
- Biri rijit olarak kızağa bağlı olan iki adet bağlama tertibatı,
- Ayar kademesi kaynak transformatörü,
- Kontrol ünitesi,

Yakma alın kaynağı makinelerinin hemen hemen tümü yarı otomatik ya da tam otomatik olarak dizayn edilirler. Yarı otomatik makinelerde operatör genellikle yakma işlemini elle başlatır, bundan sonraki olaylar otomatik olarak gerçekleşir. Tam otomatik operasyonlarda ise, makineye parçalar yüklenir, kaynak parametreleri önceden operatör tarafından seçilir ve bundan sonraki kaynak operasyonu tamamen otomatik olarak gerçekleştirilir Yakma alın kaynağında kullanılan elektrotlar kaynak kalitesi üzerinde en etkili makine parçasıdır. Elektrotlar kaynak bölgesi ile direkt temas halinde değildirler, tespit ve akım iletici olarak görev yaparlar. Elektrot boyutları geniş ölçüde kaynak edilecek parçaların geometrisine bağlıdır ve yığma sırasında merkezlenmiş parçaların konumunu bozmayacak düzeyde rijit olmalıdır. Ayrıca elektrot temas alanları, bölgesel yanmalardan kaçınmak için olabildiği kadar geniş tutulmalıdır. Elektrotlar aşınmaya eğilimlidir ve temas bölgeleri sık sık kirlenmektedir. Her iki durumda da, özellikle ilk durumda temas alanları azalarak bölgesel sıcak noktalara neden olabilir.

4.3 Kaynak Parametreleri

Yakma alın kaynağı özellikle ön ısıtma, yakma ve yığma kademelerinde, kaynak mukavemetini ve kalitesini etkileyecek çok sayıda parametreye sahiptir. Bu parametreleri 7 ana grup altında toplamak mümkündür.

- Başlangıç ve ön ısıtma parametreleri,
  Başlangıçtaki çene mesafesi ayarı,
  - Ön ısıtma yolu,
  - Ön ısıtma süresi,
  - Ön Isıtma hızı,
  - Ön ısıtma basıncı,
  - Ön ısıtma gerilimi,
  - Ön ısıtma akımı,
- Yakma parametreleri,
  - Yakma yolu,
  - Yakma hızı,
  - Yakma süresi,
  - Yakma basıncı,

- Yakma gerilimi,
- Yakma akımı,

➢ Yığma parametreleri,
- Yığma hızı,
- Yığma zamanı,
- Yığma basıncı,
- Yığma gerilimi
- Yığma akımı,
- Yığma akımını kesme süresi,

➢ Toplam kaynak yolu,
➢ Toplam kaynak süresi,
➢ Elektriksel değişkenler,
➢ Kaynak sonrası ısıl işlemler,

Yukarıda sayılan parametreler arasında özellikle yakma ve yığma parametreleri, araştırmalara en çok konu olan ve yöntemi en çok etkilediği düşünülen parametrelerdir.

➢ Yakma kademesi

- **Yakma gerilimi:**

Yakma gerilimi, kaynak transformatöründeki ayar kademeleri ile ayarlanır. İyi bir yakma periyodu için gerilim mümkün olduğu kadar küçük seçilmelidir. Çalışmalar göstermiştir ki, kararlı bir yakma 2,5–3 V civarında sağlanabilmektedir; ancak akım makineleri için yakma voltajı 5–10 V civarındadır. Yüksek yakma gerilimi kullanıldığında, yakmayı başlatmak ve beslemek daha kolaydır; fakat bu durum yakma kademesi boyunca derin kraterlerin oluşmasına ve kaba yakmaya neden olabilir. Bu derin kraterlerin erimiş metal ve oksitleri bünyelerinde tutmaları nedeniyle yığma sırasında erimiş metal ve oksitler ara yüzeylerden tamamen alınamazlar; böylelikle kötü kalitede kaynağa neden olurlar. Bundan dolayı mümkün olduğu kadar düşük gerilim ile çalışılmalıdır; ancak yakmanın başlatılabilmesi için de yüksek gerilim gereklidir. Bu problemin çözümü için üç ayrı yöntem önerilmektedir. Yakma alın kaynağı ünitesi azalan bir gerilim kontrol ünitesine sahip ise, yakma, yüksek bir gerilim ile başlatılır ve daha sonra yakma periyodu için gerekli daha düşük bir gerilime indirilir. Yakma gerilimindeki değişimler, sadece transformatörün ayar kademelerinin değişimi ile sağlanmalıdır. İşlem için gerekli olan iki ayrı gerilim değeri, iki primer kontaktör kullanılarak sağlanır. Kontaktörlerden birisi yakmanın birinci safhası sırasında yüksek bir sekonder gerilimi sağlamak için gerekli beslemeyi sağlar. Diğer kontaktör, önceden belirlenmiş bir zaman sonrasında devreye girerek, yakma için gerekli normal sekonder gerilimi sağlar ve bu anda birinci kontaktör devre dışı kalır.

Kaynaklanacak parçaların uç kısımları yivli ya da oluklu hale getirilir. Böylece daha küçük dik kesit elde edilir ve yakma başlangıcı için daha yüksek akım yoğunluğu elde edilmiş olur. Yakma için önce, çalışma parçalarının uçları sabit bir basınç altında bir araya getirilir ve direnç ısıtması ile bir ön ısıtmanın oluşumu sağlanır. Direnç ile ısıtma, temas halindeki yüzeylerin kalitesine bağlı olarak üniform değildir ve çoğunlukla lokalize olmuş ısı noktaları oluşturur. Bu durumu düzeltmek için, işlem kısa bir süre için uygulanır. Parçalar bu şekilde bir kaç defa bir araya getirilip ayrılarak yüzeylerde arzu edilen ön ısıtma sağlanır ve bundan sonra yakma kademesine geçilir.

- **Yakma süresi:**

Yakma olayı, metalde gerekli yakmanın elde edilebilmesi için bir zaman aralığında uygulanmalıdır. Gerekli zaman, sekonder gerilime ve metal kaybı oranına bağlıdır. Belirli minimum yakma mesafeleri için, belirli zaman aralıklarında, düzgün yakma işlemi, mukavemetli bir kaynak işlemi için gereklidir.

- **Yığma kademesi**

  - **Yakma gerilimi kesme süresi:**

  Çoğu durumda yakma gerilimi, yığma prosesi başlar başlamaz kesilir; fakat asla daha önce kesilmez. Gerilim sınır noktası mekanik deneyler ile saptanarak, ayar edilmelidir.

  - **Yığma oranı:**

  Yığma kademesinde yüzeylerde önceden bulunan erimiş metal ve oksitler dışarı sürülebilmelidir. Uygulanacak yığma oranı, metal yeterli plastisiteye sahip iken, optimum yığma gerçekleştirecek ve erimiş metali katılaşmadan önce dışarı atabilecek düzeyde olmalıdır. Ayrıca kaynak bölgesinin İnce taneli olabilmesi için uygun sıcaklığa ulaşıldığı anda yığma uygulanmalıdır.

  - **Yığma mesafesi:**

  Uygulanan yığma mesafesi ile oksitler ve erimiş metal bağlantı bölgesinden uzaklaştırılabilmeli ve alın yüzeyler birbirleriyle çıplak olarak temas edebilmelidirler. Optimum bir kaynak kalitesi için yığma mesafesi uygun olmalıdır. Şayet kaynaklı parçalarda düzgün bir yakma sağlanabilmiş ise, daha küçük yığma mesafesi çoğu metal için tatminkâr olabilecektir. Bununla birlikte bazı ısı dirençli alaşımlar daha büyük yığma mesafeleri gerektirmektedir.

  - **Yığma akımı:**

  Bazı durumlarda, kaynak bölgesi yakma işlemi sonrasında hızla soğumaya eğilimlidir. Bu durum, elverişsiz yığma veya yığılan metalde soğuk çatlak ile sonuçlanır. Bağlantı sıcaklığı, kaynak transformatöründen sağlanan akım ile sürdürülmelidir.

4.4 Malzemelerin Yakma Alın Kaynak Kabiliyeti

Aynı kesite ve özeliklere sahip malzemelerin kaynağında, her bir parçada kaynak süresi boyunca ısı iletimi aynı, dolayısıyla yanma ve yığma aynı olacaktır. Eğer farklı metallerin kaynağı söz konusu olursa, yanma sırasında metal kaybı her bir parça için farklı olacaktır. Bu davranış malzemelerin elektriksel ve ısıl özelikler ile erime noktalarındaki farklılığa atfedilir ve bu durum bağlantı kalitesi üzerinde çok etkilidir.

Birçok demirli ve demir dışı metaller yakma alın kaynağı ile kaynaklanabilir. Bu yöntemle, karbonlu ve düşük alaşımlı çelikler, korozyon ve ısı dirençli alaşımlar, Al alaşımları,
Ni alaşımları, Cu alaşımları ve Ti alaşımları kaynaklanabilir. Ancak Ti alaşımları gibi kuvvetli reaktif malzemeler ancak soy gaz koruması altında kaynak edilebilirler

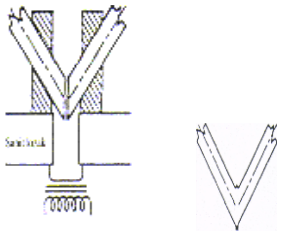
4.5 Kaynak Öncesi Hazırlık ve Bağlantı Dizaynı

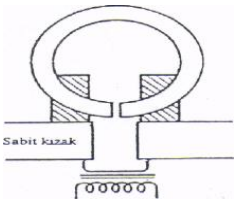
Yakma alın kaynağı için yüzey hazırlığı çok önemli değildir ve çoğu durumda gereksizdir. Buna karşın, parçalarla tutucu çeneler arasındaki yüzey temizliği önemlidir. Elektrot

yüzeyleri gres, toz gibi pisliklerden temizlenmelidir aksi durumda daha önce de belirtildiği gibi bölgesel sıcak noktalar oluşarak bağlantı kalitesini kötüleştirir. Ayrıca bağlantısı yapılacak parçaların yüzeylerinde pullanma, gres gibi pislikler yığma sırasında parçaların kaymasına sebep olabilir. Temizleme işlemi için, taşla taşlama, tel fırça ile fırçalama, parlatma, buhar ile gres temizleme yöntemleri kullanılabilir.

Yakma alın kaynağı ile Şekil 4.5 de görüldüğü gibi üç ana tip tasarım uygulanabilir. Genelde kaynak edilecek iki parça bağlantıda aynı dik kesite sahip olmalıdır. Büyük kesitler kaynak edileceği zaman yakma olayının başlatılabilmesi için alın yüzeylerde pah oluşturulur. Bu gibi pahlar normalden daha yüksek yakma gerilimi gerekliliğini ortadan kaldırır. Kaynak edilecek parçaların bir merkezde olması çok önemlidir, aksi durumda yakma sadece karşılık gelen yüzeylerde oluşur ve ısıtma üniform olmaz.

Kaynaklı bağlantıda oluşan dışarı taşma genellikle alınmalıdır. Geniş kesitli malzemelerde yığmanın alınmaması çekme mukavemetini bir miktar arttırırken, çentik etkisinden dolayı yorulma mukavemetini azaltır.



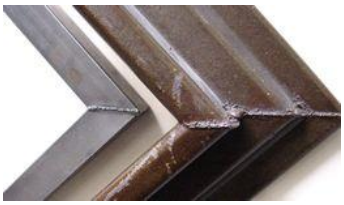


b) Açılı Kaynak c) Ring Kaynağı

Şekil 4.5 Yakma alın kaynağı ana türleri

4.6 Uygulama Alanları

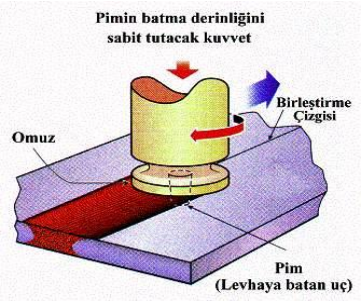
Yakma akma alın kaynaklı ilk uygulamalar vagon tekerleklerinin bağlantıları olmuştur. Daha sonra otomotiv endüstrisi bu prosesi tekerlek jantları ve volan dişlisinde kullanmıştır. II. Dünya savaşı yakma alın kaynağında yeni uygulama alanları sağlamıştır. Günümüzde yakma alın kaynağı oldukça geniş bir alana yayılmıştır. Otomotiv endüstrisinde, soğuk haddelenmiş levhalardan üretilmiş yakma alın kaynaklı halkalardan tekerlek jantı üretilir. Elektrik endüstrisinde, yakma alın kaynağı ile levha ve özellikle silindirik forma haddelenmiş çubuklar ile motor ve jeneratör şasisi üretilir. Havacılık endüstrisi, iniş takımı, kontrol tertibatı ve pervane kanadı üretiminde yakma alın kaynağı kullanır. Ayrıca çeşitli ana rayların kaynağında yakma alın kaynağı kullanılır. Çoğu durumda kaynak, ilgili alanda bir raylı taşıt aracına yüklenmiş portatif jeneratör ve kaynak makineleri kullanılarak yapılır Kapı, pencere gibi köşeli bağlantılarda da yakma alın kaynağı kullanılabilir. Bu üretim için genellikle, sade karbonlu çelik, paslanmaz çelik, Al alaşımları veya bronz kullanılır. Günümüzde boru hatlarının kaynağında da yakma alın kaynağı oldukça popülerdir. Özellikle araştırmacıların konu ile ilgili geniş çalışmaları vardır.



