

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI

(Yüksek Lisans Tezi)

HALİL DEMİNER

Yöneten : Y. Doç. Dr. A. İRFAN YÜKLER

İSTANBUL 1986

İÇİNDEKİLER

ÖZET	I
1. KONUNUN TANITILMASI	1
1.1. Elektrik Direnç Kaynağı	1
1.2. Direnç Kaynağı Yöntemleri	1
1.3. Elektrik Direnç Nokta Kaynağı	3
1.4. Kaynak Çevrimi	5
1.5. Nokta Kaynak Yöntemleri	7
1.6. Nokta Kaynak İşleminin Prensipleri	8
1.7. Nokta Kaynak Makinaları	10
1.7.1. Nokta Kaynağı Makinalarının Sınıflandırılması	14
1.7.1.1. Tekli Nokta Kaynak Makinaları	14
1.7.1.2. Çoklu Nokta Kaynak Makinaları	18
2. ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞINA TESİR EDEN FAKTÖRLER	20
2.1. Elektrik Direnç Nokta Kaynağı Değişkenleri	20
2.2. Isı Üretimi ve Direncin Isı Üretimine Etkisi	21
2.3. Elektrodun Etkisi	23
2.3.1. Nokta Kaynağı Elektrod Malzemeleri	28
2.3.2. Elektrod Uç Çapının Tayini	34
2.3.3. Elektrodun Kullanılma Özellikleri	37
2.4. Isının Ayarlanması	38
2.5. Elektrod Basıncının Isı Üretimine Etkisi	40
2.6. Akım Şiddetinin Isı Üretimine Etkisi	43
2.7. Akım Süresinin Isı Üretimine Etkisi	48
2.8. İş Parçasının Malzemesi ve Direnci	53
2.9. İş Parçaları Arasındaki Temas Direnci	55
2.10. İş Parçasının Yüzey Durumu	57
2.11. Kaynak Noktasında Oluşan Elektrik Direnç	61
2.12. Metallerde Özel Dirence Tesir Eden Faktörler	62

2.13. Nokta Kaynağında Isı Kaybı	65
2.14. Kaynak Sırasında Kaynak Bölgesindeki Direncin Değişimi ve Çekirdek Teşekkülü	67
2.15. Nokta Kaynağında Kaynak Kabiliyeti	70
2.16. Nokta Kaynağı Çalışma Değerleri	72
3. DİRENÇ NOKTA KAYNAĞINDA KAYNAK HATALARI VE SEBEPLERİ	73
3.1. Kaynak Hataları ve Sebepleri	73
3.1.1. İç Hatalar	73
3.1.1.1. Kaynak Nüfuziyeti	73
3.1.1.1.1. Yetersiz Nüfuziyet	73
3.1.1.1.2. Aşırı Nüfuziyet	74
3.1.1.2. Simetri	74
3.1.1.3. Gaz Kabarcıkları ve Gözeneklilik	74
3.1.1.4. İç Çatlaklar	75
3.1.2. Dış Hatalar	75
3.1.2.1. Yüzey Yanması	75
3.1.2.2. Levha Ayrılması	76
3.1.2.3. Fıçkırma	76
3.1.2.4. Distorsiyon	77
3.1.2.5. Aşırı Ezilme	77
3.1.2.6. Dış Çatlaklar	78
3.1.2.7. Bakır Birikmesi	78
4. NOKTA KAYNAĞI MUKAVEMET ÖZELLİKLERİNİN MUAYENESİ	80
4.1. Nokta Kaynağının Tahribatlı Muayeneleri	80
4.1.1. Nokta Kaynaklarında Sertlik Profili	81
4.1.2. Düğme Çıkarma Deneyi	85
4.1.3. Çekme - Makaslama Deneyi	86
4.1.4. Normal Çekme Deneyi	92
4.1.5. Süneklik Oranının Tespiti	94
4.1.6. Darbe Deneyi	98
4.1.7. Yorulma Deneyi	99

4.2. Nokta Kaynağının Mukavemeti	100
4.3. Nokta Kaynağının Tahribatsız Muayeneleri	102
4.3.1. Çalışma Sırasında Nokta Kaynak Kontrolü	103
4.3.1.1. İşlemin Prensipleri	104
4.3.2. Nokta Kaynağı Mukavemetinin Basit Elektrik Ölçümleriyle Tayini	106
4.3.2.1. Esas Ölçme Teorisi	107

ÖZET

Ülkemiz son yıllarda hafif binek otomobilleri, karoseri, dayanıklı tüketim malları vb. üretiminde büyük atılımlar kaydetmiştir. Bunun yanısıra son günlerde savunma sanayii, özellikle uçak yapımı gündeme gelmiş bulunmaktadır. Bu sayılan araçların konstrüksiyonunda ince metal levhalar kullanılmaktadır. Bu levhaların birleştirilmesinde ise, ileride etraflıca inceleyeceğimiz üstün niteliklerinden dolayı elektrik direnç nokta kaynağı büyük ölçüde kullanılır olmuştur.

Günümüzde, ülkemizin dışa açılması sebebiyle yerli ürünlerin dış pazarlarda rekabeti söz konusudur. Rekabet, ucuz ve kaliteli mal üretimi ile sağlanabilir. Bu ise, üretim safhalarında yeni ve gelişmiş yöntemlerin uygulanmasıyla mümkündür.

Bu tezde, elektrik direnç nokta kaynağının hemen bütün yönlerini içine alan genel bir inceleme amaçlanmıştır. Bu yönüyle, en son yenilikler de dikkate alınarak, nokta kaynağını ilgilendiren bütün konulara kısmen teorik, kısmen uygulamaya dönük bilgileri içerecek şekilde değinilmeye çalışılmıştır.

Elektrik direncinden yararlanarak kaynak yapmak aslında eski bir yöntemdir. Bu yöntemle ilk kaynak işlemi Amerika'da 1877 yılında bir tesadüf sonucu gerçekleşmiştir. Bunu takibeden yıllardan günümüze kadar geçen süre içerisinde elektrik direnç kaynağı yöntemlerinde büyük aşamalar kaydedilmiştir.

Elektrik direnç nokta kaynağı seri imalâta uygun ve oldukça yaygın bir kaynak yöntemidir. Kaynak işlemi, bir düğmeye veya bir ayak pedalına basarak makinayı devreye sokma ve devreden çıkarma kabiliyetine sahip operatörler tarafından büyük bir hızla gerçekleştirilir. Bu sebeple diğer ısı birleştirme yöntemleri ile karşılaştırıldığında, kaynak başına düşen işçilik gideri bu yöntemde daha düşüktür.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÖZET

Elektrik direnç nokta kaynağının uygulamada ekonomik hale getirilmesi için çok sayıda aynı veya benzer birleştirmeler gerekmektedir.

Elektrik direnç nokta kaynağı birleştirilen malzemeler bakımından diğer kaynak yöntemlerine kıyasla, daha fazla serbestliğe sahiptir. Yöntemden faydalanarak bir çok metal ve metal çiftlerini değişik biçim ve boyutlarda kusursuz olarak birleştirmek imkân dahilindedir.

Bu yöntem, ilâve malzeme kullanmayı gerektirmemesinden sağladığı hafiflik, yüksek kaynak mukavemeti, estetik, özel beceri gerektirmemesi ve kaynak hızının yüksek oluşu gibi sebeplerle, günümüzde otomotiv sanayii, uçak inşaatı, hafif yapı konstrüksiyonları, çamaşır makinası, buzdolabı vb. metal eşyalarda seri imalâtın ağırlık noktasını teşkil etmektedir. Bunların yanında, son yıllarda geliştirilen mikro nokta kaynağı ile de elektronik sanayiinde kullanılan parçaların imalâtı gerçekleştirilmektedir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞI

BÖLÜM 1 : KONUNUN TANITILMASI

1.1. - Elektrik Direnç Kaynağı

Direnç kaynağı; iş parçalarından geçen elektrik akımına karşı, iş parçalarının gösterdiği dirençten elde edilen ısı ve aynı zamanda basıncın uygulanmasıyla oluşan bir kaynak yöntemidir. Bu yöntemde ayrıca dış bir ısı membaı yoktur. Isı birleştirilecek bölgede oluşur ve basınç ise kaynak makinelerindeki elektrodlar vasıtasıyla uygulanır. Bu yöntemde hiç bir ilâve malzeme kullanılmaz.

Direnç kaynağı için gerekli akım; yüksek gerilim ve düşük akım şiddetindeki elektrik gücünü, düşük gerilim ve yüksek akım şiddetine çeviren kaynak transformatoründen elde edilir. Gerekli basınç ise; mekanik, pnömatrik veya hidrolik mekanizmalardan biri ile sağlanır.

Genel olarak ısıl işlem uygulanabilen tüm alaşımlar direnç kaynağı olabilirler. Direnç kaynağının avantajları; maliyet düşüklüğü, yüksek üretim hızı ve otomatik olarak uygulanabilmesidir. Önemli dezavantajı ise yüksek yatırım maliyetidir.

1.2. - Direnç Kaynak Yöntemleri

Direnç kaynağı yöntemleri genel olarak aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.

1 - Nokta kaynağı:

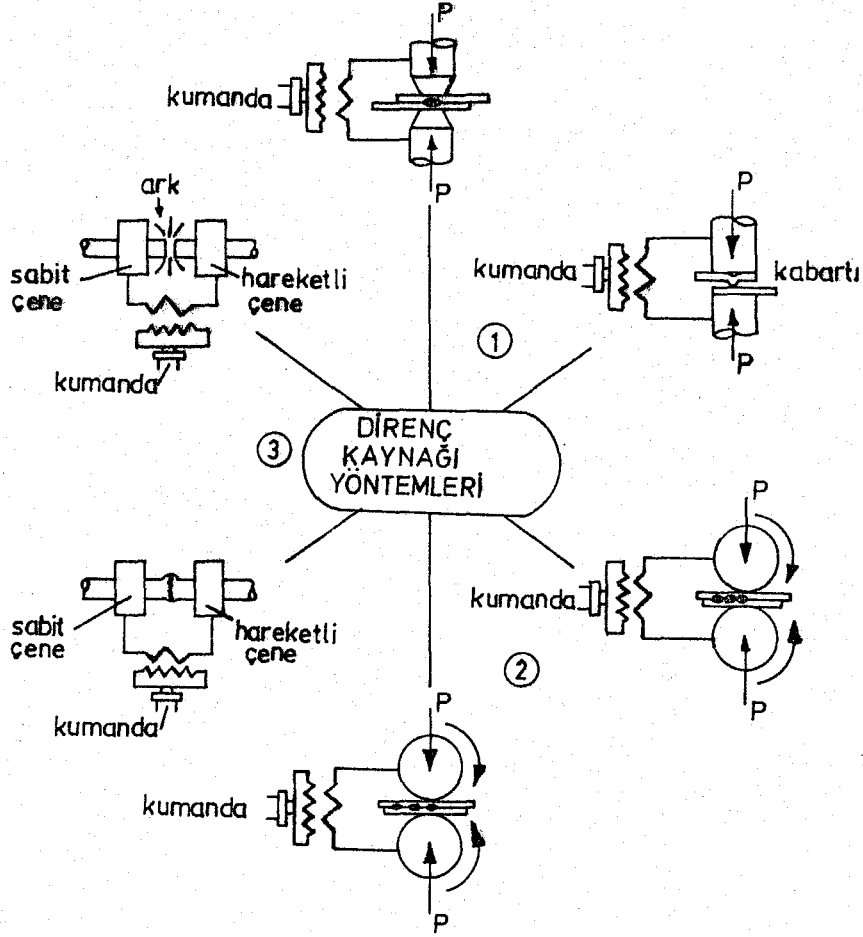
- a) Normal nokta kaynağı,
- b) Kabartılı nokta kaynağı.

2 - Dikiş kaynağı:

- a) Sürekli dikiş kaynağı,
- b) Aralıklı dikiş kaynağı.

3 - Alın kaynağı:

- a) Basıncılı alın kaynağı,
- b) Yakma alın kaynağı.