5 SÜRTÜNME KARIŞTIRMA KAYNAĞI

5.1 Sürtünme Karıştırma Kaynak Tekniği

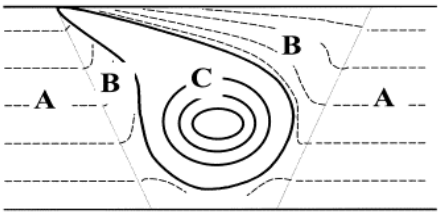
Sürtünme karıştırma kaynağı (SKK) yöntemi, alın alına sabitlenmiş iki levhaya yüksek devirde dönen omuzlu bir pimin (batıcı uç) daldırılması ve kaynak yapılmak istenen uzunluk boyunca belirli bir hızda ilerletilmesinden ibarettir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 Sürtünme karıştırma kaynağının şematik gösterimi

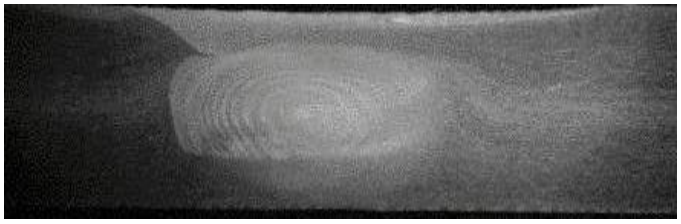
Yöntem, 1970'li yıllarda İngiltere'de The Welding Institute adlı kurumda geliştirilip 1990'lı yıllarda patentleşmiştir.

Bu katı hal kaynak yönteminde birleştirme, sürtünme ile açığa çıkan ısının çamur kıvamına getirdiği malzemenin plastik akışı sayesinde gerçekleşmektedir. Kaynak bölgesinde oluşan iç yapı Şekil 5.2'de şematik olarak gösterilmektedir. Kaynak bölgesi, farklı mikro yapıların oluştuğu üç belirgin bölgeden oluşmaktadır. Bu bölgeler, dinamik olarak yeniden kristalleşen bölge (DKB), termo mekanik olarak etkilenen bölge (TEB) ve sıvı hal kaynak yöntemlerinde olduğu gibi ısının tesiri altındaki bölge (ITAB) olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 5.2 Sürtünme karıştırma kaynağında kaynak bölgesinde oluşan iç yapının şematik görünümü
A: ısının tesiri altındaki bölge (**ITAB**)
B: termodinamik olarak yeniden kristalleşen bölge (**TEB**)
C: dinamik olarak yeniden kristalleşen bölge (**DKB**)

Şekil 5.3'de verilen sürtünme karıştırma kaynağı yapılmış Al-alaşımının kaynak bölgesinin kesit görünüşü, bu bölgede oluşan tipik iç yapıyı göstermektedir.



Şekil 5.3 Sürtünme karıştırma kaynağı yapılmış bir Al-alaşımının kaynak bölgesinin kesiti

Belirli bir pim yüzey geometrisi kullanılarak yapılan sürtünme karıştırma kaynağında elde edilen birleştirme karakteristiklerini belirleyen üç faktör vardır.

Bunlar sırasıyla;

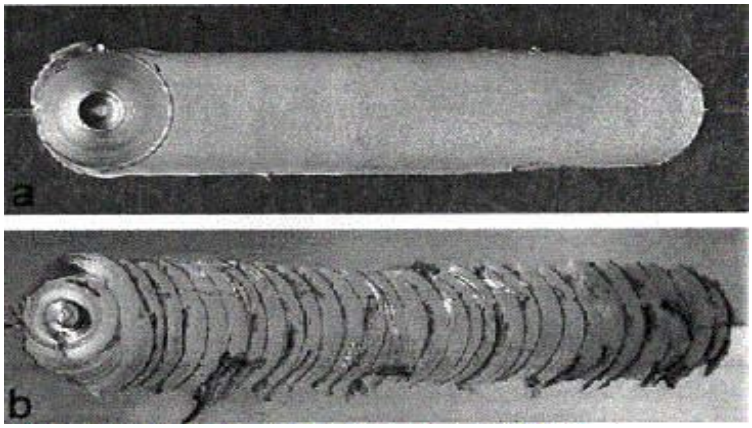
- Pimin devir hızı
- Pimin ilerleme hızı
- Pimin batma derinliğidir.

Bunlardan ilk ikisi rahatlıkla kontrol edilebilmektedir. Fakat pimin batma derinliği kritik bir faktör olup, kontrol edilmesi güçtür. Batma derinliğinin kaynak işlemi süresince sabit kalması gerekmektedir. Fakat özellikle uzun levhaların birleştirme işlemlerinde yüzeylerin çok düzgün olmaması durumunda bunu sağlamak mümkün olmayabilir. Bu yüzden kaynak öncesi yüzey hazırlama oldukça kritik olup, bu hususta özen gösterilmesi gerekmektedir.

5.2 Karşılaşılabilecek Kaynak Hataları

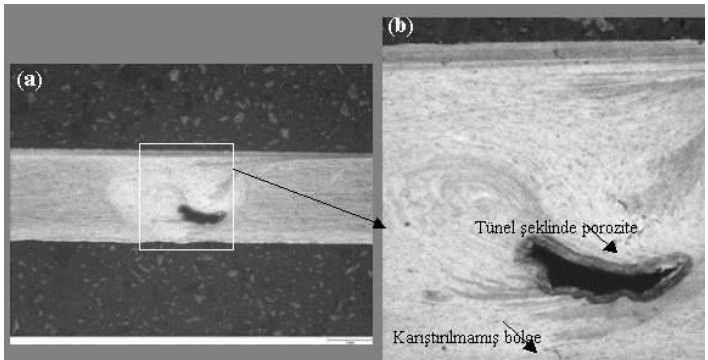
Sürtünme karıştırma kaynağında genellikle üç tip kaynak kusuru karşımıza çıkmaktadır. Bunlardan ilki, kaynak yüzey kalitesinin düşük olmasıdır. Bu kusur, batıcı ucun kaynak yapılacak levhaya uygun bir şekilde daldırılmaması ve pim omzunun yüzey temasının düzgün yapılamamasından dolayı kaynak hattı boyunca pimin (batıcı ucun) hareketinin istikrarsız olmasından kaynaklanmaktadır.

Sık karşılaşılan ikinci kusur, batıcı ucun batma derinliğinin yetersizliğinden dolayı tabana yakın kısımda karıştırılmamış bölge kalmasıdır(Şekil 5.4).



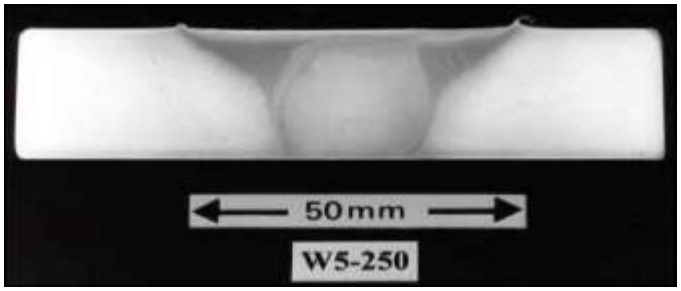
Şekil 5.4 Sürtünme karıştırma kaynağında elde edilen kaynak yüzey kaliteleri
a) istikrarlı batıcı uç ilerlemesi
b) istikrarsız batıcı uç ilerlemesi

Sürtünme karıştırma kaynağında karşılaşılan sonuncu fakat en önemli kaynak kusuru kaynak dikişinde tünel şeklinde porozite oluşmasıdır (Şekil 5.5).



Şekil 5.5 Sürtünme karıştırma kaynağında düz yüzeyli batıcı uç kullanımından dolayı oluşan tünel şeklinde porozite ve batma derinliğinin iyi ayarlanmamasından kaynaklanan karıştırılmamış bölge.
a) kaynak dikişinin kesit görünüşü
b) hataların detaylı görünüşü

Bu hatanın nedeni, pim yüzeyinin düzgün olması, yani batıcı pim yüzeyine helisel diş açılmamasıdır. Yüzeyinde diş açılmamış pim kullanıldığında, sürtünmeden açığa çıkan ısı ile akıcı çamur kıvamına gelen malzeme yukarı doğru hareket etmekte ve bunun sonucu batıcı pim ucuna yakın kısımda malzeme eksilmekte ve porozite oluşmaktadır. Batıcı uç yüzeyine diş açıldığında ise, akıcı çamur kıvamına gelen malzeme aşağı doğru bastırılmakta, dolayısıyla bu sorun söz konusu olmamaktadır. Dikkat edilecek olursa, kaynak kusurlarının nedeni batıcı uç dizaynı ve proses parametrelerinin uygun seçilmeyişidir. İyi bir batıcı uç dizaynı, pimin kaynak yapılacak levhaya daldırılma işleminin iyi kontrol edilmesi ve batma derinliğinin kaynak boyunca iyi ayarlanıp sabit tutulması ile bu kaynak kusurları elimine edilerek kusursuz bir kaynak elde edilebilir (Şekil 5.6) .



Şekil 5.6 SKK yöntemi ile yapılmış kusursuz bir kaynağın kesiti

5.3 Sürtünme Karıştırma Kaynağında Kullanılan Takımlardaki Gelişmeler

Sürtünme karıştırma kaynak yöntemi günümüzden yaklaşık 10 yıl önce İngiliz Kaynak Enstitüsü'nde geliştirilen ve halen üzerinde oldukça fazla araştırma yapılan bir katı faz kaynak yöntemidir. Bu yöntemin uygulanması sırasında duman ve ışın oluşmaması, koruyucu gaz, toz, tel veya elektroda gereksinim duyulmaması, kaynak ağzı hazırlığı gerekmemesi, tüm pozisyonlarda kaynak yapılabilmesi olanağının bulunması ve otomasyona da yatkınlığı gibi daha birçok üstünlüğün bulunması, yöntemin uygulama alanlarını daha da genişletmektedir. Bu sebeplerden dolayı sürtünme karıştırma kaynak teknolojisi çok hızlı ilerlemekte ve kullanılan takımlarda olan değişiklikler hakkında çok fazla bilgi sunulmamaktadır.

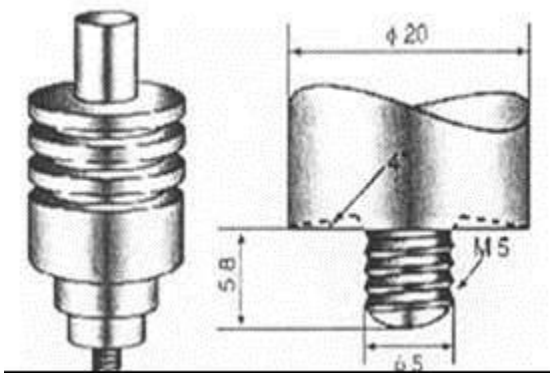
5.3.1 Kullanılan takımlar ve takım profillerindeki gelişmeler

Yöntem uçak, uzay, gemi, taşıt aracı karoseri üretiminde, yakıt deposu, gıda depolama elemanları ve radyoaktif atık madde taşıyıcılarının üretiminde kullanılan 2000, 5000, 6000, 7000 ve 8000 serisi Al ve Al alaşımlarının yanı sıra Cu ve Cu alaşımlarının, Ti ve Ti alaşımlarının ve bazı tür çeliklerin birleştirilmesinde uygulama alanı bulmaktadır. Bu yöntemde, takım tasarımı kaynak sonuçlarını etkileyen en önemli etkenlerden biridir.

Yöntemin her geçen gün geliştirilmesi, değişik tasarımlarda takım geliştirilmesi ile doğru orantılıdır. Önceleri, vida biçiminde basit takımlar kullanılmakta iken, zamanla üç yivli takımlar ve helezonik takımlar geliştirilmiştir. Günümüzde ise bilgisayar ile kontrol edilebilen, otomatik olarak çalışan ve karıştırıcı uç kısmın omuzun içine girdiği iki parçalı özel takımlar geliştirilmiştir. Oluşturulan kaynak metalindeki tipik soğan halkaları ise takım profiline, kaynak bölgesindeki ısı dağılımına, takımın dönme ve ilerleme hareketi arasındaki ilişkiye bağlı olarak ortaya çıkmaktadır.

5.3.2 Geleneksel takım profilleri

Sürtünme karıştırma kaynak yönteminin (FSW) geliştirildiği ilk yıllarda mekanik özelikleri iyi kaynak bağlantıları elde edebilmek için kaynak işlemini gerçekleştirecek takımın biçimi üzerinde ayrıntılı tasarımlar ve çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Zamanla artan gereksinimler çerçevesinde yeni takım geometrileri ortaya çıkmıştır. Fakat ilk zamanlarda geliştirilen vida görünümlü basit takımlar ile kaynak işlemi gerçekleştirilebilmiştir.(Şekil 5.7)

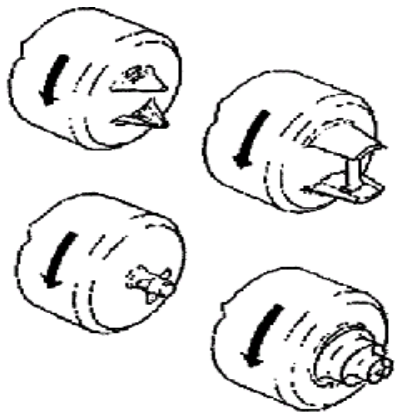


Şekil 5.7 Sürtünme karıştırma kaynağında kullanılan vida görünümlü bir takım

5.3.3 Değişik profillerde takımlar

Kaynağı zor veya daha kalın malzemelerde, plastik şekil değiştiren kısmın, karıştırıcı uç kısım etrafındaki akışı, göz önünde tutulması gereken önemli bir noktadır. Eğer, oldukça geniş çapta karıştırıcı uç kısımlar gerekli ise çok geniş hacimli malzeme hareketi olacaktır. Takımlar, plastik şekil değiştirebilen malzemenin, karıştırıcı uç kısım etrafındaki akışını artıracak şekilde geliştirilmelidir. Oldukça geniş hacimli karıştırıcı uç kısımlar, içi boş olarak tasarlanmıştır.

Kullanılan karıştırıcı uç kısım profilleri, sürtünme karıştırma kaynak yönteminin kalitesini artırmak için vidaya benzer yivli veya sarmal yivli, mikser veya pervane şekilli olarak geliştirilmiştir. Yapılan araştırmalar İngiliz Kaynak Enstitüsü'nde başarı ile tamamlanmış ve karıştırıcı uç kısımların performansları değerlendirilmiştir. Karıştırıcı uç kısmın etrafından ve içinden, plastik şekil değiştirebilen malzemenin akışını daha kolay sağlayacak biçimde takımlar tasarlanmış ve geliştirilmiştir, bu takım profilleri Şekil 5.8'de görülmektedir.

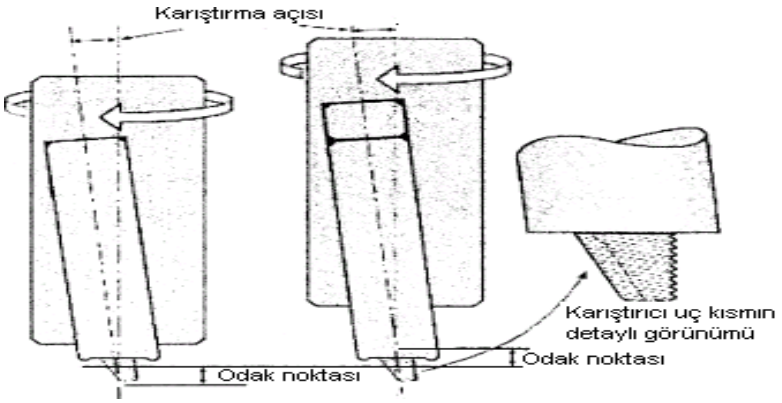


Şekil 5.8 Değişik profillerde takımlar

Mikser tip içi boş karıştırıcı uç kısma sahip takım, plastik şekil değiştiren malzemenin, karıştırıcı uç kısmın içinden hareketine sağlar. Benzer çaptaki dolu takımlar ile karşılaştırıldığında, daha az miktarda malzeme yer değiştirir. Bu sayede, sürtünme etkisinde kalan bölge, yer değiştiren hacimden daha büyüktür.

Kaynak sırasında yeterli akışın sağlanmasında oldukça büyük bir öneme sahip dinamik hacmin statik hacme olan oranı üzerine araştırmalar İngiliz Kaynak Enstitüsü tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu araştırmalar ışığı altında, çarpık sürtünme karıştırma sağlayan takımlar geliştirilmiştir(Şekil 5.9).

Geleneksel takımlardan farklı olarak, bu takımlarda, takım ekseni ile makinenin mil ekseni birbirine göre açılıdır. Takım ekseni ile makinenin mil ekseninin kesiştiği nokta odak noktası olarak adlandırılır ve bu nokta genellikle, kaynak edilecek olan levhaların üzerine gelecek şekilde ayarlanır. Bu takım sayesinde hafif çarpma söz konusu olmakta ve bu da kaynak metali için doğal bir dövme etkisi oluşturmakta ve kaynak kalitesini geliştirmektedir.



Şekil 2.9 Çarpık sürtünme karıştırma sağlayan takım

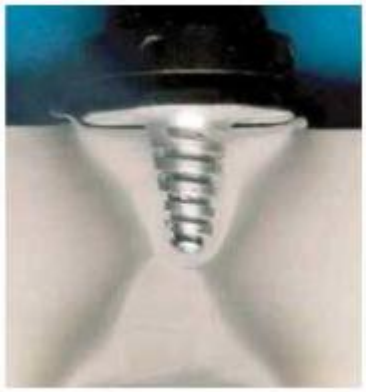
Tüm sürtünme karıştırma kaynak yöntemi uygulamalarında yaygın olan önemli nokta, kaynağın sırt kısmına karşı, aşağı doğru uygulanması gereken kuvvettir. Normal yöntemlerde reaksiyon kuvvetini temin eden sabitlenmiş besleme çubuklarıdır. Ancak bunlar, yöntemin esnekliğini sınırlar, gereksinim duyulan bu besleme çubuklarının olmadığı özel bir makara (bobin) takım tasarlanmıştır. Bu takım da uzatılmış uç kısım ve karşı omzu ile aslında geleneksel bir takımdır. Bu ikinci omuz önemli ve de gerekli bir arka engeldir.

5.3.3.1 Üç yivli ve helezonik takımlar

Son yıllarda, TWI tarafından üç oluklu veya üç yivli (MX Triflute) ve helezonik (Whorl) takımlar geliştirilmiştir. Bu yöntemde kullanılan takım genel olarak omuz ve karıştırıcı uç kısım olmak üzere iki önemli bölümü içerir. Takımın omuz kısmı, plastik şekil değiştiren kaynak bölgesinin diğer bir deyişle iş parçasının yüzeyi üzerinden sıkıştırarak (baskı uygulayarak) hareket eder. Isı, ince parçaların kaynağında dönen takımın omuz kısmı ile iş parçasının yüzeyi üzerindeki sürtünmeden oluşur, bu kaynak işlemi için gerekli ısının ana kaynağıdır.

Bununla beraber, iş parçasının kalınlığı arttıkça, takımın omuz kısmı ile iş parçası yüzeyleri arasındaki sürtünmeden dolayı oluşan ısıya ek olarak, iş parçası ile takımın karıştırıcı ucu arasındaki dönme sırasında sürtünmeden de elde edilen ısı daha da artar. Bunlara ek olarak, takımın karıştırıcı ucunun ana işlevi, kaynak hattındaki işlenen malzemenin yeterliliğini sağlamak ve doyurucu bir kaynak dikişini, takımın etrafındaki malzemenin akışı ile kontrol etmektir. Şekil 5.10'da helezonik takım, Şekil 5.11'de ise üç yivli takım görülmektedir.

1 mm ila 50 mm arasındaki kalınlıklara sahip alüminyum alaşımlı levhalar, bir pasoda, sürtünme karıştırma kaynak yöntemi sayesinde başarıyla kaynak edilir ve Şekil 5.10'da, 75 mm kalınlığında ki 6082 T6 alüminyum alaşımlı kaynak edilmiş levha görülmektedir. Bu, helezonik takım ile iki pasoda ve her bir pasoda yaklaşık 38 mm nüfuziyet sağlayarak başarı ile kaynak edilmiştir. MX üç yivli takım kullanılarak, 6 mm'den 50 mm'ye kadar olan kalınlıklardaki malzemelerin tek pasoda kaynaklarını yapmak oldukça iyi sonuçlar ve iyi performanslar sağlamıştır.



Şekil 5.10 Helezonik takım Şekil 5.11 Üç yivli takım

Esas itibariyle, her iki takımda da karıştırıcı uç, kesik koni biçiminde ve çapı eşit silindir biçimli malzemelerden işlenerek şekillendirilmiştir. Helezonik takımın karıştırıcı ucunun hacminin yaklaşık %60'ı boşaltılmış iken, üç yivli takımın karıştırıcı ucunun hacminin yaklaşık %70'i boşaltılmış durumdadır.

Takımın karıştırıcı ucu, plastik şekil değiştirerek kaynak edilecek hat arasından karşıdan karşıya ilerlerken oluşan durum incelenirse, sadece silindirik karıştırıcı uç ile, kesik koni şeklindeki minimum ölçüler dahilinde tasarlanan uç kullanıldığındaki durum karşılaştırılırsa ikinci uç biçimi daha az kuvvet gerektirir.

Kaynak performansındaki bu kazanç, karıştırıcı ucun tasarım özelikleri dikkate alındığında hacminde azalma gerektirir. Takımın ucunun bu yüzden kırılmasını önlemek ve toplam

gerilmeyi azaltmak için köşe yuvarlatmaları (radyüsler) iyi verilmeli ve özellikle karıştırıcı uç kısım ile omuz arasında kalan bölümdeki değişim ve girinti özeliklerinin tamamı ayrıca hesaba katılmalıdır.

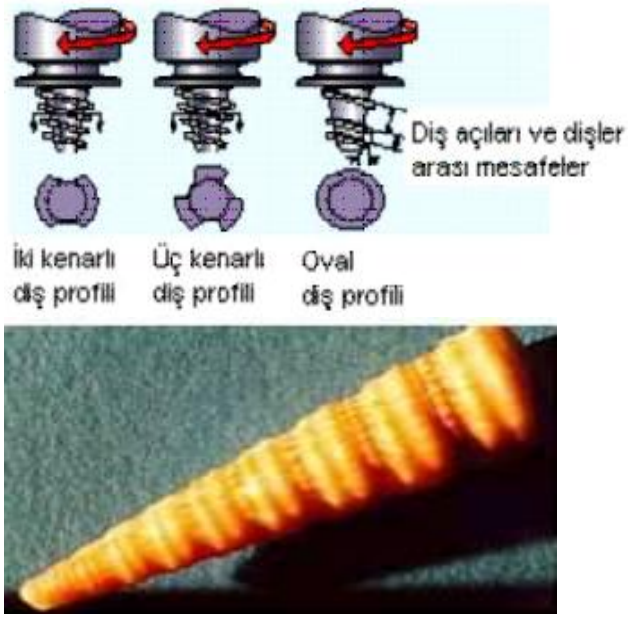
Plastik şekil değiştiren malzemenin daha etkili bir biçimde akışını sağlamak için her bir çıkıntı arasındaki uzaklık, çıkıntının kendi kalınlığından daha büyük olması tercih edilir. Helezonik takımın enine kesitine bakıldığında dairesel biçimdedir ve oval veya yassı girintilere sahiptir. Karıştırıcı uç kısmındaki sürekli spiral kısmın eğimi, kaynak edilecek malzemeye uygun bir şekilde tasarlanıp üretilebilir. Spiral kenarın eğimindeki değişim, plastik şekil değiştiren malzemenin aşağı doğru hareketine ve karıştırılmasına olanak sağlar.

Helezon ve üç yivli karıştırıcı uçlu takımlar dönme sırasında, saat ibreleri yönündeki spiral sayesinde, plastik şekil değiştiren malzemeye aşağı doğru itme kuvveti uygular. Sürtünme karıştırma kaynak yönteminde kullanılan takımların karıştırıcı uçları dairesel etkilere ve burulma yüklerinin etkisi altındadır. Her iki karıştırıcı uçta, kaynak işlemi sırasında geleneksel pim türü karıştırıcı uçlardan daha fazla etkili olacak şekilde akışa neden olur.

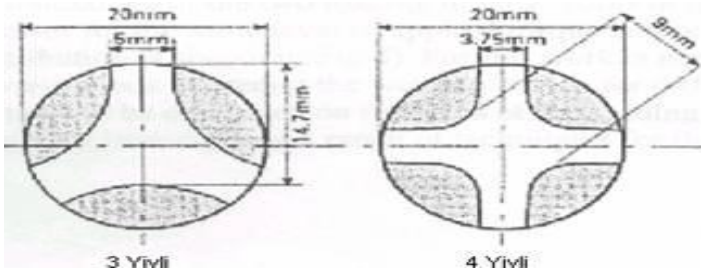
Şekil 5.12'de helezonik takımların, Şekil 5.13'de ise yivli takımların karıştırıcı uç kısımlarının enine kesitleri görülmektedir.

Ayrıca, her iki takımında diğer geleneksel takımlardan önemli üstünlüğünün (özellikle kalın parçaların kaynağında) karıştırıcı uç kısmının dönmesi sırasındaki hacminin (dinamik hacim), kendi hacmine (statik hacim) olan oranı ile belirlenen önemli bir faktör olduğu ifade edilir. Çünkü bu oran kaynak sırasında yeterli akışın sağlanmasında oldukça büyük bir önem ortaya çıkarır.

Ayrıca, tipik olarak bu takımlardaki karıştırıcı uç kısmın kök çapının, karıştırıcı uç kısmın boyuna olan oranı değişmektedir. Örneğin, 25 mm kalınlığındaki bir plaka kaynak edildiğinde eğer geleneksel bir takım kullanılıyor ise bu oran 1.1:1, helezonik takım kullanılıyor ise 1.8:1, MX üç yivli takım kullanılıyor ise 2.6:1 dir.