Şekil I.1. - Başlıca direnç kaynak yöntemlerinin şematik olarak gösterilmesi.(7)

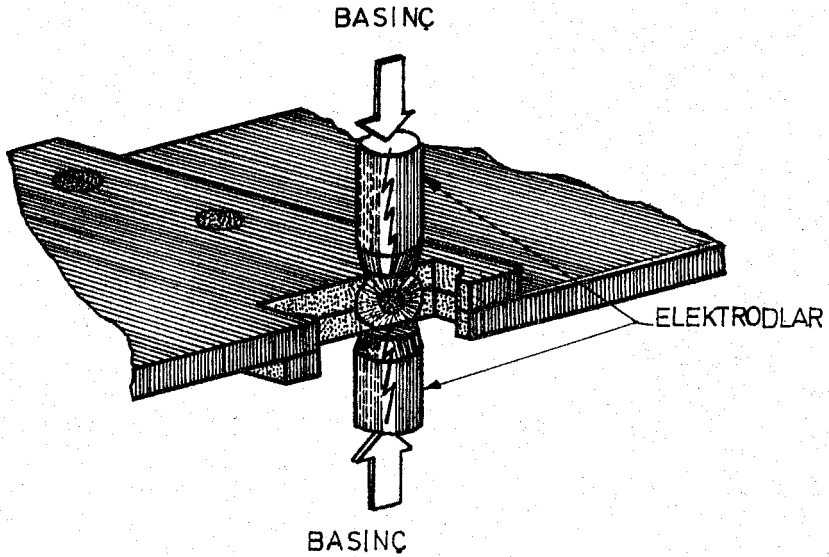
Bu saydığımız yöntemler ilâve bir sınıflandırma ile daha alt sınıflara ayrılabilir. Ancak hepsi birleşme bölgesindeki ısı ve basınç yoğunluğuna ve bu iki değişkenin zaman ve şiddet bakımından çok dar sınırlar içinde kontroluna imkân verir.

Bütün direnç kaynağı yöntemleri, uygun bir akım akım şiddeti kaynak zamanı düzenlemesini gerektirir. Akım kapalı bir devre boyunca akar. Akımın sürekliliği uygun olarak şekillendirilmiş elek-

trodların uyguladığı basınçla sağlanır. Kaynak periyodundaki çeşitli işlemleri genel olarak şöylece sıralayabiliriz: Önce sınırlı bir metal hacminin erimesi için gerekli ısıyı oluşturmak ve hemen ardından bu metalin basınç altında yeniden katılaşması ile soğumasını sağlamaktır. İş parçasının ısınma ve soğuma hızı zaman ekonomisi açısından yüksek olmalıdır. Eğer elde edilen hız demir esaslı alaşımlarda gevrek bir kaynak dikişi meydana getirecek kadar yüksek ise, ayrıca temperleme işlemini gerektirir.

1.3. - Elektrik Direnç Nokta Kaynağı

Nokta kaynağı; elektrodların uyguladığı basınç ile birarada tutulan iş parçalarının, geçen elektrik akımına karşı gösterdikleri dirençten oluşan ısı ile temas yüzeylerinin birleşmesidir. Birleşmeyi sağlayan çekirdeğin şekli ve boyutu esas olarak elektrodların iş parçalarına temas eden yüzeylerinin şekli ve boyutu ile sınırlıdır. (Şekil I.2.)



Şekil I.2. - Nokta kaynağında kaynak dikişinin durumu.(21)

Şekil I.2. - den anlaşılacağı gibi bu yöntemle ancak levhaların bindirme tipi kaynağı gerçekleştirilebilir.

Nokta kaynağı yöntemiyle; folie ve çok ince teller ($D = 8\mu\text{m}$) -den, toplam kalınlıkları 50 mm- ye kadar varabilen çelik levhaların birleştirilmesi yapılabilmektedir. Normal olarak direnç nokta kaynağı, mukavemet özellikleri sebebiyle 6,5 mm- den düşük kalınlığa sahip levhaların birleştirilmesi için idealdir. Fakat piyasa uygulamalarında bu sınır 12 mm kalınlığa kadar çıkabilmektedir.

Paslanmaz çelikler yüksek elektrik direnci, zayıf ısıl iletkenlik ve kuvvetli bir temas direncine sahiptirler. Bu sebeple paslanmaz çeliklerde aşağıdaki önlemler alınır:

- a) Temas dirençlerini azaltmak ve ısının elektrotlardan tahliyesini kolaylaştırmak için elektrod basınçları arttırılır,
- b) Akım şiddeti ve kaynak süresi azaltılır,
- c) Adi ve az alaşımlı çeliklere nazaran akım şiddetleriyle akım süreleri daha yüksek hassasiyetle kontrol edilir.

Nokta kaynağı ayrıca, 5 mm kalınlığa kadar alüminyum levhaların ve 1 mm kalınlığa kadar bakır levhaların birleştirilmesinde kullanılmaktadır. Tüm alüminyum alaşımlarında nokta kaynağı uygulanabilir. Çelik için kullanılan ekipmanlar modifikasyon yapılarak alüminyum kaynağında kullanılabilir.

Direnç nokta kaynağında önemli olan alüminyumun özellikleri ise; ısı kapasitesi ve iletkenliği, oksidasyon, porozite, termik genleşme ve elektrikli özelliklerdir. Alüminyumda çeliğe nazaran bir kaç misli elektrik kapasitesi gerekmektedir.

Alüminyum sıvı fazdan katı faza geçerken % 6 oranında hacmen daralır. Bu daralma sebebiyle ortaya çıkan iç gerilmeler malzeme bünyesinde bozukluk meydana getirir. Uygun toleranslar ve malzemenin yapısına göre seçilen yöntem ile bu risk azaltılır. Kaynaklama hızındaki artış ile hasıl olan soğuma dengesizliği çatlamalara sebep olur.

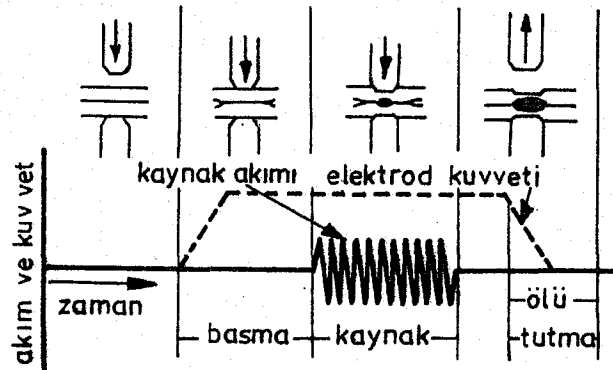
Tavlanmış malzemelerde nokta kaynağı uygulaması daha sert malzemelerinkine göre çok daha güçtür. Kaynaklanacak olan yüzeylerin temizliği çok önemlidir. 1100 ve 3003 gibi alaşımlar için sadece yüzey yağını temizleme yeterlidir. Ancak daha yüksek alaşımlar için tel zımparalama ile kimyasal dağlama yöntemleri gerekli olabilir.

1.4. - Kaynak Çevrimi

Kaynak işlemi temel olarak dört periyotta gerçekleşir. Bunları şöylece sıralayabiliriz:

- Basma zamanı: Elektrod kuvvetinin ilk uygulandığı an ile kaynak akımının verildiği ilk an arasında geçen zamandır.
- Kaynak zamanı: Kaynak akımının geçtiği zaman aralığıdır.
- Tutma zamanı: Kaynak akımının kesilmesinden sonra, elektrod kuvvetinin etkisinin devam ettiği zamandır.
- Ölü zaman: Elektrodların iş parçaları ile temasta olmadığı zaman aralığıdır.

Bu periyodlar ve elektrodların levhalara göre durumu Şekil I.3. - de gösterilmiştir.



Şekil I.3. - Nokta kaynağında kaynak çevrimi.(9)

Uygulamada, Şekil I.3. - de verilen çevrimden farklı çevrimler de kullanılmaktadır.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAYNAK ÇEVİRİMİ

Ön tavlama ile kaynak: Levhalara kaynak akımından önce, kaynak akımından daha düşük şiddette bir ön tavlama akımı uygulanır. Böylece kaynak bölgesi kaynak sıcaklığının altında bir sıcaklığa ulaşır.

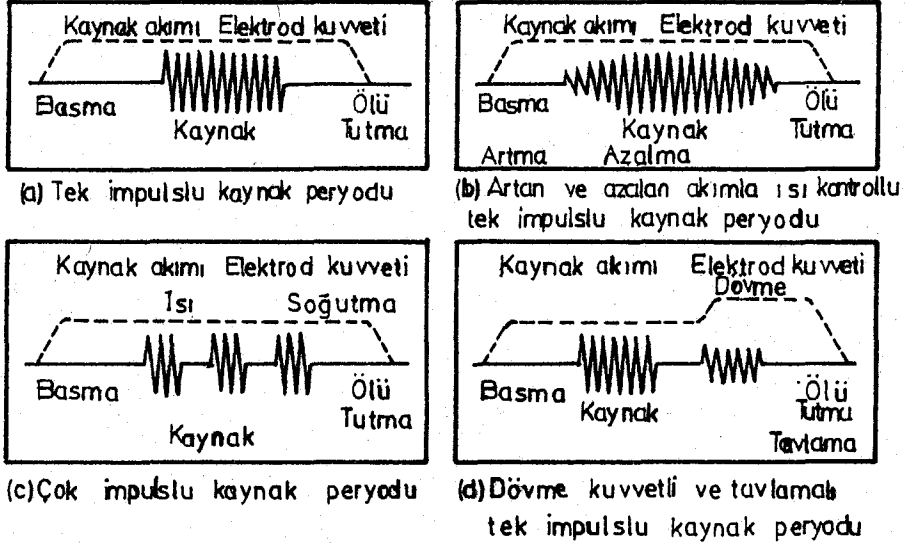
Özel kaynak uygulamalarında, özellikle galvanizli çeliklerde ve çok ince levhaların kaynatılmasında bu kontrole ihtiyaç vardır. Bu kontrolla kaynak akımının artışı ayarlanan süre içinde olur.

Akım zamanı başlangıcında, akım çok düşüktür ve yavaş yavaş artmağa başlar. Bu sayede kaynak esnasında sıçramalar azalır ve elektrod malzemesi daha ekonomik kullanılmış olur. Aynı zamanda kaynak yapılacak malzemede ki birikmiş kirler bu düşük ısı sırasında buharlaşır, yanıp ortadan kaybolur. Bunun yanında, yüksek mukavemetli, dolayısıyla yüksek elektrod kuvveti gerektiren levhaların daha düşük elektrod kuvvetinde kaynak yapılabilmesini sağlar. Ayrıca bu işlem kaynak akımı sonrası soğuma hızlarını düşürmede oldukça etkindir.

Sonradan tavlama ile kaynak: Sertleşebilen çeliklerde, kaynak bölgesinin hızla soğumasını önlemek için kaynak akımından sonra bir tavlama akımı kullanılır.

Titreşimle kaynak: Kaynak akımı, kaynak zamanı içinde devreye sürekli sokulup çıkarılır. Akımın devrede olmadığı sürelerde levha ve elektrodlar ısının bir kısmını emerler. Ancak en fazla soğuma levhaların elektrodlarla temas halinde olduğu bölgelerde olur, kaynak bölgesi daha az soğur. Böylece sıcaklık kaynak bölgesinde artarken elektrod levha temas yüzeylerinde azaltılmış olur. Bu işlem kalın levhalarda ve mukavemeti yüksek malzemelerde, gereğinden daha düşük elektrod kuvvetinin kullanılmasına imkân verir.

Artan kaynak akımıyla kaynak: Kaynak akımının şiddeti küçük bir değerden başlayarak sürekli artar ve son değerine ulaşır. Bu yöntem ön tavlama kaynağının bütün avantajlarına sahiptir. Hafif alaşımlı metallerin kaynağında kullanılır. Amaç, yüksek şiddetteki kaynak akımının devreye girmesinden önce iyi bir sıkıştırma, düzgün ve yeterli bir temas yüzeyi sağlamaktır.



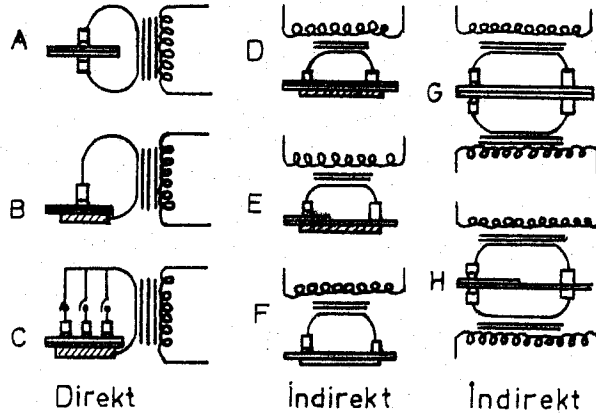
Şekil I.4. - Nokta kaynağı işleminde çeşitli periyodların şematik olarak gösterilmesi.(7)

1.5. - Nokta Kaynak Yöntemleri

Nokta kaynağı yöntemleri temel olarak iki sınıfa ayrılır.

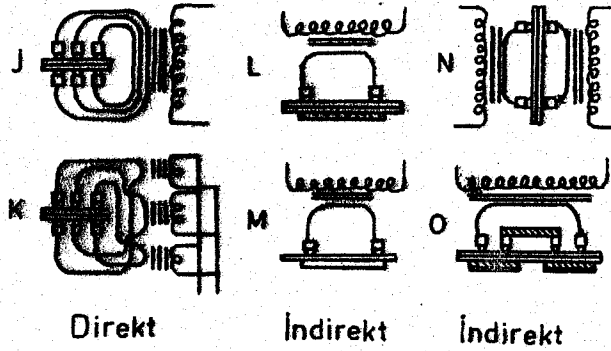
- Tek noktalı kaynak.
- Çok noktalı kaynak.

Tek noktalı kaynak, akımın uygulama periyodu boyunca bir kaynak noktası oluşacak şekilde yapılan kaynaktır. (Şekil I.5.)



Şekil I.5. - Tek noktalı kaynak yöntemleri.(7)

Çok noktalı kaynakta akımın uygulama periyodu boyunca aynı anda iki veya daha fazla kaynak noktası oluşur. (Şekil I.6.)



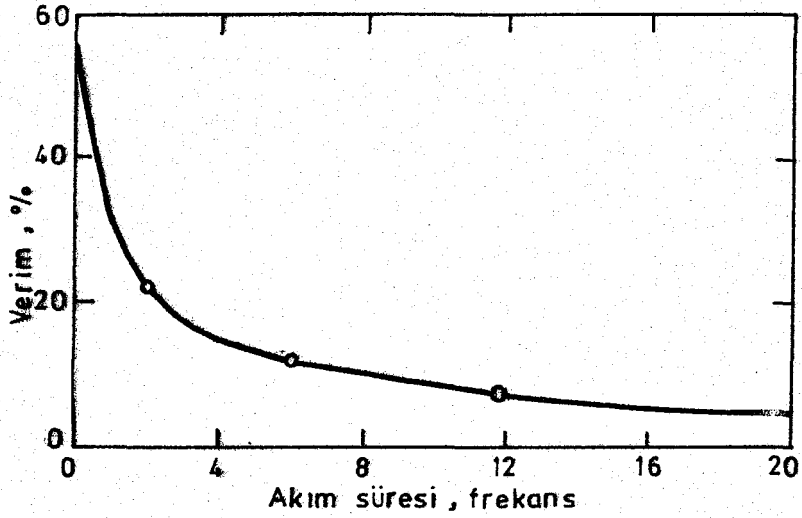
Şekil I.6. - Çok noktalı kaynak yöntemleri.(7)

Çok noktalı kaynak, özel düzenlemelere bağlı olarak seri kaynak noktaları veya paralel kaynak noktaları şeklinde yapılabilir. Her iki kaynak yönteminde akım yoluna bağlı olarak direkt veya indirekt kaynak şeklinde düzenlenebilir.

1.6. - Nokta Kaynak İşleminin Prensibi

Nokta kaynağı için gerekli ısı enerjisi; diğer elektrikli ısıtma cihazlarına benzer şekilde, iş parçalarından geçen elektrik akımına karşı oluşan direnç yoluyla elde edilir. Diğer bir ifadeyle: Bir nokta kaynağı işlemi boyunca bir iş parçasında oluşan toplam ısı miktarı çalışma direncinin bir fonksiyonudur. Bundan dolayı kaynak işlemi boyunca bu parametrenin değişimlerinin bilinmesi yararlı ve önemlidir. Direnç kaynağında süre frekans mertebesinde-dir. Süre uzadıkça verim düşer. (Şekil 1.7.)

Direnç kaynağında direncin değeri fazla olduğundan, yüksek verim elde edebilmek ve gerekli ısıyı üretebilmek için yüksek kaynak akımlarına ihtiyaç vardır.



Şekil I.7. - Nokta kaynağında süre-verim ilişkisi.(21)

Isı üretim hızı, malzemenin gösterdiği direnç içerisinde akan akıma bağlıdır. Aslında kaynak işlemi boyunca akım ve direnç değişmektedir. Fakat pratikte kaynak akımı ve malzemenin direncini sabit bir büyüklükteymiş gibi düşünmek yaygındır. Böyle durumda ise parçada oluşan toplam ısı miktarı (Q) akımın karesinin, direncin ve zamanın bir sonucu, fonksiyonu olarak verilir.

$$Q = k \cdot I^2 \cdot R_w \cdot t \quad (\text{Joule} = \text{Watt} - \text{sn})$$

veya

$$Q = k \cdot 0,239 \cdot I^2 \cdot R_w \cdot t \quad (\text{Kalori})$$

Formülde:

I = Amper cinsinden kaynak akımı.

R_w = İş parçalarının toplam direnci, ohm cinsinden.

t = Akımın akış zamanı, saniye cinsinden.

k = Elektrodlar ve kaynağı çevreleyen malzemenin; radyasyon, konveksiyon ve kondüksiyon kayıpları katsayısı.

Bununla beraber eğer direnç değişirken akım sabit kalırsa toplam ısı miktarı Q ; akımın karesi ve zamana bağlı ani integrasyonun sonucu olarak verilir.

$$Q = I^2 \int_0^t \alpha (t) dt$$

Burada $\alpha(t)$ zamana bağlı olarak değişen ani dirençtir. İş parçasında oluşan direnç değişimleri kaynak akım büyüklüğünde değişimlere sebep olur. Böyle durumlarda toplam ısı miktarı Q ; ani akımın karesinin ve ani zamana bağlı direncin integrasyonu sonucu olarak verilir.

$$Q = \int \beta^2 (t) \cdot \alpha(t) dt$$

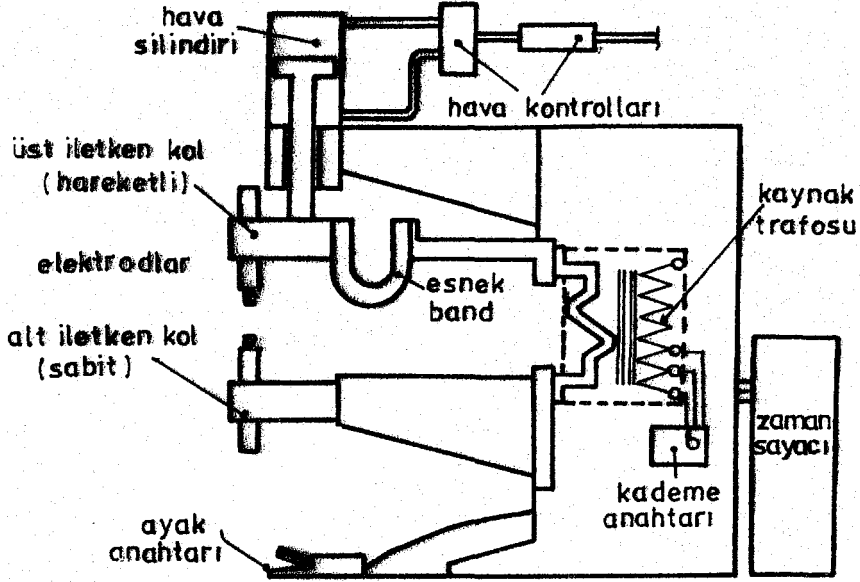
Burada $\beta(t)$ zamanın bir fonksiyonu olarak ifade edilmiş akımdır ve aynı zamanda iş parçalarının elektrikî karakteristiklerinin bir fonksiyonudur.

Bundan dolayı, iş parçalarının direnci nokta kaynağında önemli olduğu gibi, nokta kaynağının gelişimi boyunca direncin değişiminin daha iyi bilinmesi; nokta kaynağı pratiklerinin geliştirilmesine ve kaynağın daha iyi kontrol altında yapılmasına imkân verir.

1.7. - Nokta Kaynak Makinaları

Nokta kaynağında kullanılan makinalarda, giren akım bir transformotörden geçirilerek gerilimi düşürülür ve şiddeti arttırılır. Makinanın kapasitesine göre akım şiddeti 2000 ilâ 120.000 Amper arasında değişir.

Şekil I.8. - de bir nokta kaynağı makinası şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil I.8. - Pnömatik basma tertibatlı bir nokta kaynağı makinasının şematik olarak gösterilişi.(19)

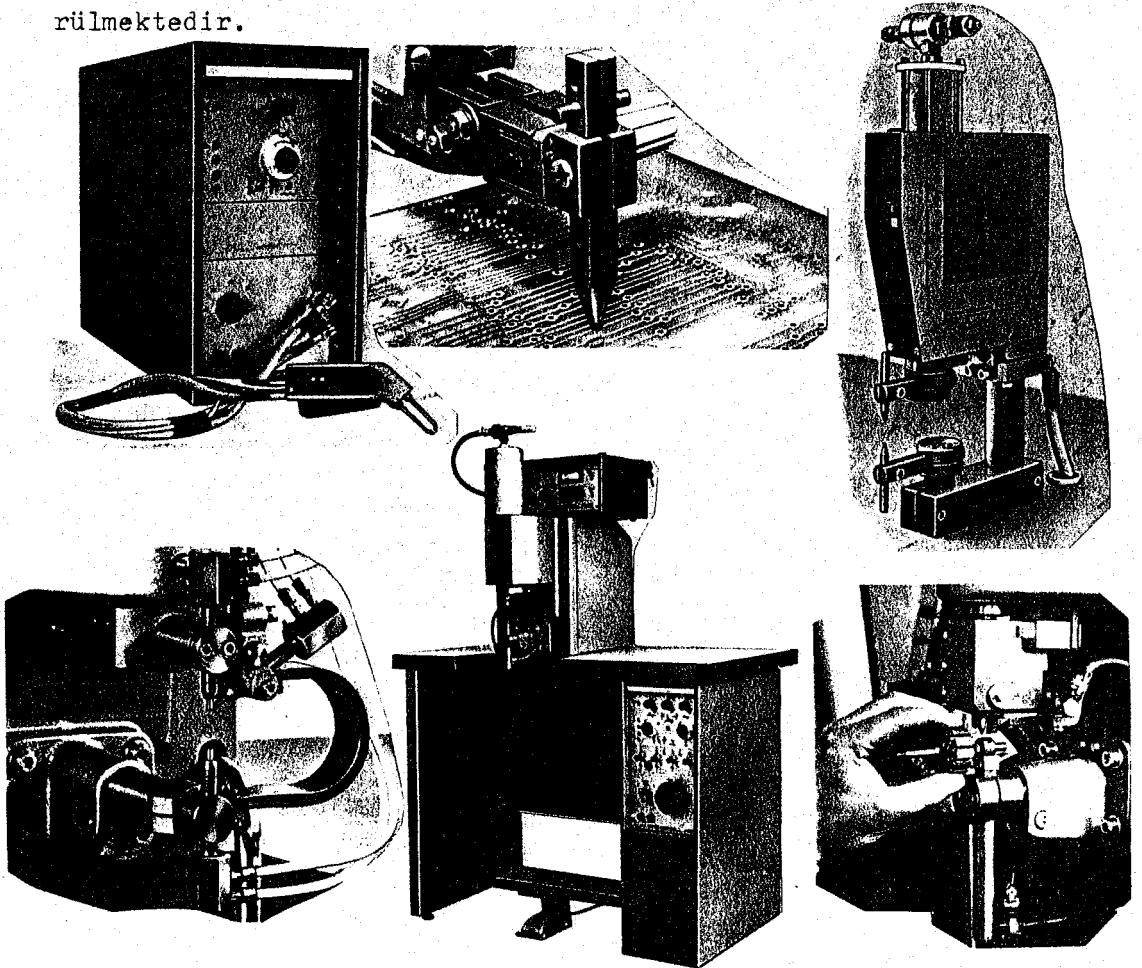
Elektrodlar iş parçalarına önceden ayarlanmış zamanlarda, hızlarda yaklaşır ve uzaklaşır. Bu arada, elektrodların basma kuvveti pnömatik, hidrolik veya mekanik cihazlar vasıtasıyla uygulanır. Elektrodların yaklaşma hızı yüksek olmalı fakat elektrod yüzeylerinin deformasyonuna müsaade edilmemelidir. Merkezi olarak ısıtılan iş parçaları, kaynak sırasında hem genişler ve hem de büzülür. Elektrodlar basınç altında dinamik harekettedir. Hareket hızının değişimi, hareketli parçaların ağırlığından veya ataletinden, sabit ve hareketli parçalar arasındaki sürtünmeden etkilenir. Bu şartlar altında yeterli basınçları sağlamak gerekir.

Şekil I.8. - de gösterildiği gibi zıt yönde akım taşıyan paralel iletkenler karşılıklı olarak geriye doğru itilir. Bu geri itme kuvveti elektrodları birbirinden ayırmaya çalışır. Elektrodların iş parçalarından ayrılmasını önlemek için uygulanan toplam kuvvetin

itme kuvvetinden büyük olması gerekir. İlâve olarak, bu kuvvetin iş parçalarını, erime veya yumuşama meydana geldiğinde, basınç altında tutmaya yeterli olması lâzımdır.