Şekil 5.12 Helezonik takımların karıştırıcı uç kısımlarının enine kesitleri ve bir deniz kabuğu ile benzerliği



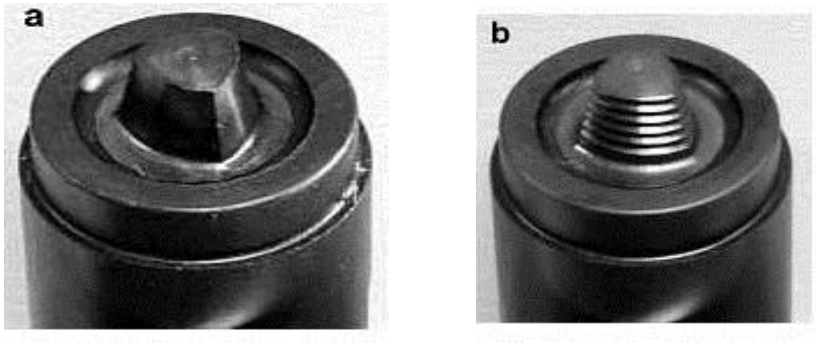
Şekil 5.13 Yivli takımların karıştırıcı uç kısımlarının enine kesitleri

5.3.3.2 Trivex Ve Mx Trivex Takımlar

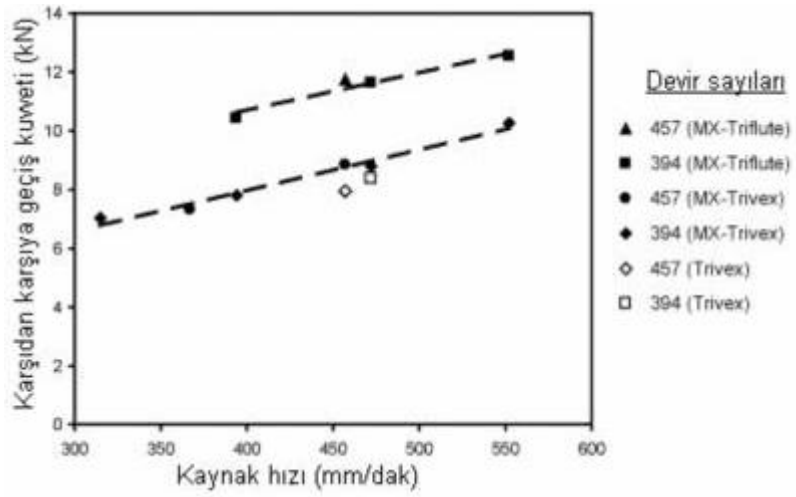
İngiliz Kaynak Enstitüsü tarafından takımlar üzerine yapılan çalışmalar ile dış bükey özelikler sayesinde, parçalar kaynak edilirken, takımın karşıdan karşıya geçmesi için gerekli kuvvet en aza indirilmiştir.

Şekil 5.14 a'da görülen Trivex takımda yivler olmamakla birlikte, Şekil 5.14 b'de görülen MX Trivex takımda ise uzunlamasına yivler açılmıştır. Bu iki takım, aynı boyutlardaki karıştırıcı uç kısım ve omuz boyutları için, üç yivli takımlarla karşılaştırıldığında, değişik kaynak hızı ve devir sayılarında, takımın karşıdan karşıya geçme kuvvetinin en düşük olduğu durum, Trivex takımlarda gerçekleştiği görülmüştür. (Şekil 5.15)

Kaynak için 6,35 mm kalınlığında 7075-T7351 Al alaşımı, ESAB Süper Stir makinesinde kaynak edilmiştir. Bu makinede, karşıdan karşıya geçmek için gerekli kuvvet ve aşağı doğru olan kuvvetin ölçülmesine izin verir.



Şekil 5.14 a) Trivex takım b) MX Trivex takım



Şekil 5.15 Değişik kaynak hızı ve devir sayılarında, takımın karşıdan karşıya geçme kuvveti değerleri

5.3.3.3 Bilgisayar ile kumanda edilen otomatik takımlar

Sürtünme karıştırma kaynak yönteminde tek parça takım kullanılması güven açısından önemli bir sınırlamadır. Yüksek hızda dönen ve iki malzeme arasında kaynak işlemini gerçekleştiren takım ucu, yavaş bir şekilde birleştirilecek bölgeye daldırılır. Kaynağın sonunda tek parça takım ucu geri çekilir; ancak, bir anahtar deliği bırakılmış olur. Bu durum, depolama tankları, borular, davul biçimindeki ve silindir biçimli parçaların kaynağı gibi 360°'lik çevresel kaynaklar yapılacağı zaman kabul edilemez bir hatadır. Diğer sınırlama ise, değişik kalınlıklardaki malzemelerin kaynağı yapılacağı zaman, farklı uzunluklardaki takım uçları gerekmesidir.

Şekil 5.16 Otomatik olarak çalışan ve geri çekilebilen takım

Bu sınırlamaları önlemek için NASA'nın Marshall Uzay Uçuş Merkezi'nde çalışan bir kaynak mühendisi, otomatik olarak çalışan, bilgisayar ile kontrol edilen ve geri çekilebilen bir takım ucu tasarlamıştır. (Şekil 5.16) Geri çekilebilir takım ile başlangıç noktasına tekrar gelindiğinde, motor, karıştırıcı uç kısmı yavaş yavaş omuzun içine otomatik olarak çekilmeye başlar.

Bu sırada karıştırıcı uç kısım daha az olan nüfuziyetteki kaynağı, anahtar deliği kapanana kadar kaynak eder. Omuz da bu sırada dönmeye devam ettiği için anahtar deliği oluşumu engellenir. Bu durum iki parçalı takımın önemli bir üstünlüğüdür. Ayrıca, bu takım tasarımı değişik malzeme kalınlıkları için takım ucunun ayarlanmasına olanak sağlar. Kullanımı maliyet açısından rekabeti sağladığı gibi verimli ve çok yönlüdür. Teknolojik olarak mükemmel kaynaklar sağlar ve alüminyum alaşımlarındaki performansı oldukça yüksektir. Malzemenin çarpılmasını en aza indirgemede önemli bir üstünlük sağlamıştır. Bu yeni takım tasarımı ile sürtünme karıştırma kaynak yöntemi, uzay ve diğer birçok endüstri alanında yeni pazar alanları bulmuş ve ek iş ilişkileri sağlamıştır.

5.3.3.4 Omuz dizaynları

Bu yöntemde kullanılan takımları omuz profilleri kaynak edilecek malzemeye ve kaynak koşullarına uygun olarak tasarlanır ve biçimlendirilir. Değişik omuz profilleri, takımın omuz kısmı ile iş parçası arasında plastik şekil değiştiren malzemeyi, özel girintiler sayesinde belirli bir baskı kuvveti ile biçimlendirmek için geliştirilir.

Esas olarak bu kısım, sürtünme işlemini, dolayısıyla gerekli ısıyı sağlar ve kaynak bölgesini kapatıp, plastik şekil değiştiren malzemenin üst yüzeyinin biçimini bozacak şekilde dışarı çıkışını engeller.

Şekil 5.17'de farklı omuz biçimlerine örnekler verilmiştir. Omuzun yüzeyine açılan yivler (kanallar), kaynak sırasında dışarı çıkmaya çalışan malzemeyi yakalar. Bu sırada takım bağlantı hattı boyunca yol alır. Takımın omuz kısmına açılan bu yivlerin sağladığı mekanik üstünlük ise takımın uç kısmında sıkıştırmayı artırır.

Bu gelişme 6 mm kalınlığındaki 5083 Al alaşımı üzerinde test edilmiş ve omuzda kanallar olmayan takımlara göre iki kat hızda yüksek kaliteli kaynaklar gerçekleştirilmiştir. Normalde 1-3° arasında takıma eğim verilirken, bu gelişme sayesinde, takımın 0° lik eğimli pozisyonunda, kullanımına olanak sağlanmıştır. Ortaya çıkan bu sadelik ve kolaylıklar, kaynağın x ve y eksenleri yönünde yapılmasını kolaylaştırmıştır.

Şekil 5.17 Farklı omuz biçimlerine örnekler

5.3.3.5 Takım malzemeleri

Yöntemde, yüksek sıcaklıklarda aşınma direncine sahip malzemelerden üretilen, değişik tasarımlardaki, tükenmeyen döner takımlar kullanılır. Örneğin, Amerikan Deniz Kuvvetleri'nde ani saldırı ve hücum amaçlı ileri amfibik (hem karada hem suda) aracın kaynak bağlantılarında H13(X 40 CrMoV 5 1) takım çeliğinden tek parça takımlar ve karıştırıcı uç kısmın malzeme olarak sıcakta yüksek mukavemete sahip olan MP159 malzemesinden ve omuz kısmı ise H13 takım çeliğinden imal edilmiş ve iki parçalı olan takımlar kullanılmıştır.

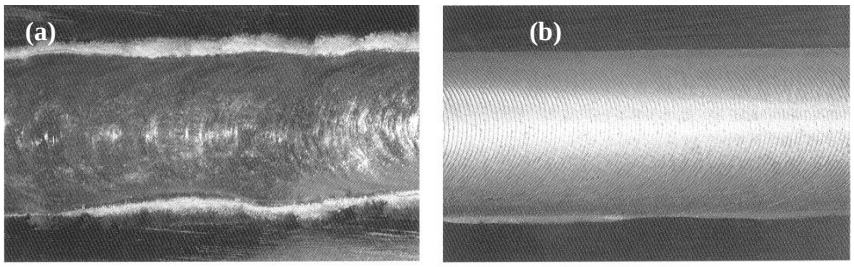
5.4 Uygulama Alanları

Sürtünme karıştırma kaynak yönteminin Al-alaşımlarında uygulanılabilirliği üzerine çok sayıda araştırma yapılmıştır. Bu araştırma sonuçları göstermektedir ki, bu yöntem gerek yaşlandırma sertleştirmesi yapılan gerekse yaşlandırma sertleştirmesi yapılamayan (1xxx ve 5xxx serileri gibi ısıl işleme duyarlı olmayan) Al-alaşımlarında başarı ile kullanılabilmektedir.

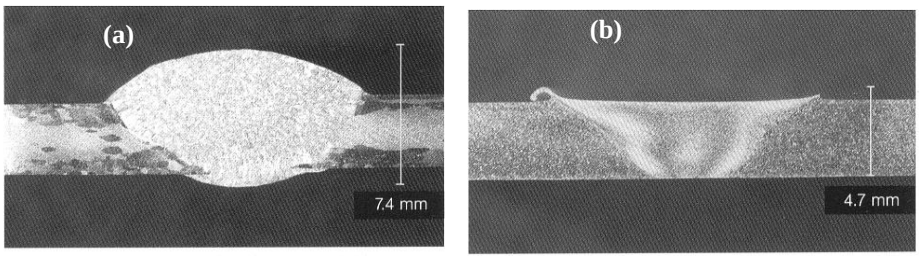
Bu yöntem ile elde edilen birleştirmelerin yüzey kalitesi ark kaynağı ile elde edilen birleştirmelerden çok daha yüksektir. (Şekil 5.18 ve Şekil 5.19) Ark ve sürtünme karıştırma kaynağı yapılmış Al-alaşımı levhaların kaynak bölgelerinin kesitini göstermektedir. Bu yöntem ile elde edilen birleştirmelerin kaynak performansı, klasik kaynak yöntemleri ile yapılan kaynaklara nazaran daha iyidir.

Ayrıca, sürtünme karıştırma kaynağında pimin ilerleme hızını artırarak bu mukavemet düşüşünün daha da azaltılması ve pimin çapının küçük seçilmesi ile mekanik özelliklerin etkilendiği bölgenin eninin küçültülmesi mümkündür. Buna ilaveten, bu yöntem ile kaynak edilen 5454 alaşımının korozyon performansının da oldukça iyi olduğu tespit edilmiştir.

Geleneksel kaynak yöntemleri ile kaynağı çok güç olan 7075 alaşımı bile bu yöntem ile başarılı bir şekilde birleştirilmiş ve elde edilen birleştirmeler oldukça iyi mekanik özellikler göstermiştir.

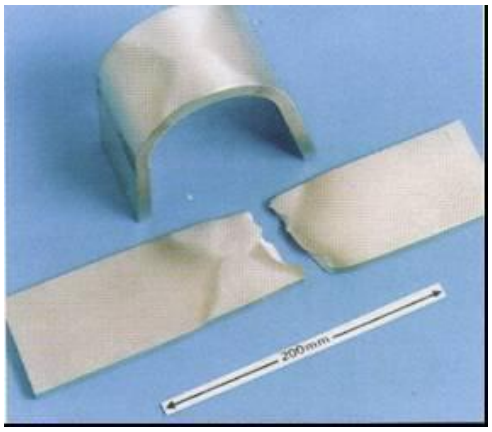


Şekil 5.18 Kaynak yüzey görünümleri
a) ark kaynağı b) sürtünme karıştırma kaynağı.



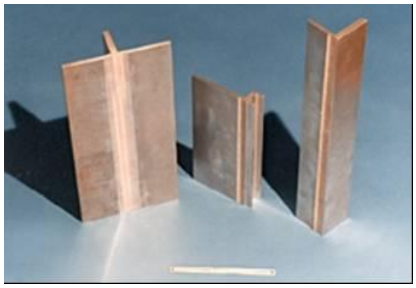
Şekil 5.19 Kaynak bölgesi kesitleri
a) ark kaynağı b) sürtünme karıştırma kaynağı.

Bu kaynak yöntemi ile farklı kalınlıklardaki levhaların birleştirme işlemi pimin eğik konumda levhalara daldırılması ile yapılabilmektedir. Bu kaynak yöntemi ile tek pasoda 50 mm kalınlığa kadar Al-alaşımı levhaların alın kaynağı yapılabilmektedir. Ayrıca çift taraftan kaynak yaparak kalın parçaların da birleştirilmeleri mümkündür. Bu şekilde, 75 mm kalınlığındaki 6082 Al-alaşımı levhalar çift taraftan kaynak edilerek başarı ile birleştirilmişlerdir. Çekme deneyinde bu yöntem ile elde edilen kaynak numunesi klasik sıvı hal kaynağından daha iyi performans göstermiş, ayrıca 180° bükme deneyinde herhangi bir çatlama tespit edilmemiştir. (Şekil 5.20)

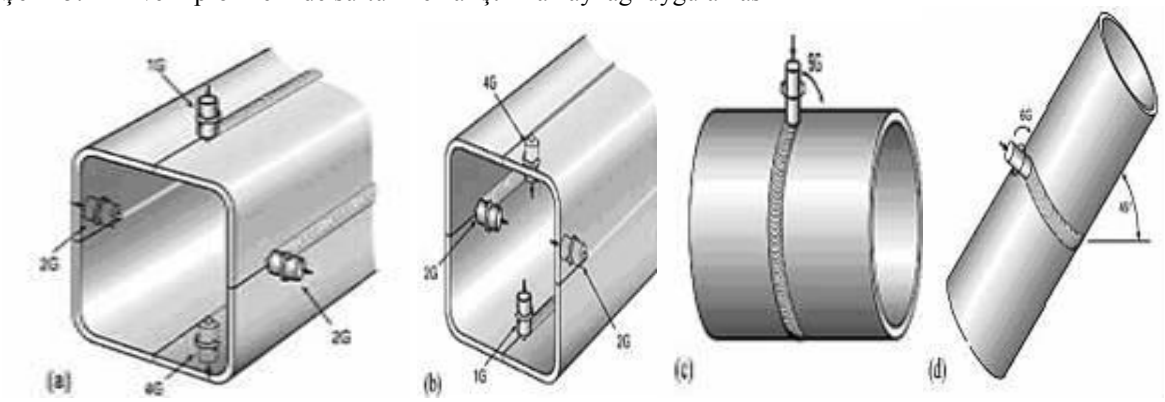


Şekil 5.20 Çift taraftan sürtünme karıştırma kaynağı yapılarak birleştirilmiş 75 mm kalınlığındaki 6082 Al-alaşımı levhalardan çıkarılmış numunelerin çekme ve 180° bükme deneyi sonuçları

Bu kaynak metodu ile düz ve çeşitli profillerdeki sac ve levhaların alın ve bindirme kaynağı yapılabilmektedir. Al-alaşımı veya mukavemeti düşük diğer malzemelerden T ve L profillerin üretiminde ve boru bağlantı kaynaklarında da bu yöntem ile kullanılabilmektedir(Şekil 5.21 ve Şekil 5.22).



Şekil 5.21 T ve L profillerinde sürtünme karıştırma kaynağı uygulaması



Şekil 5.22 SKK yönteminin boru kaynaklarında uygulaması

Al-alaşımları dışında, ergitme kaynak yöntemleri ile kaynağı mümkün olmayan veya güç olan Al-Ti gibi bazı alaşımlar ve 0.8 mm kalınlığındaki çinko saçların kaynağında bu yöntem başarı ile uygulanmıştır. Ayrıca, düşük karbonlu yumuşak çeliklerin, Mg-alaşımlarının, Ti-alaşımlarının, saf Cu ve pirinç gibi Cu-alaşımlarının, düşük sertlikteki ostenitik paslanmaz çeliklerin ve ergime derecesi birbirine yakın farklı iki malzemenin kaynağında da bu yöntem başarı ile uygulanabilir. Özel amaçlı sürtünme karıştırma kaynağı makinelerinde 50 mm kalınlığındaki saf bakır levha 100mm/dak kaynak hızında mükemmel kalitede kaynak edilmiştir.

Sürtünme karıştırma kaynağı, en az çinko ve kurşun levhalarda olduğu kadar magnezyum alaşımlarında da başarı ile uygulanabilmektedir. İngiliz Kaynak Enstitüsünde (TWI) 9.5mm kalınlığındaki magnezyum AZ61A alaşımında yapılan ilk deneyler başarı ile sonuçlanmıştır. Japonya'da yapılan bir çalışmada da, 6 mm kalınlığındaki AZ31 magnezyum alaşımı üzerinde yapılan ileri laboratuar deneylerinde, kaynak esnasında ince yeniden kristalleşmiş tane yapısının oluşmasından dolayı, numunelerin mukavemeti ile esas malzemenin mukavemet değerlerinin birbirlerine çok yakın olduğu tespit edilmiştir.

Uzay ve havacılık endüstrisinde kullanılan titanyum alaşımlarında sürtünme karıştırma kaynağı denemeleri ilk olarak Ti–6Al–4V alaşımında başarı ile gerçekleştirilmiş ve diğer alaşımlar üzerinde çalışmalar başlatılmıştır. Yüksek korozyon dayanımından dolayı petrol boru hattı şebekeleri ve su üstü platformlarında rakipsiz olan bu alaşımın sürtünme karıştırma kaynağının bu uygulamalarda kullanabilirliği konusunda araştırmalar sürdürülmektedir.

5.4.1 Gemi Endüstrisinde Sürtünme Karıştırma Kaynağı Uygulamaları

Sürtünme karıştırma kaynağı ile ilgili ilk ticari uygulama, balıkçı gemilerinin derin dondurucularının oluklu alüminyum panellerinde kullanılmıştır. Bu kaynak yöntemindeki minimum distorsiyona ve yüksek verimlilik, teknik ve ekonomik yönden sert panel

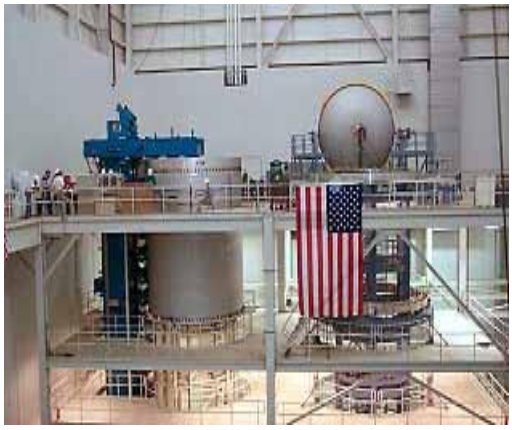
üretiminde bu prosesi cazip kılmaktadır. Bu yöntem ile Japonya'da alüminyum petek paneller ve deniz suyunun korozyon etkisine dayanıklı panellerin üretimleri yapılmaktadır. Yüksek hız feribotlarında kullanılan standart boydaki alüminyum ekstrüzyon panelleri sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmektedir. Ergitme kaynaklarına kıyasla ısı girdisinin düşük olması panellerdeki distorsiyona ve kalıntı gerilmelerini minimum düzeyde olmasını sağlamaktadır. Norveç' te bulunan Hydro Marine Aluminum firmasında son üç yılda 70 kilometre uzunluğunda alüminyum ekstrüzyon paneli sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmiştir.(Şekil 5.23)

Şekil 5.22 Alüminyum ekstrüzyon panellerinin sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmesi

5.4.2 Uçak ve uzay endüstrisinde sürtünme karıştırma kaynağı uygulamaları

1993 yılında NASA, Lockheed Martin Laboratuarlarından, Space Shuttle External Tank projesinde (uzay mekiklerinin yakıt tanklarında) AA2219 alüminyum alaşımı yerine kullanılmak üzere daha yüksek mukavemetli, düşük yoğunluk ve hafiflikte bir malzeme geliştirilmesi için talepte bulunmuştur. Bunun üzerine Al-Ti 2195 olarak bilinen çok daha hafif yeni bir alüminyum alaşımı geliştirilmiştir. Geliştirilen bu alaşım sayesinde External Tank projesinin (yakıt tankı) ağırlığı yaklaşık 3500 kg azaltılmıştır.

Yeni düşük ağırlıklı Al-Ti 2195 alaşımının ergitme kaynağı çok zor olmakta ve kaynak bölgesinin mukavemeti göz ardı edilemeyecek kadar düşmektedir. Dolayısıyla, bu uygulama için mukavemet düşüşünün daha düşük seviyede olduğu bir katı hal kaynak yöntemi olan sürtünme karıştırma kaynağı ideal bir birleştirme yöntemidir. Günümüzde, Al-Ti 2195 alaşımından üretilen uzay mekiklerinin yakıt tanklarının son kubbe kısımlarının kaynağında bu yöntem başarılı bir şekilde uygulanmaktadır.(Şekil 5.23)



Şekil 5.23 Space Shuttle External Tank projesi ve Marshall Space Flight Center laboratuarlarındaki sürtünme karıştırma kaynak sistemlerinden görüntüler

Sürtünme karıştırma kaynağı yolcu uçakları gibi hafif alüminyum iskeletli yapılarda büyük potansiyel arz etmektedir. Boeing Şirketi, ince alın, bindirme ve T birleştirmeleri ile çeşitli havacılık ve uzay uygulamalarında kullanılacak kalın alın kaynaklarında bu yöntemi kullanma çalışmalarına son zamanlarda büyük hız vermiştir. Şu ana kadar, uçakların iniş takımlarının kapaklarında ve bazı savaş uçaklarının kaportasında ince T birleştirmelerinde (sandviç montaj) sürtünme karıştırma kaynağı uygulanmış ve test uçuşları başarı ile sonuçlanmıştır.

Eclipse Aviation Corporation da, üreteceği özel jetlerde perçinleme ve yapıştırma yerine; maliyet ve montaj zamanından tasarruf amacıyla sürtünme karıştırma kaynağını kullanmaya karar verdiğini açıklamıştır. Bu, belki de sürtünme karıştırma kaynağının ilk büyük havacılık denemesi olacaktır. Bu günlerde deneme uçuşlarının yapılması beklenmekte ve sonuçlarına göre imalatta kullanmaya elverişli olup olmadığına karar verilecektir.

5.4.3 Otomotiv endüstrisinde sürtünme karıştırma kaynağı uygulamaları

Ulaşım sektöründe alüminyum ekstrüzyonlarının birleştirilmesinde vidalama, perçinleme, yapıştırma, bağlama ve kaynak gibi birçok birleştirme metodu kullanılmaktadır. Bunlardan kaynak metodu ürünün yüksek mukavemetli olması istendiği durumlarda kullanılır.

Sürtünme karıştırma kaynağının otomotiv endüstrisine getireceği bazı faydalar şunlardır;

- Kaynak bölgesinde nispeten yüksek mukavemet
- Minimum distorsiyona ve kalıntı gerilmeler
- Kaynak dumanını olmayışı, dolayısıyla çevreci bir kaynak tekniği olması
- İlave tel ve koruyucu gaza ihtiyaç duyulmaması
- Hassas kaynak ağzı hazırlığına gerek olmaması
- Otomasyona çok uygun oluşu
- Çeşitli metaller ve alüminyumların (Al-ekstrüzyon ve Al-döküm) birçok pozisyonda birleştirilebilmesi

Bunun yanında bu yönteminin bazı sınırlamaları da vardır.

Bunlar;

- Sağlam bir destekleyici gerektirir.
- Etkili sabitleyici aparatlar gerektirir.
- Kaynak hızı malzeme cinsi ve levha kalınlığına bağlı olarak 50–1000 mm/dk arasındadır. Bu değerler, perçinleme gibi mukavemetsiz birleştirme yöntemlerine göre oldukça düşük, benzer mukavemetli ark kaynağı ile eşdeğerdir. Pim dizaynındaki hızlı gelişmeler ile kaynak hızının daha da artırılması beklenmektedir.
- Kaynak edilen yerin sonunda pimin çıktığı yerde bir delik oluşur.

Sürtünme karıştırma kaynağının otomotiv sektöründe ilk uygulamalarından biri Hydro Marine Aluminium (Norveç) firması tarafından prototip otomobil jantlarının iki parçasının birleştirilmesidir.(Şekil 5.24)

Bu sektörde ilk uygulamalardan bir diğeri de, kaynaklarının bazıları sürtünme karıştırma kaynağı ile yapılmış olan prototip bir motor tezgahıdır (beşiğidir).

Şekil 5.24 Sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilen Al-alaşımı prototip otomobil jantı

Halen, otomotiv endüstrisindeki yüksek üretim oranları, rekabetçi üretim ortamları ve düşük maliyet gereksinmeleri geleneksel olan diğer birleştirme tekniklerinin uygulanmasına neden olmaktadır. Sürtünme karıştırma kaynağı otomotiv parçalarında, alüminyum birleştirmelerde kayda değer bir potansiyel artışı sağlamakla beraber otomotiv sektöründe kullanılabilirliği sınırlıdır. Otomotiv endüstrisindeki yoğun üretim nedeniyle, bu yeni teknolojiyi uygulamaya geçirmek için bir hayli zamana ihtiyaç duyulması beklenmektedir.

Kaynak teknolojisindeki gelişme hızlandığında artırılmış üretim için büyük potansiyel, özel parçaların büyük oranda üretiminin sağlanması sonucunda açığa çıkacaktır.

Yüksek kalite ve yükseltilmiş kaynak mukavemeti, ağırlık azaltmasını mümkün hale getirecektir. Özellikle, Mg-alaşımlarının otomotiv sektöründe bu yeni kaynak teknolojisi sayesinde kullanımı ile ağırlıktan tasarruf daha da artırılabilir.

5.4.4 Hızlı tren üretiminde sürtünme karıştırma kaynağı uygulamaları

Modern yolcu treni vagonlarının imalatında, alüminyum Ekstrüzyonlardan üretilen petek paneller daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu panellerde, uzun Al-ekstrüzyonlar aralarına sıkılık artırıcı destekler yerleştirilerek birleştirilmektedir. Bu sayede, hem çarpışmalarda emniyet hem de bükme kuvvetlerine dayanım artırılmaktadır.

Klasik ergitme kaynağı, özellikle yüksek mukavemetli Al-alaşımlarında ITAB bölgesinde aşırı mukavemet kaybına sebep olduğu için, son yıllarda Almanya ve İngiltere'de meydana gelen hızlı tren kazalarında daha dayanıklı kaynaklara ihtiyaç duyulduğu gerçeği ortaya çıktı. Sürtünme karıştırma kaynağı, kaynak bölgesinde daha düşük seviyelerde mukavemet kaybına neden olduğundan cazip bir alternatif oluşturduğu için son yıllarda Avrupa ve Japonya 'da hızlı tren vagonlarının üretiminde bu kaynak teknolojisi ile imal edilen Al-alaşımı petek paneller kullanılmaya başlanmıştır(Şekil 5.25)

Şekil 5.25 Japonya 'da sürtünme karıştırma kaynağının kullanıldığı hızlı tren ve bu yöntem ile kaynağı yapılan Al-paneller

5.4.5 İnşaat Endüstrisi

Alüminyum köprüler, alüminyum kurşun veya titanyumdan yapılmış ön cephe panelleri, cam çerçeveleri, alüminyum nakil boruları, güç fabrikaları kimya endüstrisi için alüminyum reaktörler, sıcaklık değişimleri ve hava şartlandırıcıları, boru üretimi.