Elektrodlar, iş parçalarını malzemenin yumuşama hızına eşit bir hızda izliyemiyor ise, aşırı yüzey ısınması meydana gelir ve elektrodlar ile iş parçaları arasında bir ark oluşabilir. Bu ark, elektrod yüzeylerinin yanmasına ve dolayısıyla da iş parçalarına yapışmasına sebep olur.

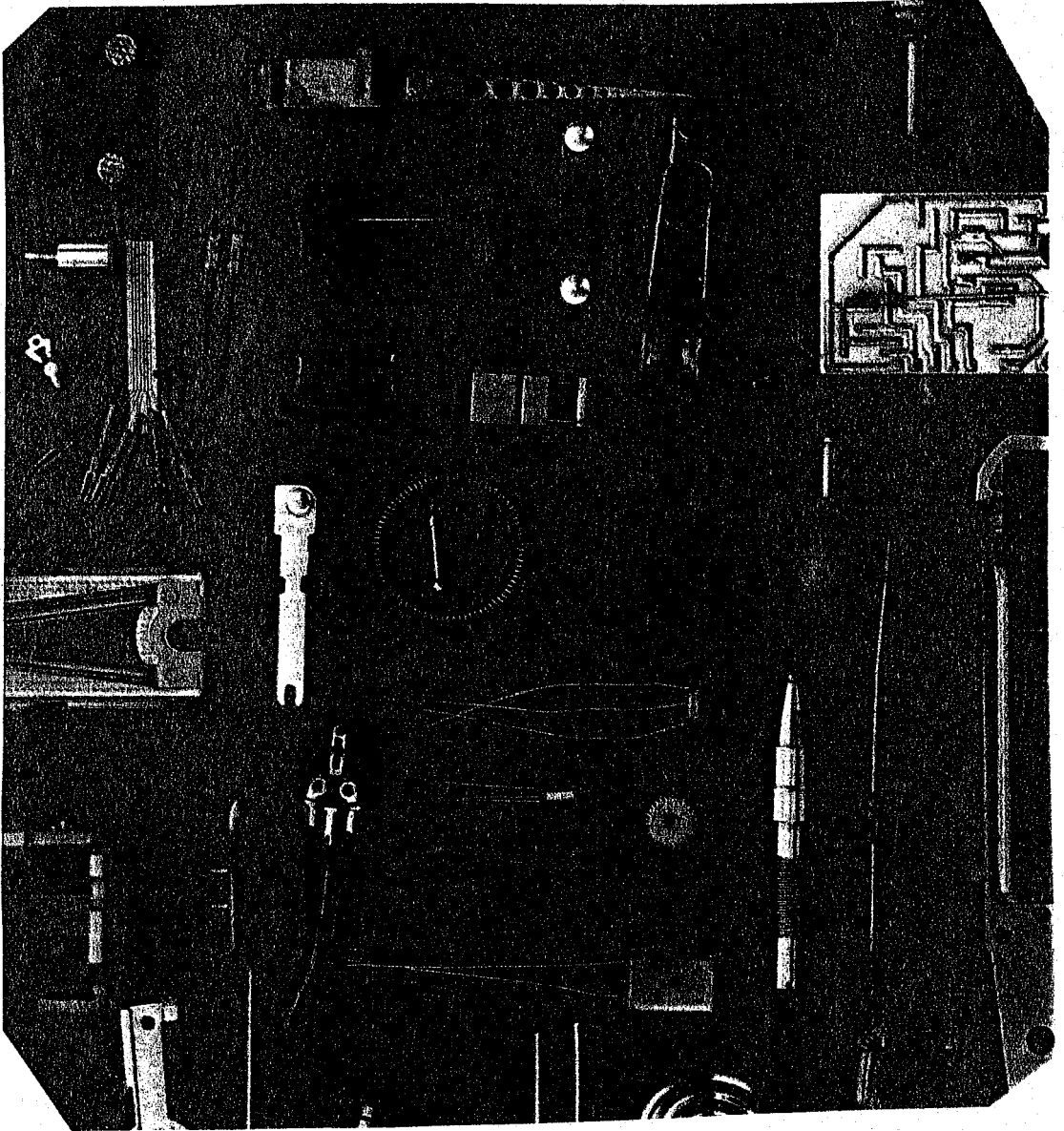
Radyo, televizyon, elektronik ve oyuncak sanayii gibi alanlarda tam elektronik kumandalı hassas nokta kaynak makinaları gerekir. Bu makinalar mikro nokta kaynak makinaları olarak adlandırılırlar. Şekil I.9. - da çeşitli mikro nokta kaynak makinaları görülmektedir.



Şekil I.9. - Çeşitli tipte mikro nokta kaynak makinaları.(26)

Misâl olarak 6 kVA bağlantı güçlü bir hassas kaynak makinası ile en yüksek sekonder devre akımı 4500 A, elektrod kuvveti 0,5 - 15 daN, kaynak süresi 0,5 - 4 veya 0,002 - 0,08 sn (50 Hz) olarak verilebilir.

Şekil I.10. - da ise, mikro nokta kaynak makinası ile imâl edilmiş çeşitli işlerin resimleri görülmektedir.



Şekil I.10. - Mikro nokta kaynağı ile imâl edilmiş çeşitli parçalar.
(26)

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

NOKTA KAYNAK MAKİNALARI

Yüksek güçlü kaynak makinalarında ise, kademesiz kol aralığı ayarlanabilirliği, hidrolik elektrod hareketi, tam elektronik kumanda ile donatımları yanında yüksek çalışma emniyeti de dikkate alınmaktadır. Gelişmiş tiplerde, programlı basınç ve akım şiddetleri ile tek ve çok impulsu kaynak işlemleri yapılmaktadır.

Misâl olarak, yüksek mekanik - elektrikli güce sahip, böylece Al - ve Al - alaşımlarında hızlı çalışma imkânı sağlayan 100 kVA, sekonder devre akımı 50 kA, elektrod kuvveti 1000 daN - luk bir makina bu grupta sayılabilir. Böyle bir makinada, trafo primer devresinin değiştirilmesi imkânı ile daha küçük güçlü makina gibi kullanılması da mümkündür. Misâl olarak, çeliğin kaynağı için 50 kVA güçlü ve 25 kA sekonder devre akımlı bir makina sayılabilir.

1.7.1. - Nokta Kaynağı Makinalarının Sınıflandırılması

Nokta kaynağı makinalarını çeşitli şekillerde sınıflandırmak mümkündür.

- a) Gerçekleştirdiği nokta sayısına göre: Tek veya çok noktalı kaynak yapabilen kaynak makinaları şeklindedir. Tek noktalı kaynakta akımın uygulanması sırasında bir kaynak noktası, çok noktalı ise iki veya daha fazla kaynak noktası meydana gelir.
- b) Sabit veya hareketli oluşlarına göre: Hareketli kaynak makinalarına kaynak pensesi adı verilir.
- c) Güç kaynağının özelliğine göre: Nokta kaynak makinaları, tek fazlı alternatif akım makinaları, üç fazlı alternatif akım makinaları, birikmiş enerjili makinalar şeklinde sınıflandırılabilir.

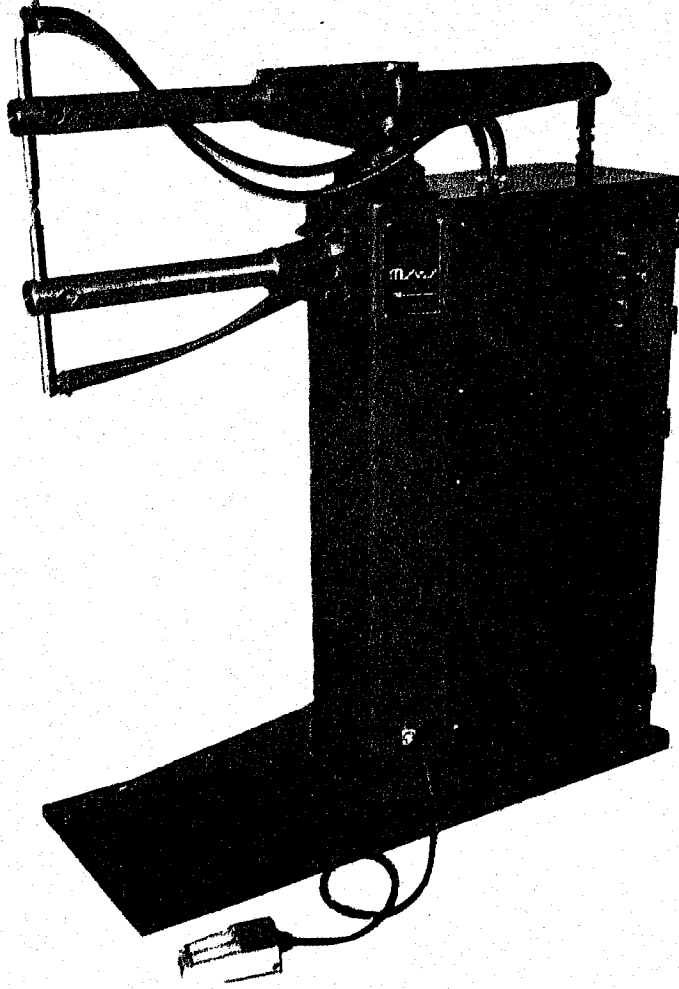
1.7.1.1. - Tekli Nokta Kaynak Makinaları

Genel olarak iki tip tekli nokta kaynak makinaları vardır.

1 - Uzun kollu makinalar: Bu tip makinalar basit ve genel olarak en çok kullanılan türlerdir. Şekil I.11. - de uzun kollu kaynak makinasının resmi görülmektedir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEKLI NOKTA KAYNAK MAKİNALARI



Şekil I.11. - Pedallı, uzun kollu nokta kaynak makinası. (28)

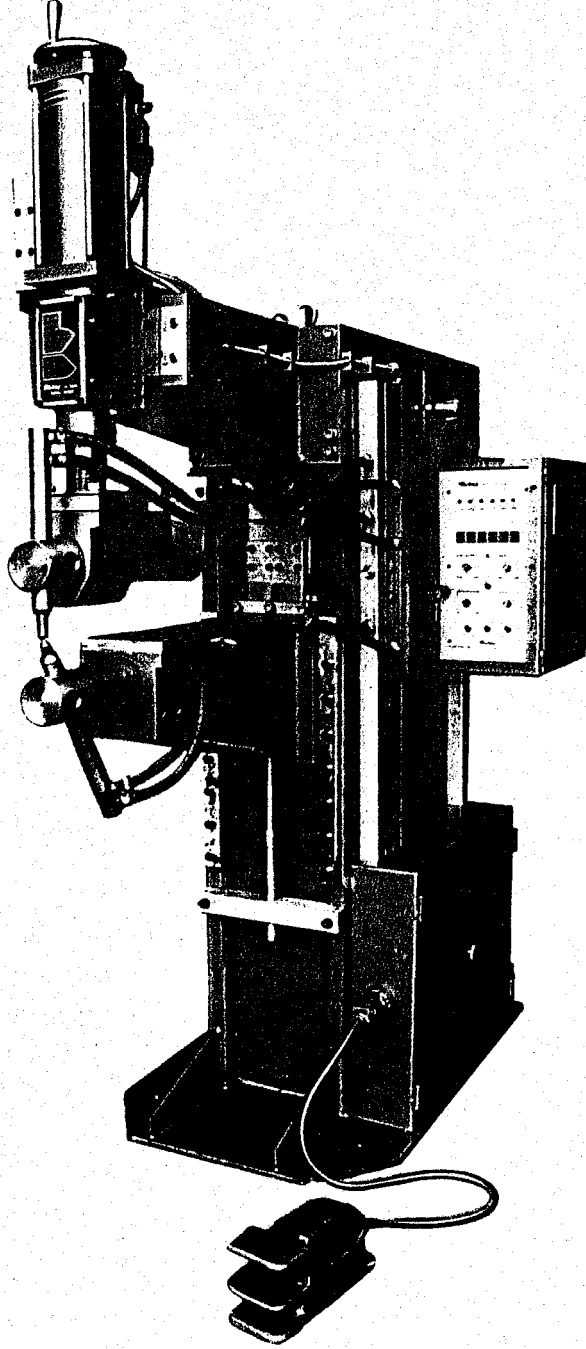
Kolların uçlarında birer elektrod bulunmaktadır. Üst kol hareketli olup pedala basılınca alt kola yaklaşır. Bu kollar yardımı ile, diğer kaynak makinalarında kaynatılması güç veya mümkün olmayan işlerin kaynaklı birleştirilmesi yapılır.