5.4.6 Diğer Uygulama Alanları

Buzdolabı panelleri, pişirme ekipmanları ve mutfaklar, beyaz eşyalar, gaz tankları ve gaz merdivenleri, motor ve şasi kızakları, hidrofor olan tüplerin bağlanan parçaları, kamyon gövdesi, mobil vinçler, zırhlı taşıtlar, yakıt tankları, karavanlar, otobüs ve hava taşımacılığı taşıtları, motosiklet ve bisiklet yapıları, asansörler, alüminyum arabaların tamiri, magnezyum ve magnezyum/alüminyum eklemleri.

6. OTOMOTİV ENDÜSTRİSİ VE ÇELİK

Otomotiv endüstrisinde çelik kullanımı üretilen otomotiv adeti ile yakından ilgilidir. Bugün sadece Amerika da üretilen araba adeti 18 milyon civarındadır.
Malzeme seçiminde en önemli parametreler hammadde ve proses maliyeti, kalite ve sağlamlık, sürekli malzeme temin edilebilirlik, mukavemet ve korozyon gibi fonksiyonel özellikler, üretim yöntemleri, oluşan atıklar ve geri dönüşebilirliktir. Çelik bu koşulların hemen hepsine cevap verebilmektedir.
Günümüzde gittikçe artan sürüş emniyeti gereksinimi, yakıt tasarrufu ve çevresel faktörlerden dolayı en azından araçların karasöri kısmı hafiflemekte yani otomobillerde kullanılan sacların kalınlığı gittikçe azalmakta, ancak bununla birlikte, bu sacların mukavemeti güvenlik gereksinimini karşılayabilmek için artmaktadır.
Bu nedenle özellikle son yıllarda Geliştirilmiş Yüksek Mukavemetli Çelik Saclar (Advanced High Strength Steel-AHSS) otomobillerde ve diğer araçlarda giderek daha yoğun oranda tercih edilmeye başlanmıştır.
Geliştirilmiş Yüksek Mukavemetli Çelik Sacların kullanıldığı yerler aşağıda belirtilmiştir:

- Ağır araçlarda
- Otomobillerin güvenlik parçalarında
- Vinç imalatında
- Otomobil koltuklarında
- Konteynerlerde
- Değişik tip uygulamalarında, örneğin bebek arabaları ve bisikletlerde.

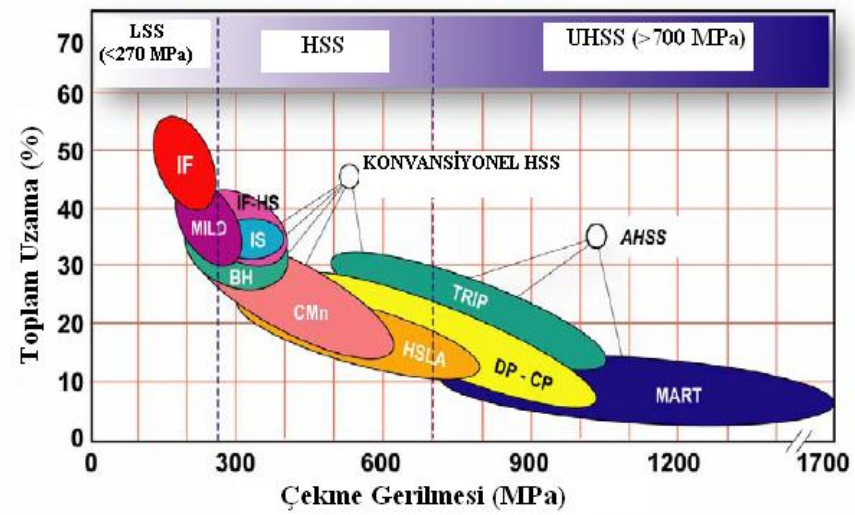
Otomotiv endüstrisinde kullanılan saclar yaygın olarak metalürjik dizaynlarına ve mukavemetlerine göre sınıflanırlar ve tanımlanırlar.

- Mukavemete göre yapılan sınıflandırmaya göre. Yüksek Mukavemet Çelikleri (HSS) çekme dayanımları 270-700 MPa olan çeliklerdir. Ultra-Yüksek Mukavemet Çelikleri (UHSS) çekme dayanımları 700 MPa'ın üstünde olan çeliklerdir.
- LSS, (Low Strength Steel) Düşük mukavemet çelikleri olup genellikle alaşımsız ve orta karbonlu çeliklerdir.
- HSS, (High Strength Steel) konvansiyonel yüksek mukavemet çelikleri, genellikle karbon-mangan, fırında sertleştirilebilen izotropik, yüksek mukavemetli IF ve yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çeliklerdir

AHSS ise (Advanced High Strength Steel) Gelişmiş yüksek mukavemet çeliklerinin yeni tipleri ise aşağıda sıralanmıştır:

- Mikro alaşımlanmış YP ve MC çelik saclar
- Dual Faz DP ve DL Çelik Saclar
- Martensitik M Çelik Saclar
- Mangan Boron çelikleri

Şekil 1.1'de bu sacların AHSS saclar ile diğer saclar arasındaki mukavemet ve % uzama oranları gösterilmiştir. AHSS'in HSS ve UHSS çekme dayanım alanlarını kapladığı görülür. Genel olarak, AHSS ailesi benzer çekme dayanımlarındaki konvansiyonel HSS' den daha büyük toplam uzamaya sahiptir.



Şekil 1: AHSS Saclar, Düşük Mukavemetli Saclar Ve Konvansiyonel Yüksek Mukavemetli Saclar (HSS) Arasındaki Mukavemet Ve % Uzama İlişkisi.

Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan AHSS Türleri

- Konvansiyonel düşük ve yüksek mukavemetli çeliklerin (High Strength Steel - HSS) metalurjisi ve üretimi konvansiyonel çeliklere göre alışılmamış bazı özellikler içerir.
- Bütün AHSS'ler östenit veya östenit + ferrit fazından başlayarak kontrollü soğutmayla -sıcak haddelenmiş ürünler için haddeleme sırasında, kaplama veya tavlama yapılmış ürünler için tav fırınlarında- üretilirler.
- Martenzitik çelikler ise, östenit fazından hızlı soğutma ile östenitin büyük çoğunluğunu martenzite dönüştürerek üretilirler.
- Çift fazlı (DP) ferritik-martenzitik çelikler ise östenit fazından kontrollü soğutmayla (sıcak hadde ürünlerinde) veya ferrit-östenit çift fazından (sürekli tavlanmış ve sıcak kaplanmış ürünlerde) hızlı soğumadan önce östenitin bir kısmını ferrite dönüştürüp, hızlı soğumayla geri kalan kısmını martenzite dönüştürerek elde edilirler.
- TRIP çelikleri ise ara sıcaklıkta izotermal tutulma ile bir miktar beynit oluşturularak üretilirler. TRIP çeliklerinde yüksek silisyum ve karbon miktarları son mikroyapıda yüksek hacim oranlarında artık östenite sebep olur.
- Kompleks fazlı çelikler de benzer soğutma şekliyle üretilirler, fakat daha az artık östenit eldesi ve daha ince çökeltiler oluşturmak için kimyasal bileşimleri düzenlenir.

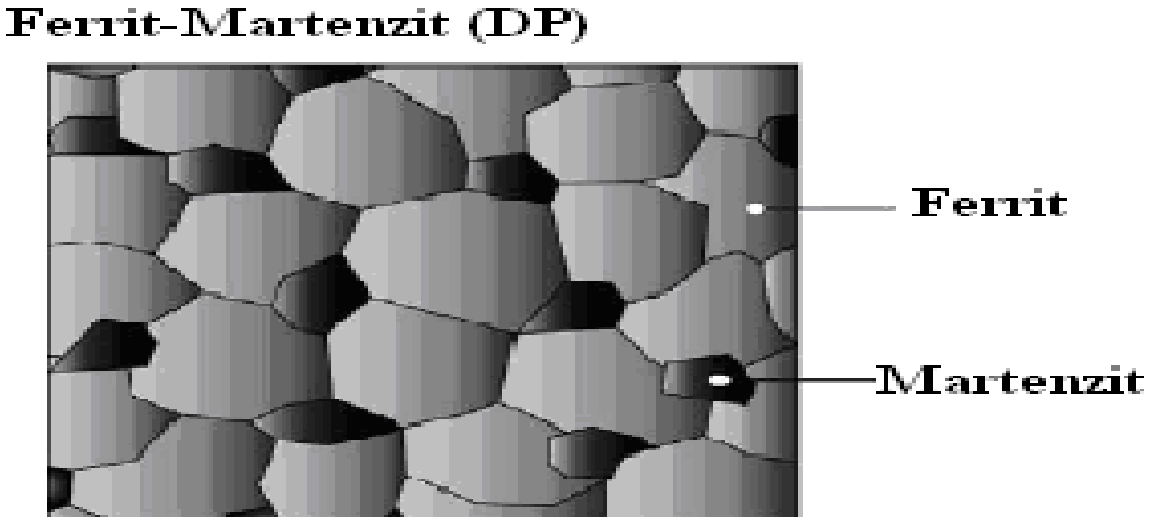
Mikro alaşımlanmış YP ve MC Çelik Saclar

- YP ve MC çelik saclar mikro alaşımlanmış ve soğuk haddelenmiş çelikler olup yüksek mukavemet niyobyum ve titanyum gibi metallerin mikro alaşımlanması ile elde edilmektedir.
- Bu tarz çeliklerde akma dayanımı ile çekme dayanımı arasında çok az bir fark olup bükme ve presleme karakteristikleri akma noktalarına bağlı olarak çok iyidir.
- Bunlarla birlikte kaynak edilebilirlilikleri çok iyidir. Bu tarz malzemelerin kalitesi minimum akma mukavemeti üzerinden tanımlanmaktadır

Çift Fazlı (DP) Çelikler

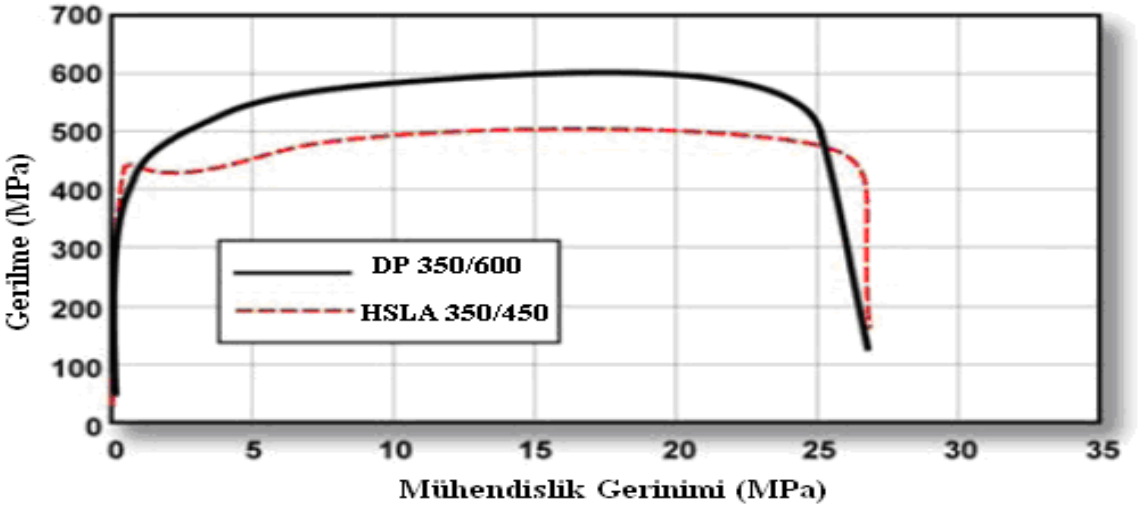
- Çift fazlı çelikler, ferritik matris içerisinde adacıklar şeklinde sert martenzitik ikincil fazı barındıran çeliklerdir.
- Yüksek dayanımla beraber sert ikincil martenzitik fazın hacim oranı artar.

- Bazı durumlarda, sıcak haddelenmiş uzamaya karşı yüksek dirençli çeliklerde mikroyapıda önemli miktarlarda beynit bulunabilir.



Şekil 2 Şematik Çift Fazlı (DP) Çelik mikroyapısı.