2 - Pres türü makinalar: Pres türü nokta kaynak makinalarında elektrod hareketli başlıkla doğrusal bir ilerleme yapar. Bu tür kaynak makinaları geniş bir uygulama alanına sahiptir ve özellikle kalınlıkları fazla olan levhalar bu makinalarda kaynatılır.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

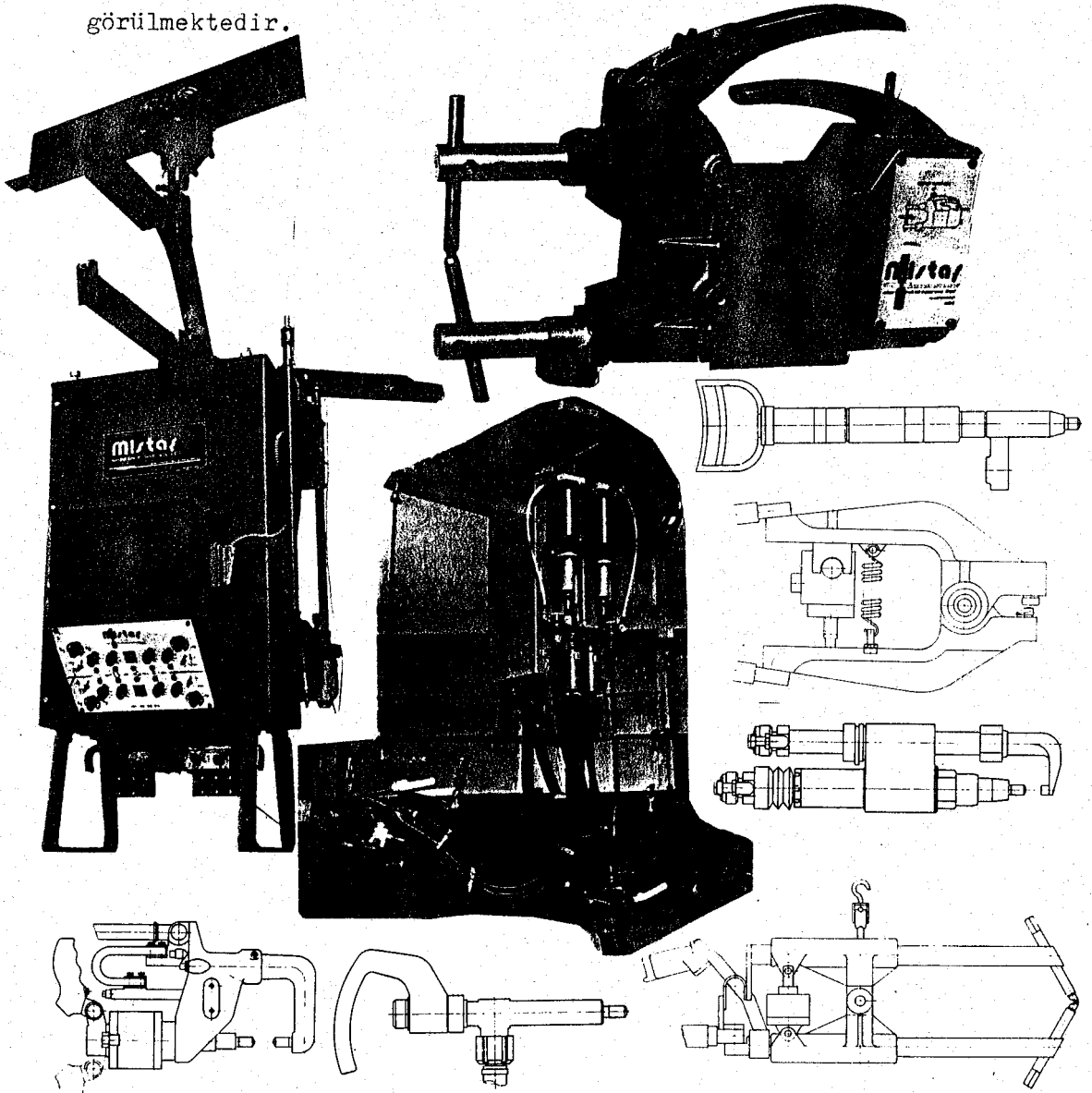
TEKLI NOKTA KAYNAK MAKİNALARI

Şekil I.12. - de pres türü nokta kaynağı makinası görülmektedir.



Şekil I.12. - Pres türü nokta kaynağı makinası.(27)

Pres türü nokta kaynak makinaları; vagon, otomobil ve gemi gibi ağır imalâtlar için hareketli ve sabit olarak iki üniteden oluşturulmaktadır. Hareketli kaynak makinalarına; kaynak pensesi, portatif kaynak başlığı veya nokta kaynak tabancası adı verilir. Bunlar enerji kaynağı ile irtibatlandırılmıştır. Şekil I.13. - de muhtelif hareketli kaynak makinaları ve portatif kaynak başlıkları görülmektedir.



Şekil I.13. - Çeşitli tipte hareketli kaynak makinaları ve portatif kaynak başlıkları.(28)

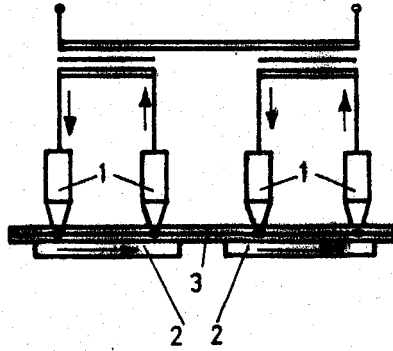
Hareketli kaynak makinaları büyük hacimli iş parçalarının kaynatılmasının yanında, ince saç uygulamalarından otomotiv endüstrisinde karoseri imalâtı, buzdolabı, çamaşır makinası vb. imalâtlarda kullanılmaktadır.

1.7.1.2. - Çoklu Nokta Kaynak Makinaları

Çok noktalı kaynak, imalât zamanını kısaltmak için parça üzerinde yapılacak tüm kaynak noktalarının bir defada gerçekleştirildiği bir kaynak yöntemidir. Çoklu nokta kaynak yöntemiyle 600 nokta/dakika hızlara kadar ulaşılabilir. Bu tür hızlı çalışma, kaynak makina ve donatımları, aynı biçim birleştirmelere uygun olduğundan, tek amaçlı makinalar olarak adlandırılmaktadır.

Bu tip makinalar, devamlı olarak aynı parçaları imâl eden fabrikalarda kullanılır ve buna göre özel şekilde hazırlanırlar. Aynı makinada başka parçaların kaynaklanması için makinada önemli değişikliklerin yapılması gerekir.

Çoklu nokta kaynak makinaları hidrolik veya hava basıncından faydalanarak çalışırlar. Elektrodlar bir çerçeve veya tutamağa yerleştirilir. Mandrel veya milden hareket alarak işlem yaparlar. Şekil I.14. - de indirekt, çok noktalı bir kaynak yöntemi gösterilmiştir.



Şekil I.14. - İndirekt çok noktalı kaynak yöntemi.(9)

(1 - Elektrodlar, 2 - Bakır altlıklar, 3 - İş parçaları.)

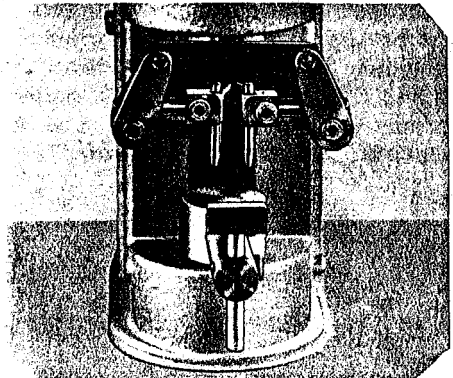
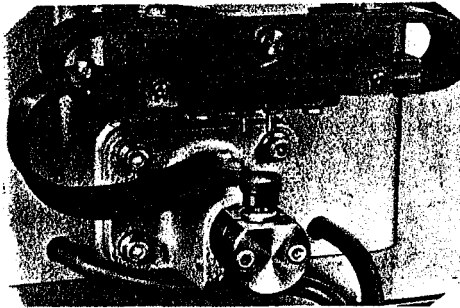
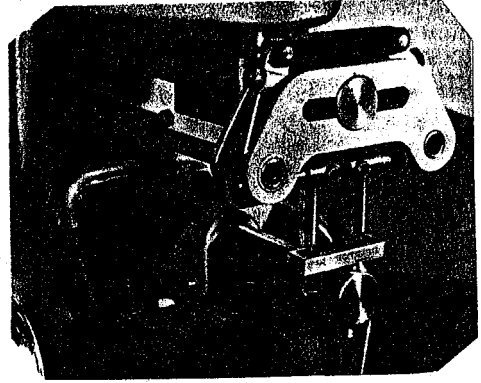
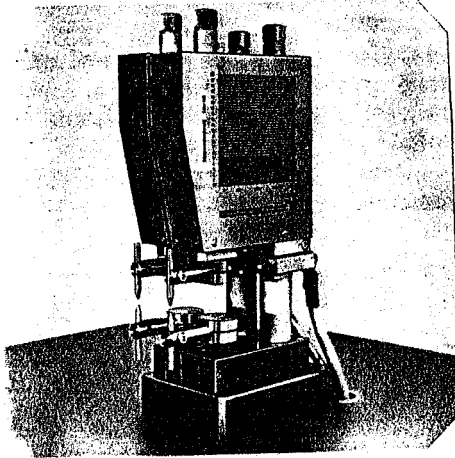
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇOKLU NOKTA KAYNAK MAKİNALARI

Şekil I.14. - de dörtlü nokta kaynağı aynı transformotörden aldıkları akımla, aynı anda hareket ederek kaynak işlemini yapmaktadır.

Bütün elektrodlar basınç altında yavaş olarak iş parçasına yaklaşırlar. Elektrodların soğutulma işlemide eşit olarak yapılır. Bu tür kaynakların yaygın kullanılma alanı otomobil endüstrileridir.

Çoklu nokta kaynağı makinalarının mikro tipte olanları da mevcuttur. Şekil I.15. - de hassas parçaların kaynağında kullanılan, çeşitli tipte çoklu mikro nokta kaynak makinaları görülmektedir.



Şekil I.15. - Çoklu mikro nokta kaynak makinaları.(26)

Şekilde görüldüğü gibi, çoklu mikro nokta kaynak makinaları; genel ve özel amaçlara göre hazırlanmaktadır. Özel amaçlara göre hazırlanmış mikro nokta kaynağı ile değişik işleri imâl etmek mümkün değildir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI
DEĞİŞKENLERİ

BÖLÜM II: ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞINA TESİR EDEN FAKTÖRLER

2.1. - Elektrik Direnç Nokta Kaynağı Değişkenleri

Elektrik direnç kaynağı 100 yılı aşkın bir süredir uygulanmaktadır. Bu konuda, düşük karbonlu çelikler için bir çok tavsiyeler ya tablolar yada nokta kaynak şartlarının seçimi hakkında ampirik formüller olarak yayınlanmıştır.

Geçmişte, çok büyük üretimler böyle şartları kullanma vasıtasıyla yapılabilmıştır. Fakat, modern endüstrinin çok fazla değişik ihtiyaçları, daha mukavemetli çeliklerin gelişimi ile uygun kaynakları üretebilecek şartlar değişmiştir. Bunlara ek olarak monitör kullanımı ve gelişimi yada geri beslemeli kontrol sistemleri daha derin bir araştırma ihtiyacını ortaya çıkarmıştır.

Genel olarak, kaynak zamanı uygulama vasıtasıyla bulunabilir. Gereken elektrik gücü; kaynaklanan malzemeye ve iyi sonuçlar veren basma yoğunluğu değerlerinin sağlanmış olduğu üretim şartlarını karşılama derecesine bağlıdır.

Kaynak kalitesi, kısmi olarak ya kaynak mukavemeti yada kaynak boyutu ile izah edilir. Kaynak boyutu malzeme özelliklerinden önemli ölçüde etkilenir ve kaynak değişkenleri aynı zamanda ön faktörlerdir.

Değişkenleri şöylece sıralayabiliriz.