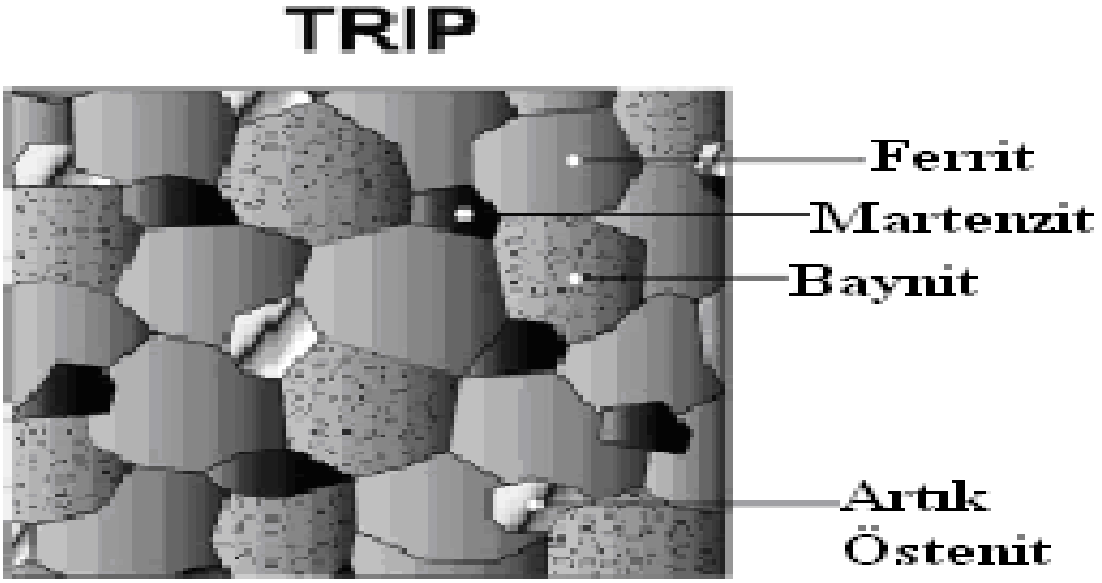
- Şekil 2, ferrit içerisinde martenzit adalarını gösteren DP çelik mikroyapısını göstermektedir. Yumuşak ferrit genellikle süreklidir ve yapıya süneklik verir.
- Bu çelikler deforme olduklarında, uzama düşük gerilmelerde yoğunlaşır ve bu çeliklere yüksek sertleşebilirlik özelliği verir.
- Sertleşebilirlik ve mükemmel uzama DP çeliklerine aynı akma dayanımlarındaki konvansiyonel çeliklerden çok daha fazla çekme dayanımı verir.
- Şekil 3, aynı akma değerlerindeki Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımlı (HSLA) Çeliklerle Çift Fazlı (DP) Çeliklerin gerilme-gerinim eğrilerini kıyaslar.



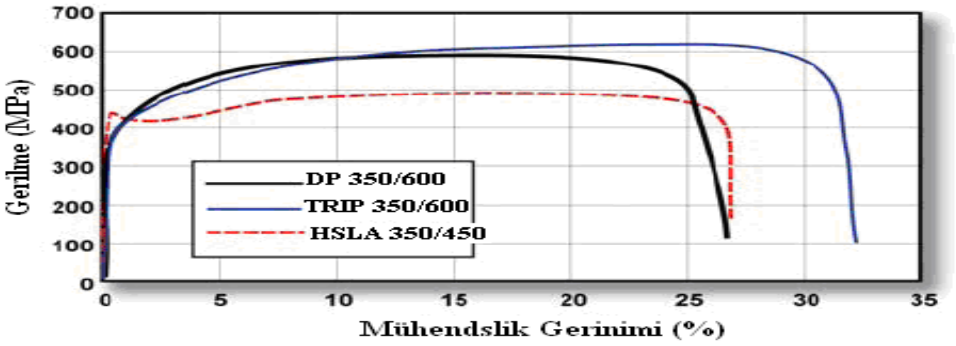
- DP ve AHSS, konvansiyonel çeliklere kıyasla ayrıca fırında sertleşebilme etkisine sahiptir. Fırında sertleşebilme etkisi, öngerinimden sonra oluşan yüksek sıcaklık yaşlanması sonucu akma dayanımındaki artışa denir. Fırında sertleşebilme etkisinin etkinliği AHSS'de çeliğin özgül kimyası ve ısısal geçmişi tarafından belirlenir.
- DP çeliklerinde pratik soğutma derecelerince karbon, çeliğin sertleşebilirliğini arttırarak martenzit oluşumunu olanaklı kılar.
- Mangan, krom, molibden, vanadyum ve nikel de tek başına veya bileşik halinde eklendiğinde sertleşebilirliğin artmasını sağlarlar.
- Silisyum ve fosfor da karbon gibi martenziti kuvvetlendirir. Bu ilaveler, eş mekanik özellik eldesi ve iyi nokta kaynak kabiliyeti için dikkatlice eklenirler.

Dönüşümle Plastikliği Arttırılmış (TRIP) Çelikler

- TRIP çeliklerinin mikroyapısı, birincil ferrit matrisi içerisine gömülmüş artık östenit şeklindedir. Artık östenitle beraber çeşitli miktarlarda martenzit ve baynit gibi sert fazlar da görülür. Şekil 4'te TRIP çeliğinin şematik mikroyapısı gösterilmiştir.



- DP çeliklerinde de görüldüğü gibi deformasyon sırasında, yumuşak ferrit içinde dağılmış sert ikincil fazlar yüksek çalışma sertleşmesi eldesi sağlarlar.
- Fakat TRIP çeliklerinde artık östenit yükselen gerilimle beraber hızla martenzite dönüşerek yüksek gerinimlerde çalışma sertleşmesi verir.
- Bu durum Şekil 5'te aynı akma dayanımlarındaki HSLA DP ve TRIP çeliklerinin kıyaslanmasında gösterilmiştir.
- TRIP çelikleri DP çeliklerine göre daha düşük ilk işlem sertleşmesi değerine sahipken, DP çeliğinden daha yüksek gerinimlere kadar devam edebilmektedir.



- TRIP çeliklerinin çalışma sertleşmesi oranları konvansiyonel HSS'den daha iyidir.
- Bu durum tasarımcıların yüksek sertleşme avantajını şekil verildiği gibi kullanılan parça dizaynında ele almasıyla önem kazanır.
- TRIP çeliklerinin bu özellikleri gerinimle şekil verme uygulamalarında DP çeliklerine göre avantaj sağlar.
- TRIP çelikleri martenzit başlangıç sıcaklığını ortam sıcaklığının altına çekerek artık östenit oluşturmak için daha yüksek karbon miktarı kullanır.
- Silis ve alüminyum, baynit bölgesinde karbür çökelmesini önlemek için kullanılır.
- Karbon miktarı değiştirilerek, artık östenitin martenzite dönüşme anındaki gerinim değeri tasarlanabilir.

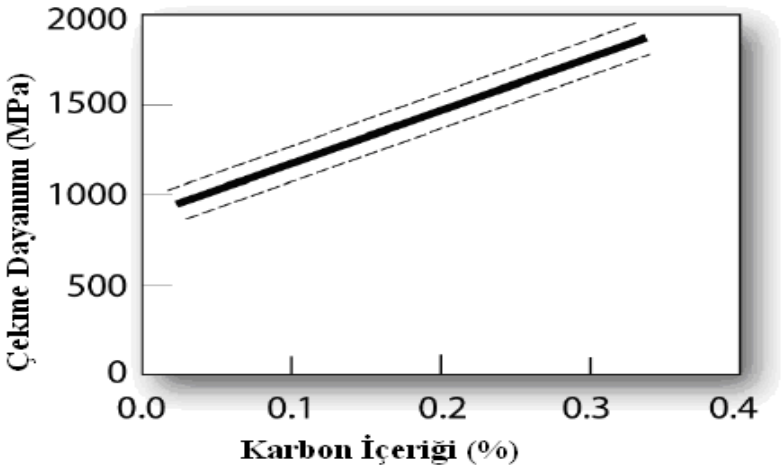
- Düşük karbon değerlerinde, preste basma işleminde artık östenit deformasyonla beraber hızla martenzite dönüşerek işlem sertleşmesi oranını ve şekil verilebilirliği yükseltir.
- Yüksek karbon değerlerinde ise şekil verme sırasında artık östenit daha kararlıdır.
- Bu karbon değerinde artık östenit çarpma olayındaki gibi en son deformasyon durumlarında martenzite dönüşür.
- TRIP çelikleri mükemmel şekil verilebilirlik ve çarpma anındaki yüksek enerji absorbsiyonu durumları için tasarlanabilir.
- TRIP çeliklerine alaşım elementi ilavesi, nokta kaynağı dayanımını düşürür. Bu durum kaynak yönteminin geliştirilmesiyle düzeltilebilir.

Kompleks Fazlı (CP) Çelikler

- Kompleks fazlı çelikler yüksek çekme dayanımlarına ulaşan çelik türleridir.
- CP çelikleri çok ince mikroyapıdaki ferrit ve yüksek hacim oranlarındaki ince sert çökeltilerden oluşur.
- DP ve TRIP çeliklerinde de bulunan benzer alaşım elementleri kullanılır fakat çoğunlukla az miktarlarda niyobyum, titanyum ve vanadyum içerirler. CP çelikleri 800 MPa ve üzeri eşdeğer çekme dayanımlarında yüksek akma dayanımı gösterirler.
- CP çelikleri yüksek deformasyona uğrama, enerji absorbsiyonu ve artan deformasyon kapasitesine sahiptirler.

Martenzitik (Mart) Çelikler

- Martenzitik çelik elde etmek için, sıcak haddeleme ya da tavlama sırasında oluşan östenit, soğutma işlemi esnasında tamamıyla martenzite dönüştürülür. Yapı ayrıca, şekillendirme işlemi sonrasında uygulanan ısıl işlemle de elde edilebilir.
- Martenzitik çelikler 1700 MPa'a kadar çok yüksek çekme dayanımlarına çıkabilirler. Martenzitik çelikler çoğunlukla sünekliğin arttırılması için su verme sonrası temper işlemine tabi tutulurlar.
- Sertleşebilirliğin arttırılması ve martenzitin dayanımının arttırılması için karbon ilavesi yapılabilir.
- Şekil 6 daki veriler, temperlenmemiş martenzitte karbon içeriği-çekme dayanımı ilişkisini gösterir. Sertleşebilirliği arttırmak için ayrıca, mangan, silisyum, krom, molibden, bor, vanadyum ve nikel ilave edilir.



Gelişen AHSS Türler

- AHSS'in yeteneklerinin yanında otomotiv endüstrisinin ihtiyaçları doğrultusunda, çelik endüstrisi yeni çelik türleri geliştirme çalışmalarına devam etmektedir.

- Bu çelikler ağırlık azatlımı, dayanım artımı ve uzama artımı için tasarlanırlar. Bu gelişen çeliklere örnek olarak TWIP (İkizlemeyle plastikliği arttırılmış) Çelikleri ve Nano Tane Boyutlu Çelikler verilebilir.

IF (Interstitial Free) Çelikleri

- IF çelikleri çok düşük karbon oranlarına ve katı çözeltideki element bileşikleri, karbür/nitrür çökeltileri ve tane saflaştırması gibi temel sertleştiricilere sahiptir.
- Bu çelik kategorisinde, dayanımı artırmak için eklenen ortak element fosfordur (katı çözelti güçlendiricisi). Bu çelik türü son zamanlarda yapısal uygulamalarda çokça kullanılırlar.

Yumuşak Çelikler

- Yumuşak çelikler ferritik mikroyapıya sahiptir. Ana sertleştiriciler; katı çözeltideki element bileşikleri, karbür/nitrür çökeltileri ve tane saflaştırması işlemleridir. Çekme kalite çelikleri ve alüminyumu alınmış çelikler geniş uygulama alanı ve üretim hacimleriyle örnek olarak verilebilir.

Fırında Sertleştirilebilen (BH) Çelikler

- Fırında sertleştirilebilen çelikler ana ferritik mikroyapıdadır ve katı çökelti sertleştirmesi ile sertleştirilirler.
- Bu çeliklerin belirleyici özellikleri kimyaları ve üretimidir. Çelik üretimi esnasında karbon çözeltide tutulur, boya pişirme esnasında karbonun çözeltiden çıkması sağlanır. Bu sayede şekil verilmiş çeliğin akma dayanımı yükselir.

İzotropik Çelikler

- İzotropik çelikler esas olarak ferritik mikroyapıdadır. Bu çeliklerin özelliği ‘delta r’ değerinin sıfıra eşit olmasıdır.

Karbon-Mangan (CM) Çelikleri

- Yüksek mukavemetli karbon-mangan çelikleri üretim esası olarak katı çözelti sertleşmesi ile dayanımları arttırılır.

İNCE TANELİ ÇELİKLER

- Yapı çeliklerinin geliştirilmesinde amaç, onların dayanımlarını ve tokluklarını sürekli olarak artan isteklere uygun hale getirmektir. Aynı zamanda kaynağa uygunluklarının iyileştirilmesi de ilgi çeken bir konudur.
- Bu açıdan son yıllarda kimyasal bileşimine etki etmek ve üretim koşullarına bağlı olarak iç yapıyı ayarlamak suretiyle önemli ilerlemeler elde edilmiştir.
- Çelik üreticileri, içlerinde önemli bir yere sahip olan ve önemi sürekli olarak artan ince taneli yapı çeliklerinin de bulunduğu çelikler geliştirmişlerdir. İnce taneli yapı çelikleri yeni gösterimlere sahip olmuşlardır.
- Yüksek dayanımlı modern ince taneli yapı çeliklerinin uygun özelliklerinden yararlanılması için kaynaklı birleştirmelerin esas malzemeye uygun mekanik-teknolojik özellikler göstermesi şarttır.
- Ayrıca kaynaklı birleştirmelerde istenmeyen türde hataların meydana gelmemesi güvence altına alınmalıdır.
- Soğuk çatlama güvencesi özel bir anlam taşımakladır.
- İnce Taneli çeliklerin kaynağındaki öncelikli hedefler, istenilenlere uygun özelliklere sahip birleştirmelerin oluşturulması ve soğuk çatlamaların önlenmesidir.

Type of steel	Yield Value $Rp_{0,2}$ (MPa)	Ultimate Strength Rm (MPa)	Tensibility A_{80} (%)	Application
Deep-drawn steels 140/270	140	270	38 – 44	A,C,F
BH 210/340	210	340	34 – 39	B
BH 260/370	260	370	29 – 34	B
IF 260/410	260	410	34 – 38	C
DP 280/600	280	600	30 – 34	B
IF 300/420	300	420	29 – 36	B
DP 300/500	300	500	30 – 34	B
HSLA 350/450	350	450	23 – 27	A,B,S
DP 350/600	350	600	24 – 30	A,B,C,W,S
DP 400/700	400	700	19 – 25	A,B
TRIP 450/600	450	600	26 – 32	A,B
HSLA 490/600	490	600	21 – 26	W
DP 500/800	500	800	14 – 20	A,B,C,W
SF 570/640	570	640	20 – 24	S
CP 700/800	700	800	10 – 15	B
DP 700/1000	700	1000	12 – 17	B
Mart 950/1200	950	1200	5 -7	A,B
MnB*	1200	1600	4 - 5	S
Mart 1250/1520	1250	1520	4 – 6	A

Applications: A – other application, B – car body parts, C – door, F – tank, S – chassis/axles, W – wheels
* In heat treatment condition, characteristic value before hardening.
BH - Bake Hardenable, IF - Interstitial Free, DP - Dual Phase, HSLA – High Strength Low Alloy, TRIP - Transformation Inducted Plasticity, SF – Stretch Flangeable, CP - Complex Phase, MnB – Hardenable Manganese Boron, Mart – Martensitic steel

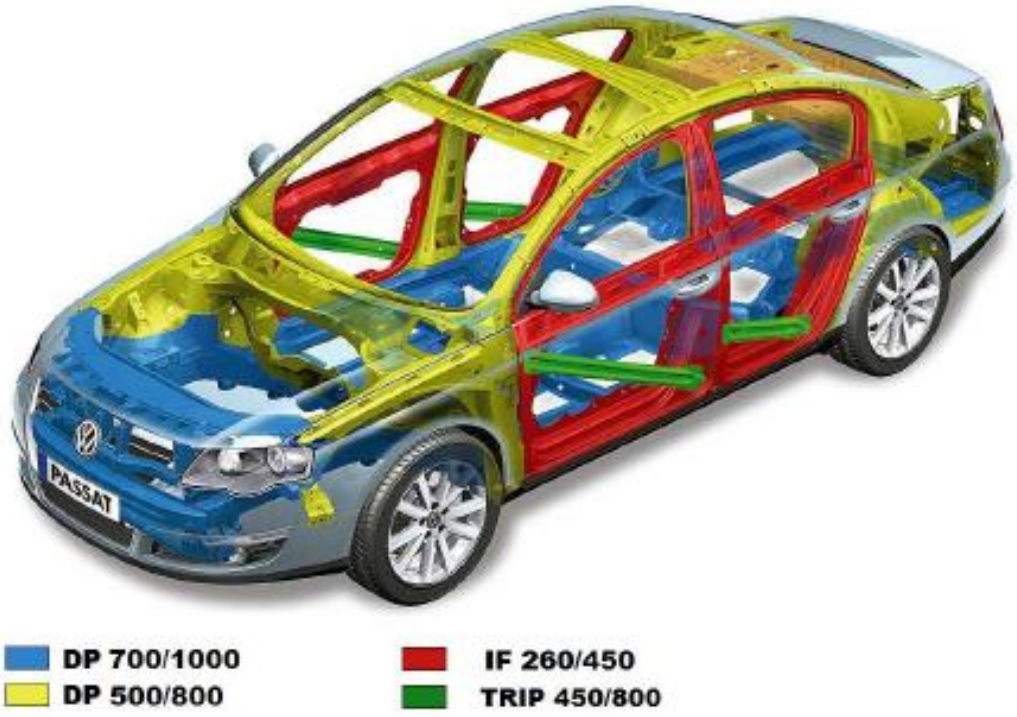


Fig.1 ULSAB – Steels used in car body production[2]

MIG BRAZİNG

- Mig kaynağının yerine Mig Brazing mi? Yapısal veya yapısal olmayan uygulamalar için kullanılabilirmi? Bazı otomobil imalatçıları için cevap evettir.
- Mig brazing kaynağı tamamen yüzeysel amaçlar dolgulu bağlantılar ve dikişler olarak yıllarca uygulandıktan sonra birleştirme çeşidi olan MİG kaynağının yerini aldı.
- Vauxhall diye bilinen avrupalı otomobilcilerin ileri sürdükleri konu; Mig brazing yeterli bağlantı mukavemeti ve galvanizin korumasını sağlar ki bu malzemenin korozyondan korunması için çok önemlidir.
- Bu yüzden Vauxhall 2002 vectra da Mig kaynağı ile onarılmaması gerektiğini açıklamışlardır.

NİYE MİG BRAZİNG

- Mig kaynağında kaynak boyunca oluşturulan ısıdan dolayı galvanizli çelikler korozyon korumasını sağlayan özelliklerini kaybedecektir.
- Biz kaynak uygulamasında malzemenin korozyon özelliklerinin kaybolmasını istemiyoruz.
- Mig brazing düşük ısı girdisi ile kaynağın yakın bölgesinde korozyon korumasını sağlayan Zn miktarının minimum miktarlarda yanmasını sağlar.
- Genellikle mig kaynağı elektrot telinin ergime sıcaklığı Zn (910 ^{0}C) buharlaşma sıcaklığından daha yüksektir.
- Bu durum kaynak bölgesinde çinkonun buharlaşmasına sebep olur.
- Mig brazing de ise kaynak sıcaklığının azalması ile daha az Zn buharlaşacak ve düzen malzemenin ilk durumu gibi olacaktır.
- Bir sıcaklığı düzenlemek için buharlaşma miktarı belirlenir. Bu kaynak makinesi üzerindeki mig brazing programını kullanmak için önemlidir.
- Makine üzerinde koruyucu gaz, ilave tel, özel kaplama için bu dizayn edilmiştir.
- Galvanik korumaya ek olarak Mig brazing deki düşük ısı ilişkisi çeliğin mukavemetinden de ödün vermemektedir. Diğer pek çok sayıdaki karakteristikler Mig brazing ile birleştirilmiştir.
- Kaynak sıçraması çok azdır. İlave malzeme kaynak havuzuna kısa sürede besler.
- Kaynaklı bağlantının sonu çıkışı daha kolaydır.
- Damla geçişi sakin ve yumuşaktır.
- Kaynak ısısı düşük olduğundan daha az çarpılma olur.
- Kaynak boyunca iyi sızdırmazlık.
- Kaynak damlasının veya metali bölgesinde katodik koruma özelliği.

BİRLEŞME

- Mig kaynağında ana metal ergir ve ilave metalde yaklaşık olarak 1650 ^{0}C de eriyerek ana metal ve ilave metal arasında bir birleşme meydana gelir.
- Mig brazing de ise kaynak sıcaklığı oldukça düşüktür, yaklaşık olarak 960-1000 ^{0}C de civarındadır. Bu yüzden yalnızca ilave dolgu metali erir.
- Kaynak bölgesindeki ana metal de herhangi bir ergime olmaz.
- Kaynak metali ana metal üzerine adeta konumlanır ve bu sıcaklıklarda çok önemsiz boyutta ana metalde ergime meydana gelebilir.

DONANIM ve İLAVE TEL

- Mig brazing bir mig kaynak makinesi kullanarak oluşturulabilir.
- Mig brazing dolgu teli özellikle çelik saclar için yaygın olan $CuSi_3$ tavsiye edilir yada bronz alaşımları $CuAl_8$ ve $CuSn_6$ telidir.
- Elektrod kalınlık tipi 0.8- 1.1-6 mm kullanılabilir.
- Tavsiye edilen kaynak gazı % 100 Argondur.
- Fakat ark stabilizesini korumak adına %18 CO_2-Argon karışımı kullanılabilir.

MAKİNE AYARLARI

- Mig brazing uygulaması için mig kaynak makinesi ayarlanırken teknisyenlerin yaptığı en yaygın hata kaynak makinesini yüksek verime ayarlamak ve kaynak sıcaklığını çok yüksek yapmaktır.
- Bu gibi durumlarda daha düşük tel besleme hızı kullanılmalıdır.
- Aynı zamanda daha düşük voltaj ayarı ve daha kısa ark mesafesi kullanılmalıdır.
- Bu bize düşük güç akışında kararlı bir arkı iletmek veya oluşturmak için kaynak makinesi üzerinde düşük güç kaynağı gerektirir.
- Mig brazing için Mig kaynak makinesi kullanıldığında özel parametreler makine üzerinde programlanabilir. Bu yüzden bazı ayarları sınırlandırmak gerekebilir.
- Ark boyu, damla geçişi ve diğer bağlantı bütünlüğünü etkileyen pek çok faktör otomatik olarak ayarlanabilir.

KAYNAK TEKNİĞİ

- Bindirme kaynağı uygulandığında dikey yönde kaynak yapılıyor ise kaynak torcu $45^{0,}$ kaynak yönünde devam ediyor isek 60^{0} olmalıdır.
- Bu durum kaynak kalitesini etkilemeden kaynak bölgesindeki buharlaşan çinko gazını dağıtır.

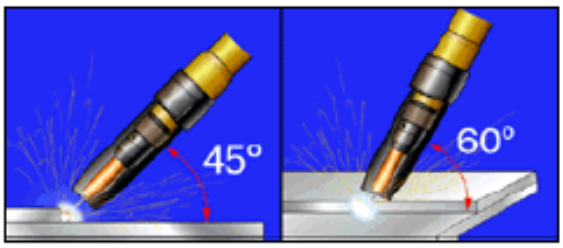


Figure 5–Proper torch position helps ensure that vaporized zinc gas passes out of the weld zone.

- Burada olması tavsiye edilen 0.5-1 mm küçük yiv (oluk) açılmasıdır. Bu açılım yiv üzerinden kaynak havuzunun akışına yardım edecek ve daha fazla kaynaklanmış yüzey alanı ve birleşme oluşturacaktır.
- Kaynak torcunun ileri sürülmesi önerilir Çünkü bu teknik ön ısıtmayı ve kaynak bölgesinde çinkonun buharlaşmasını sağlar ve böylece kaynak porozitesi azalır.

TEST ETME ve UYGULAMALAR

- Mig brazing kaynağı mig kaynağına benzer biçimde test edilebilir. Burada yırtılma testleri uygulanır.
- MİG Brazing kaynağı pekçok bağlantı türünde kullanılabilir.
- Alın kaynağı, bindirme kaynağı, köşe kaynağı ve dolgu kaynağı gibi bağlantılar uygulama alanı bulmuştur.
- MİG Brazingin kullanılması tavsiye edilen araçlar 2004 Vauxhall Vectra C Opel,2004 Volkswagen Golf ve Peugeot Citroen. Kapı açılım aksamları, çatı aksamları, sürücü aksamlarına slot kaynatılır.
- Toyota karoserde çatı panellerinde, destek bağlantılarında, arka panel karoserinde, sızdırmazlık isteyen kanal bağlantılarında MİG Brazing tavsiye etmektedir.
- Çelik alaşımları üzerinde kullanımlarına bağlı olarak MİG Brazing bağlantıları MİG kaynaklı bağlantılar kadar mukavemetlidir.
- Korozyon koruma seviyelerini orijinal seviyede tutar.

- Kaynak makineleri uygun bir şekilde ayarlanabilir ve kendine özgü MİG Brazing teknikleri kullanılabilir.
- Avrupa taşıtlarının modellerinde yapısal parçaların birleştirilmesinde tavsiye edilmektedir..

KAYNAKLAR

[1] Gültekin, N. "Kaynak Tekniği" 2. Baskı, Engin Ofset, Üsküdar 1991
[2] Anık, S. Vural, M. "5000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı" Baskı, Birsen Yayınevi İstanbul 2000
[3] Vural, M. "Elektrik Direnç Kaynağı Semineri Notları, 1998
[4] Anık. S.," Kaynak teknolojisi El Kitabı", Ergör Matbaası, istanbul 1983.
[5] Civelekoğlu, F.. " Yüksek Hız Çeliği (S 6-5-2) İle Alaşımsız Karbon Çeliği (Ck 60) Çubukların Yakma Alın Kaynağı İle Birleştirilmelerinde Bazı Kaynak Parametrelerinin Ve Kaynak Bölgesinin Etüdü", Doçentlik Tezi, İTÜ, istanbul 1971.
[6] N. N., " Metals Handbook- Welding and Brazing- Volume 6 ", ASM, Metals Park, Ohio, USA 1983.
[7] N. N.,_" Welding Handbook- Resistance And Solid State Welding And Other Joining Processes", AWS, Miami, USA 1980.
[8] Sandal. O., " Farklı İki Takım Çeliğinin Elektrik Direnç Yakma Alın Kaynağında Kaynak Bölgesinin İncelenmesi", Doktora Tezi, YÜ , istanbul 1988.
[9] Chernenko, LA., et al," Inertia Friction Welding R6M5 Steel To Grade Steel", Automatic Weld., 1984, s. 52-54.
[10] Kuchuk, S.,_" Experience Of Flash-buü Welding Application in Pipe-Line Construction İn The USSR", Proceedings Of Pipeline Technology Conference, Ostend, Belgium 1990, s. 7-9.
[11] Mazel, A. G., " Welding Pipeline in The USSR", Proceedings of Pipeline Technology Conference, Ostend, Belgium 1990, s. 1-5.*191*
[12] STEKLOV, O.L., et al, " Flash- butt Welding Of 110G13L Steel (Hadfield Steel)" Weld. Int., 1989, s. 892-
[13] Aslanlar. S. "Galvaniz Kaplanmış Kromatlı Mikro alaşımlı çelik saçların elektrik direnç nokta kaynağında hasar Modunun tespiti".,Doktora Tezi, SAÜ-Fen Bilimleri Enstitüsü,1999
[14] Aslanlar. S"Konstruktion und Bau einer Schaelzugprüfmaschiene für die Klebverbindungen. ".FHN, Almanya 1987
[15] http://www.trumpf.com
[16] http://www.alia-technik.de/903MS_A.pdf
[17] http://www.millerwelds.com/pdf/Resistance.pdf
[18] http://www.arslankaynakmetal.com
[19] www.mmo.org.tr/muhendismakina/arsiv/
[20] http://www.meksan.com.tr/tr/products.htm