- a - Isı üretimi ve direncin ısı üretimine etkisi.
- b - Elektrodların etkisi.
- c - Isının ayarlanması.
- d - Elektrod basıncının ısı üretimine etkisi.
- e - Akım şiddetinin ısı üretimine etkisi.
- f - Akım süresinin ısı üretimine etkisi.
- g - İş parçasının malzemesi ve direnci.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK DİRENÇ NOKTA KAYNAĞI
DEĞİŞKENLERİ

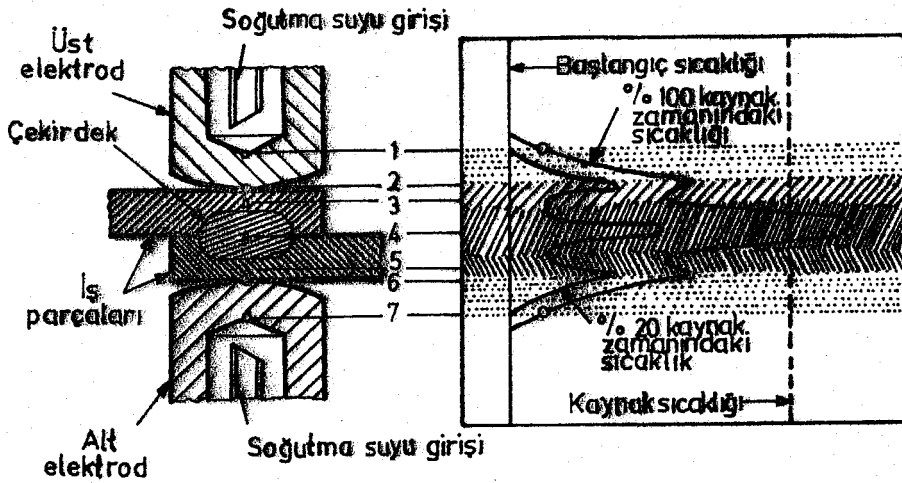
- h - İş parçaları arasındaki temas direnci.
- i - İş parçasının yüzey durumu.
- j - Kaynak noktasında oluşan elektrikî direnç.
- k - Metallerde özgül dirence tesir eden faktörler.
- l - Isı kaybı.
- m - Kaynak bölgesinde direncin değişimi ve çekirdek teşekkülü.
- n - Kaynak kabiliyeti.

2.2. - Isı Üretimi ve Direncin Isı Üretimine Etkisi

Kaynak makinasının sekonder devresi, kaynak edilecek iş parçaları dahil olmak üzere, akımın akışını etkileyen bir seri dirençtir. Amper cinsinden akım şiddeti devrenin bütün noktalarında, o noktalardaki direnç ne olursa olsun, aynı olmalıdır. Bununla birlikte, herhangi bir noktada üretilen ısı, o noktadaki dirençle doğru orantılıdır. Böylece, sekonder devredeki elektrikî sistemler, ısıyı istenilen yerde üretecek ve diğer bölgeleri izafi olarak soğuk tutacak biçimde dizayn edilebilir.

Direnç kaynağının en önemli özelliği hızlılığıdır. Yani bu ısıyı hızlı bir şekilde üretebilmesidir. Üretilen ısının ve ısı kayıplarının, elektrodları ve iş parçalarını kapsayan kısma yaptıkları bileşke etki, Şekil II.1. - de gösterilmiştir. İki levhanın tek nokta ile kaynağında seri olarak yer almış yedi adet etkin direnç mevcuttur. Nokta kaynağındaki ısı üretiminde tesiri olan bu dirençler sıra ile şunlardır.

- 1 - Üst elektrod direnci.
- 2 - Üst elektrod ile üst levha arasındaki temas direnci.
- 3 - Üst levhanın direnci.
- 4 - Üst levha ile alt levha arasındaki temas direnci
- 5 - Alt levhanın direnci.
- 6 - Alt levha ile alt elektrod arasındaki temas direnci.
- 7 - Alt elektrod direnci.



Şekil II.1. - Nokta kaynağında dirençler ve sıcaklık gradyanı.(6)

Isının tamamı birleşme yeri olan özel bir noktada oluşmaz. Isı Şekil II.1. - de görüldüğü gibi yedi bölgenin herbirinde, bu bölgelerin dirençleri ile orantılı olarak üretilmektedir. Bununla beraber, kaynak ısısının yalnız 4 düzleminde oluşması istenir. Diğer bütün noktalarda ısıyı mümkün olduğu kadar azaltmak için çalışılır. Kaynağın başlangıcında bütün noktalardaki sıcaklık başlangıç sıcaklığı adı verilen düşey çizgi ile belirtilmiştir. En büyük direnç 4 düzleminde ve bu yüzden ısı, bu bölgede çok daha hızlı teşekkül eder. Bundan sonra gelen büyük dirençler, 2 ve 6 bölgelerindeki dirençlerdir. Sıcaklık bu noktalarda da hızla artar. Ancak artma hızı 4 düzlemindeki kadar yüksek değildir. Kaynak için gerekli toplam zamanın küçük bir kesrinden sonra, sıcaklık gradyanı soldaki eğri ile temsil edilebilir. (% 20 kaynak zamanına tekabül eden eğri) 2 ve 6 düzlemlerinde üretilen ısı, bu düzlemler ile temas halinde bulunan 1 ve 7 su soğutmalı elektrodalara doğru hızla iletilir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ISI ÜRETİMİ VE DİRENCİN ISI
ÜRETİMİNE ETKİSİ

4 düzleminde teşekkül eden ısı, bu bölge kısmen korunmuş olduğundan daha yavaş kaybedilir. Sonuçta, kaynak zamanı ilerledikçe, 4 düzlemindeki sıcaklığın artma hızı 2 ve 6 düzlemlerine nazaran çok daha yüksek olur. Kaynak sıcaklığı şekilde düşey kesikli çizgi ile gösterilmiştir. İyi bir şekilde kontrol edilen kaynak işleminde, kaynak sıcaklığına önce 4 düzlemindeki küçük noktalarda erişilecek ve zaman ilerledikçe bu bölge bir kaynak dikişi teşkil edecek şekilde büyüyecektir.

Verilen bir akım değeri için, birim zamanda kaynakta teşekkül eden ısı miktarını etkileyen faktörleri şöyle sıralayabiliriz:

- a) Kaynak edilen malzemenin direnci.
- b) Elektrod malzemesinin direnci.
- c) İş parçaları arasındaki temas direnci.
- d) İş parçaları ile elektrodlar arasındaki temas dirençleri.

2.3. - Nokta Kaynağında Elektrodların Etkisi

Temel olarak elektrodların fonksiyonları:

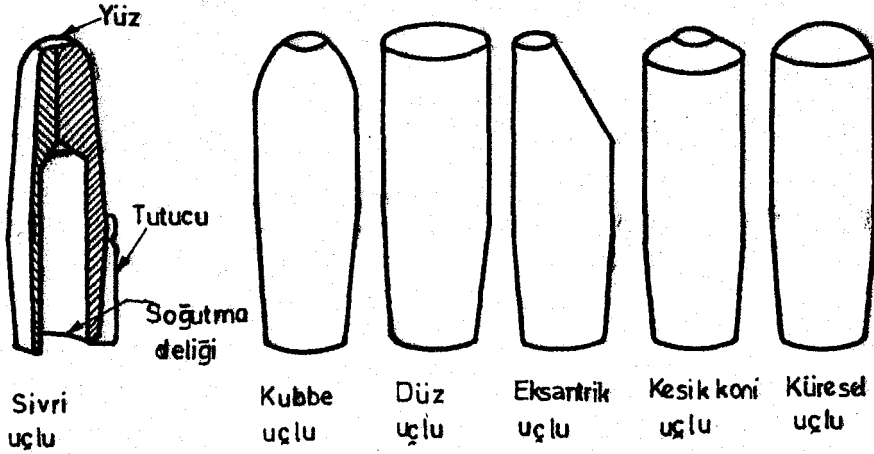
- Temas ederek istenen kaynak akımını kaynak alanına iletmek.
- Levhalara gerekli baskının yapılması.
- Kaynak çevresine fazla ısının yayılmasını önlemektir.

Nokta kaynağında kullanılan elektrodlardan başlıca şu özellikler beklenir:

- Yüksek elektrik ve ısıl iletkenlik.
- Yüksek mekanik dayanım, yüksek sıcaklıkta sertlik.
- Kaynak noktasında yapışma eğiliminin olmaması.
- Kaynak amacına uygun bir uç biçimi ve bu kısmın mutlak soğutulma emniyeti.

Nokta kaynağının kalitesinde, elektrodların geometrik şekil ve özelliklerinin büyük bir etkisi görülmektedir. Uygulamalarda uygun elektrod seçilmeme halinde hatalar meydana gelmektedir.

Elektrodun geometrik şekil ve boyutları; ısıl iletkenliği, akım yoğunluğu, temas direnci ve kaynak noktası için öngörülen boyutlara göre seçilmektedir. Elektrod temas yüzeyleri kaymak konumuna göre tespit edilir. (Şekil II.2.)



Şekil II.2. - Nokta kaynağında kullanılan standart elektrodlar.(19)

Uç biçimi düz elektrodlar, özellikle yüzeyleri düz ve temiz çelik levhalar ile Fe - olmayan metaller için uygundur.

Konik uç biçimli elektrodlar, okside olmuş ve yüzeyleri kavlanmış levhaların kaynağında işlemi kolaylaştırır.

Eksantrik elektrodlar, merkezi elektrodların yanasma imkânı bulamadığı köşe kaynakları içindir.

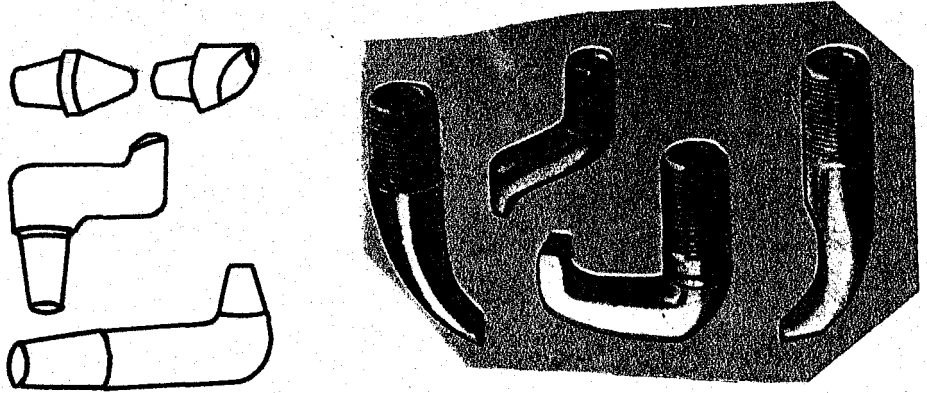
Küresel uçlu elektrodlar kullanıldığında, elektrod temas yüzeyinin iş parçası yüzeylerine paralel olarak, hassas bir biçimde

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

NOKTA KAYNAĞINDA ELEKTRODLARIN
ETKİSİ

ayarlanması gerekmez. Bu sebeple küresel uçlu elektrod, üst elektrodun dairesel hareket yaparak iş parçasına yaklaştığı kaynak makinalarında rahatlıkla kullanılabilen bir elektrod tipidir. Bu elektrod mükemmel bir sıkıştırma ve iş parçası yüzeylerinde kaynak sonrası daha iyi bir görünüm sağlar. Soğuma hızları daha yüksektir. Bu sebepten iyi iletken metaller (Al ve Cu) ve alaşımlarının kaynağında kullanılır.

Nokta kaynağı uygulamalarında standart elektrodlar dışında özel elektrodlardan da faydalanılmaktadır. (Şekil II.3.)

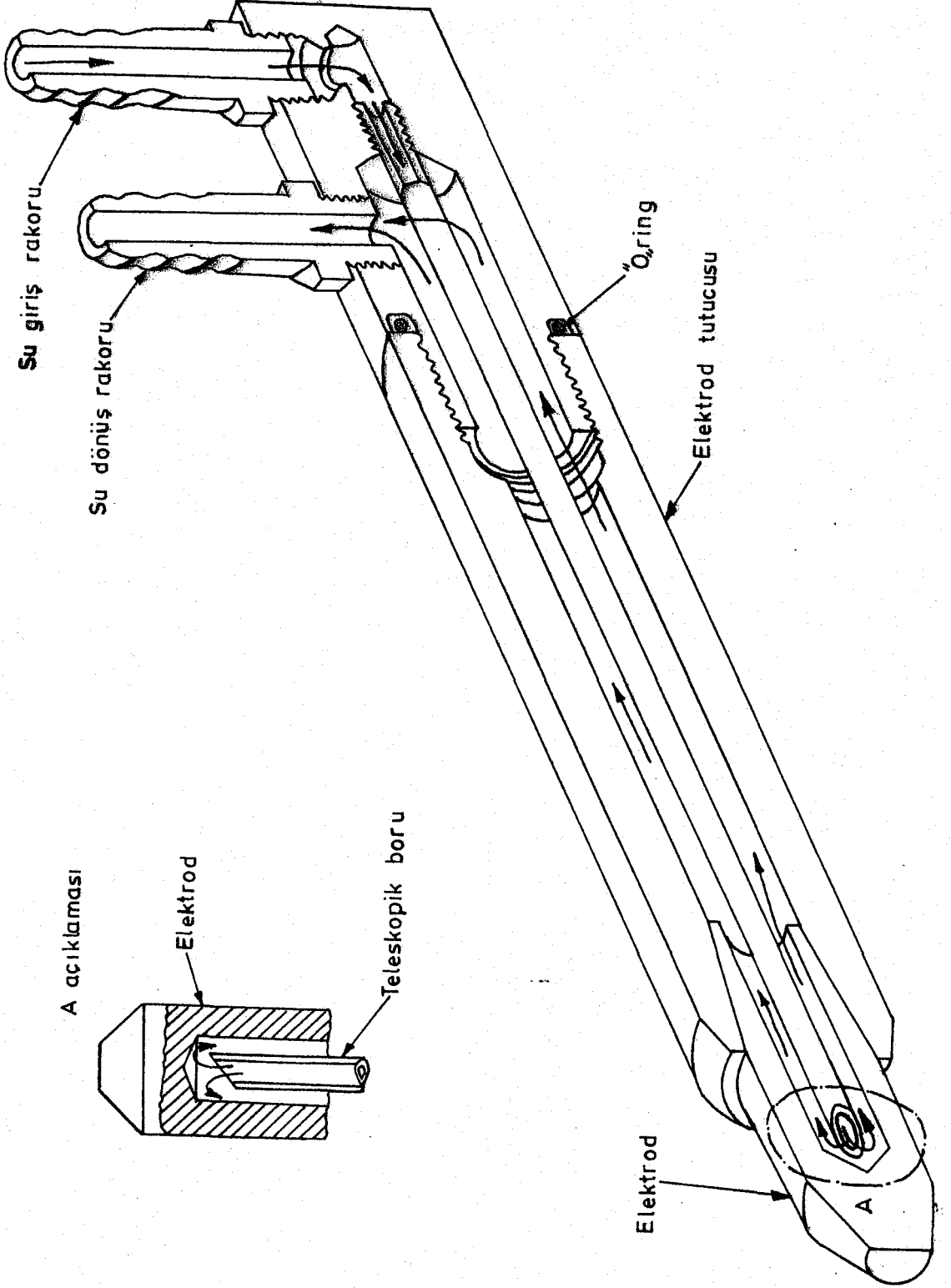


Şekil II.3. - Standart elektrodlardan, uygulama ihtiyaçlarına göre ayarlanmış elektrodlar.(29)

Kaynak esnasında, elektrod trodların uç şeklinin bozulmaması ve kaynak alanının en kısa zamanda soğutulabilmesi için elektrodlar içerisindeki kanallardan su dolaştırılır. Elektrodlar yerlerine vidalı veya konik olarak bağlanırlar. (Şekil II.4.)

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

NOKTA KAYNAĞINDA ELEKTRODLARIN
ETKİSİ



Şekil II.4. - Elektrod ve tutucusu.(27)

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

NOKTA KAYNAĞINDA ELEKTRODLARIN
ETKİSİ

Şekilde görüldüğü gibi teleskopik borunun ucu 45° ilâ 60° eğik kesilerek su sirkülasyonu direnci azaltılır. Düz kesildiği takdirde boru boyuda uzunsa elektroda değerek su geçiş kesidi tıkanır. Buda elektrod ömrünün azalmasına sebep olur. Ayrıca teleskopik su sevk borusunun içinin kireçten veya su tortularından arınmış olmasına dikkat edilmelidir.

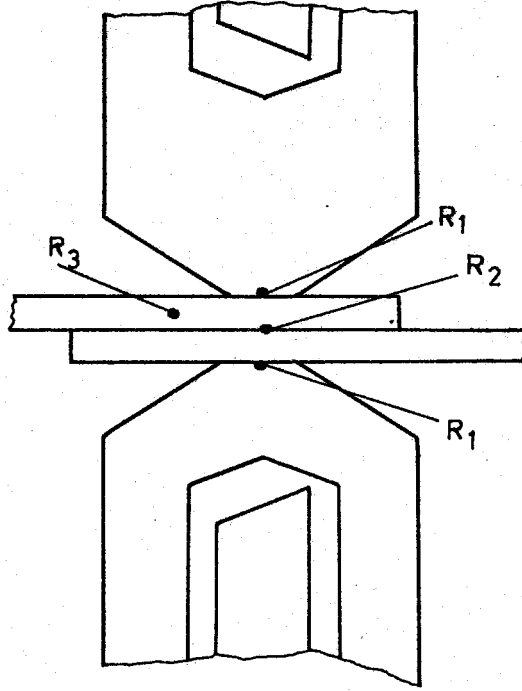
Yetersiz veya hatalı soğutma, elektrodların yüksek sıcaklıklara kadar tavlamaına sebep olabilir. Bu durumda elektrod kuvvetinin de etkisi ile, uç şeklinin yassılaşıma süresi kısalmaktadır. Misâl olarak; 5 mm uç çapına sahip bir elektrodun, kaynak sonucunda 10 mm uç çapına kadar büyümesi (Mantar biçimini alması) temas edeceği yüzey sebebi ile pratik olarak çektiği akım azalır. Ancak, bu durumlarda akımın değeri yükseltilerek kaynağın zayıf yapılması önlenir. Kaynağın iyi netice vermemesinin sebepleri ise; elektrodların aynı doğrultuda olmaması, elektrodların levhalara yaptıkları baskının eşit olmaması, elektrod yüzeylerinin mantarlaşması veya konkav ve konveks olmaları gibi faktörler olabilir.

Yöntem olarak, her işte yapılacak nokta kaynağı sayısı ve malzemelerin araştırılması önceden planlanarak yapılması gereklidir. Levhaların kaynatılacak yüzeyleri temizleme işlemine tabi tutularak tam bir geçirgenlik ortamı oluşturulmalıdır. kalın levhalardaki çapak ve artıkların elektrod baskısının tam ve bozulmaması için temizlenmesinde yarar vardır. Elektrodların deforme olması ile kaynaktaki verimde o oranda düşerek istenilen amaca erişilmez. Bu gibi durumlarda elektrod ya tamir edilir veya tamir edilme imkânı yoksa yenisi takılmalıdır.

Normal nokta kaynağında genellikle görünen yüzeyler için, yavaş basınç sistemi uygulanmalıdır. Böylece kaynak alanında fazla bir renk değişimi olmaz. Bunun için daha büyük yüzey alanı olan elektrodlar kullanılarak kaynak yerindeki renk oluşumu minimuma iner.

2.3.1. - Nokta Kaynağı Elektrod Malzemeleri

Genel olarak kabul edilmelidir ki; verimli bir direnç kaynağı gerçekleştirilmesi için belirli yolları takip etmek gerekir. Şekil II.5. - tipik bir nokta kaynağı kesitini vermektedir. Bu şeklin incelenmesi sistemde beş ana direnç noktası olduğunu gösterir.



Şekil II.5. - Nokta kaynağı uygulamasının tipik şematik gösterilişi.(17)

R_1 elektrod ve levha arasındaki dirençtir. Bu direnç (R_1):

- Elektrod malzemesinin cinsine,
- Kaynak edilen levhanın yüzey şartlarına,
- Elektrod basıncına bağlıdır.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

NOKTA KAYNAĞI ELEKTROD
MALZEMELERİ

Direnç R_2 kaynak edilen malzemenin yüzeyi ile elektrod basıncına bağlıdır.

$Isı = I^2 \cdot R \cdot t$ formülünü göz önüne alırsak şunu görürüz ki; her kesitten geçen akım aynıdır. Geçen akım süreside aynıdır. Aynı şekilde ısı direncin bir fonksiyonudur. Yumuşak çeliği kaynatırken iç yüzey R_2 -deki sıcaklık yaklaşık olarak $1500^\circ C$ -ye ulaşmaktadır. Yapılan deneyler göstermiştir ki; iç yüzey R_1 -deki sıcaklık $800^\circ C$ -ye ulaşır ve elektrodun ömrünü bu sıcaklık etkiler. Bir elektrodun ömrünü etkileyen diğer faktörler:

- Akımın (ısıtmanın) geçiş süresi.
- Uygulanan basınç.
- Elektrodun mekanik deformasyonu.
- Elektroddaki herhangi bir soğutmanın etkisi.
- Elektrod malzemesinin sertliği.
- Elektrod malzemesinin ısıya karşı koyma kabiliyetidir.

Direnç kaynağı elektrodları için malzemelerin seçiminde göz önüne alınması gereken ana faktörler, elektrik iletimi ve ısıtıldığı zaman bu elektrik iletimini devam ettirme kabiliyetidir. Saf bakır mükemmel bir iletkenidir dolayısıyla açık çözüm bakırdır. Bakır kullanımı tatmin edici kaynak şartları oluşturur. Direnç kaynağında, seri imalât teknikleri kullanılmadığı zamanlarda elektrod ömrü ile ilgili problemler yoktu. Bu yüzden bakır elektrodlar, üstün mekanik özellikleriyle beraber, yeterli elektrik iletkenliğine sahip malzemeler elde edilinceye kadar direnç kaynağı elektrodu olarak kullanılmıştır. Daha yüksek akım şiddeti, daha yüksek basınç ve daha büyük kaynak hızı kullanan yöntemlerin gelişmesi saf bakırın elektrod malzemesi olarak kullanılmasını durdurmuştur.

Motorlu arabaların basınçlı kaporta yapımı gerektiğinde ana değişimlere gerek duyuldu ve tek mantıklı imalât sistemi direnç nokta kaynağı idi. Bakırın bir direnç kaynağı elektrodu olarak

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

NOKTA KAYNAĞI ELEKTROD
MALZEMELERİ

kullanımı demekti ki:

Nokta kaynağı operatörü elektrod ucuna yeni bir şekil vermeden en fazla 100 kaynağa kadar bu elektrodu kullanabilir. Modern bir otomobilde 18000 nokta kaynağı gerekebilmektedir. Bu açıkça gösteriyor ki 100 kaynaklık elektrod yeterli değildir.

Saf bakırın uygun gelişmiş nokta kaynağı için elektrod olarak uygun malzeme olmadığı kabul edilmiş olmasına rağmen, bakır, elektrod malzemesi içinde bulunması gereken temel bir maddedir.

Soğuk çekilmiş bakırın esas zorluğu, bunun statik ve dinamik basma kuvvetlerine karşı düşük mukavemeti ve düşük tavlama sıcaklığıdır. Saf bakırın bu istenmeyen özelliklerini ortadan kaldırmak için daha iyi fizikî ve mekanik özelliklere sahip bir seri bakır alaşımı geliştirilmiştir.

Genel olarak alaşımın sertliğinin artması, elektrikî ve ısıl direncini artırır. Bu sebeple, herhangi bir uygulama için belirli bir alaşımın seçimi onun mekanik özelliklerine göre değişen ısıl ve elektrikî özelliklerinin esas alınması ile gerçekleşir. Misâl olarak, alüminyumun kaynağı için kullanılan elektrodlar, yüksek basma mukavemeti yerine yüksek iletkenliğe sahip olmalıdır. Diğer taraftan, paslanmaz çeliğin kaynağı için kullanılan elektrodalarda maksimum basma mukavemeti elde etmek için yüksek iletkenlikten fedakârlık edilmelidir.

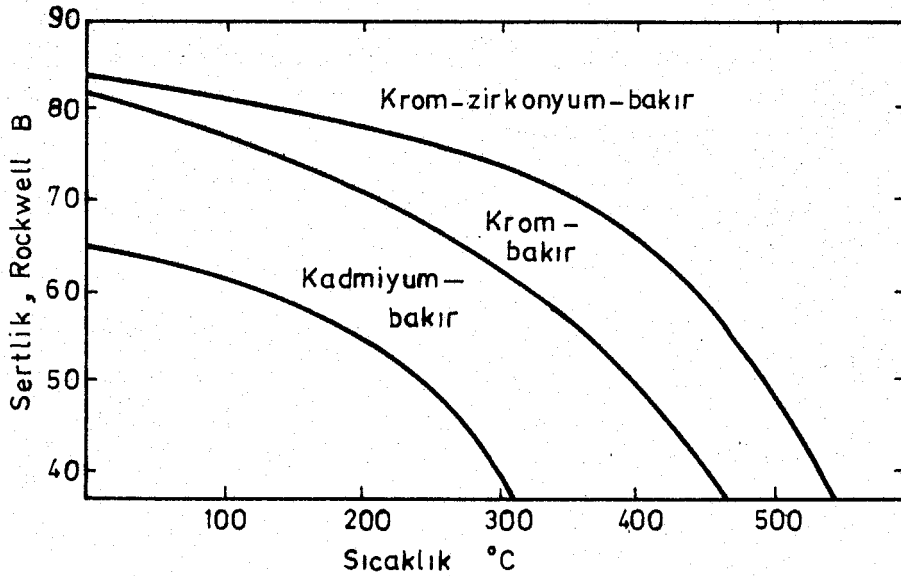
Saf bakırdan bakır alaşımına geçilmesi için yapılan ilk aşama % 1- lik kadmiyum alaşımı olmuştur. Bu alaşım elektrodun sertliğini, yumuşama derecesini arttırmış ama halâ yüksek iletimini korumuştur. Kadmiyumla bakırın sertliğinin artmasında alaşımın etkisi olmuştur. Ama buna rağmen malzemedeki esas sertlik soğuk çalışma ile oluşmuş ve bu sertlik düşük ısılarda gevşemiştir. Bu yumuşama zaman ve ısının fonksiyonudur.

Bir çok alaşım kombinasyonları göz önüne alındığı zaman kromla bakır kombinasyonunun en pratik olduğu anlaşılmıştır. % 1- lik krom-bakır alaşımı başarı ile yıllarca kullanılmıştır ve halâ

yumuşak çelikten yapılan nokta kaynağının elektrodları için esastır. Bununla birlikte kaynak makinalarının ve işlerin komplike olması elektrodların doğrultulmasını zorlaştırmaktadır.

Bunun sonucu krom-bakır ile başarılmanın daha üstünde gelişmenin gerektiğidir. Kaynak parametrelerinin incelenmesi göstermiştir ki iletkenlik ve sertlik en önemli parametreler olurken muhtemelen en önemlisi yumuşama ısısıdır. Bu yumuşama ısısında yükselmiş ısıda malzemenin sertliği ile beraber artmaktadır. Bu son faktörde yeni gelişmelere sebep olmuştur. Isıdaki sertliğin ana faktör olduğu anlaşıldıktan sonra deneyler göstermiştir ki; krom-bakır sistemindeki zayıf bağlantı sistemi malzemenin ufak tane sınırlarıdır. Yapılan çalışmalarla zirkonyumun ikili sisteme ilâvesi tane sınırlarındaki kuvvetlerin artmasına sebep olmuştur. Sonuçtaki üçlü alaşım, bakır esaslı % 1 krom ve % 0.1 zirkonyum ilavesi ile olmuştur. Bu alaşım % 1- lik krom alaşımı ile aşağı yukarı aynı oda sıcaklığında aynı özellikleri vermiştir. Ancak yükselen sıcaklık, özellikleri farkedilebilecek şekilde değiştirmektedir.

(Şekil II.6.)



Şekil II.6. - Üç değişik elektrod alaşımının sertliklerinin mukayesesi.(17)

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

NOKTA KAYNAĞI ELEKTROD
MALZEMELERİ

Şekil kadmiyum-bakır, krom-bakır ve krom-zirkonyum-bakır ile ulaşılan ısılardaki değişik sertlikleri göstermektedir.

% 1 krom-bakır elektrodlar 2000 kaynağa kadar kaynak imkânı verirler. En son % 1 krom, % 0.1 zirkonyum-bakır alaşımı elektrodlar tekrar düzeltme yapmadan 2500 kaynağa kadar dayanabilirler.

Elektrod alaşımları her şart altında iletken olmalıdır. Bakiroksit ve kromoksit erime oksitleri olarak davranmazlar. Ama zirkonyumoksit yüksek elektrikî direnci ile bir erime maddesidir. Sonuç olarak; eğer krom ve zirkonyum katılmış bakır elektrod zayıf akım şartlarında kullanılmış ise zirkonyum metali oksitlenebilir, zirkonya oluşturur. R₁ kaynak yüzeyinde zirkonya oluşur. Buda temas direncinde artışa sebep olur. Bu elektrodun ısınmasını arttırır ve aynı anda daha fazla oksidasyona sebep olur. Dolayısıyla bu elektrodlar, orijinal % 1 krom-bakır elektrodlarından daha az ömürlü olmaktadır. Bununla birlikte günümüzde yumuşak çeliğin nokta kaynağı için kullanılan ana alaşımlar ya % 1 krom-bakır veya % 1 krom % 0.1 zirkonyum-bakır alaşımıdır.

Aşağıda elektrod alaşımlarını ve özelliklerini bir arada gösteren iki değişik tablo verilmiştir

Alaşımin cinsi	Brinell sertliği (kg/mm ²)	İletkenlik (% saf bakır)	Yumuşama sıcaklığı (°C)
Bakır(soğuk çek.)	95	90	150
Tellür-bakır	100	90	175
Kadmiyum-bakır	110	85	250
Krom-bakır	150	80	500
Tungsten-bakır	200-300	30	1000

Tablo II.1. - Nokta kaynağında kullanılan bazı alaşımlar ve özellikleri.(19)

Malzeme	Bileşim (%)	Elektrik İletkenliği ($m \cdot mm^{-2} \cdot \Omega^{-1}$)	Brinell Sertlik ($daN \cdot mm^{-2}$)
Elektrolitik bakır	99,9 Cu	56	85 - 105
Gümüş - Bakır	2-8 Ag	50 - 29	80 - 120
Kadmiyum - Bakır	0,9-1,2 Cd	50 - 45	100 - 120
Krom - Bakır	0,7 Cr	47	150 - 170
Berilyum - Bakır	0,6-1,3 Be, 0,3 Ni, 0,06-0,29 Cr.	53 - 30	136 - 290
Wolfram - Bakır	55-60 W	25 - 22	225

Tablo II.2. - Nokta kaynağında kullanılan bazı elektrod malzemeleri ve özellikleri.(1)

Tablolarda kullanılan elektrodlara ait malzemeler ve özellikleri bir arada verilmektedir. Verilen bu malzemelerden elektrolitik bakır, yüksek elektrik ve ısı iletkenliğe sahip olduğundan, hafif metallerin kaynağında tercih edilir.

Gümüş-bakır, kadmiyum-bakır ve krom-bakır esaslı elektrodlar elektrik iletkenliklerinin yanında, sertlikleri ile de tanırlar. Daha sert özelliğe sahip berilyum-bakır elektrodlar ise, yüksek elektrik dirençli sert malzemelerin kaynağı için tavsiye edilir.

Wolfram-bakır ve molibden-bakır esaslı elektrodlar, genellikle gümüş, bakır ve farklı metal çiftlerinin birleştirilmesinde, yüksek kaynak değerleri ile çalışılma şartlarında, seri işlemlerde tavsiye edilmektedir.

2.3.2. - Elektrod Uç Çapının Tayini

Malzeme cinsine bağlı olmaksızın, sadece malzeme kalınlığına bağlı olarak kaynak çekirdek boyutunu gösteren çeşitli formüller tavsiye edilmiştir. Kaynak çekirdek çapının yaklaşık olarak elektrod uç çapına eşit olması genel olarak kabul edilen bir husustur.

Elektrod uç çapıyla kaynak edilecek levha kalınlığı arasındaki ilk ilişki Leng tarafından verilmiştir. Leng nokta kaynaklarıyla perçinler arasında bir bağıntı kurmuştur ve elektrod uç çapı için aşağıdaki formülü vermiştir.

$$d = (1,6 \cdot t + 0,1)$$

d= Elektrod uç çapı

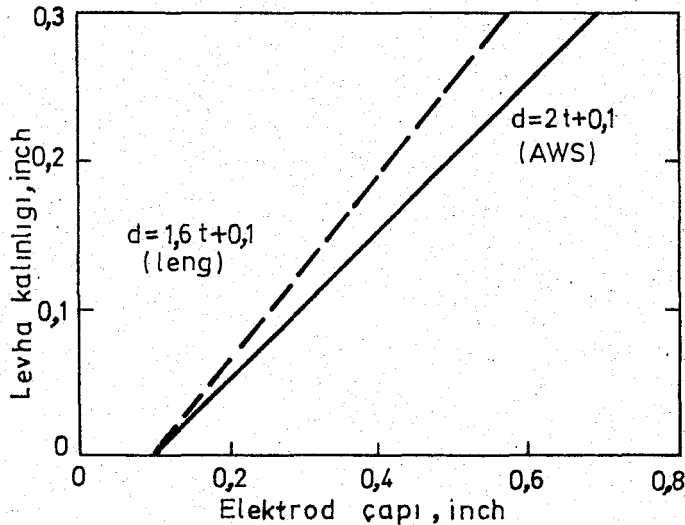
t= Levha kalınlığı (inch)

Bu formülün 2,5-7,5 mm kalınlıktaki levhalarda uygunluk sağladığı görülmüştür.

AWS ve bir çok Amerikan araştırmacı ise aşağıdaki formülleri sürmüştür.

$$d = (2 \cdot t + 0,1)$$

Şekil II.7. - de Leng ve AWS arasındaki bağıntı gösterilmiştir.



Şekil II.7. - Leng ve AWS tarafından verilmiş, elektrod uç çapı ve levha kalınlığı arasındaki bağıntı (16)

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTROD UÇ ÇAPININ TAYİNİ

Araştırmacı Tucker 10 mm-ye kadar olan levhalarda aşağıdaki formülü vermiştir.

$$d = 5\sqrt{s} \quad (\text{mm})$$

$$d = \sqrt{t} \quad (\text{inch})$$

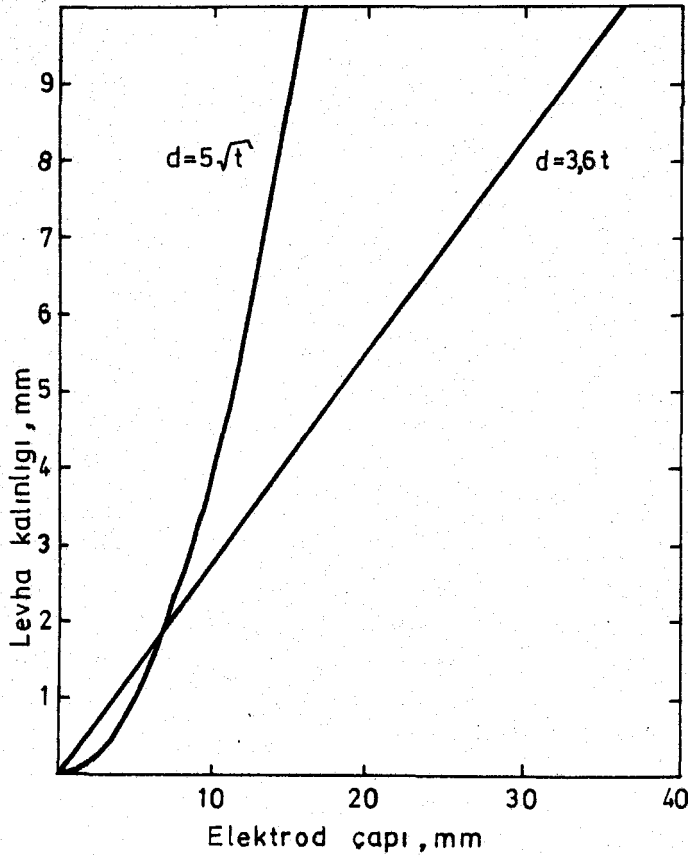
Janota ise, $d = k.s$ şeklinde bir formül vermiştir.

$k = 3,6-4$ alınabilir.

Ayrıca Okuda adındaki araştırmacı 5-25 mm kalınlığındaki levhalar için,

$$d = \frac{5}{3} . s + 7$$

formülünü ileri sürmüştür.



Şekil II.8. - Tucker ve Janota'dan sonra kaynak boyutlarının mukayesesi. (16)

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTROD UÇ ÇAPININ TAYİNİ

Ayrıca, levha kalınlığına ve malzemeye bağlı olarak elektrod uç çapları aşağıdaki gibi seçilir:

a) Sivri, kubbe, düz, eksantrik ve kesik koni uçlu elektrodlar için:

$$S \leq 3 \text{ mm için } d_e = 5 \sqrt{s}$$

$$S > 3 \text{ mm için } d_e = 2.s + k$$

$$S > 7,5 \text{ mm için } k=2$$

$$S < 7,5 \text{ mm için } k=3$$

Burada, s , mm olarak bir levhanın kalınlığı, d_e , mm olarak elektrod uç çapıdır.

b) Küresel uçlu elektrodlar için:

r (mm) küresel ucun yarıçapı olmak üzere,

$$r = k_1.s + k_2$$

Burada, s , mm olarak bir levhanın kalınlığı, k_1 ve k_2 levha malzemesine bağlı sabitlerdir. Değerleri:

Yumuşak çelik ve paslanmaz çelik saçlar için,

$$k_1 = 20 \text{ mm} , k_2 = 50 \text{ mm}$$

Alüminyum alaşımları için,

$$k_1 = 60 \text{ mm} , k_2 = 20 \text{ mm}$$

Mağnezyum alaşımları için,

$$k_1 = 70 \text{ mm} , k_2 = 40 \text{ mm.}$$

olarak alınmaktadır.

2.3.3. - Elektrodların Kullanılma Özellikleri

Elektrik direnç nokta kaynağı elektrod malzemesinin seçimi direnç kaynağındaki bütün problemlerin üstesinden gelemez. İyi sonuçlara sadece belirli ana kurallara dikkat edilirse ulaşılır. Bu kurallar direnç kaynağı için yapılması gerekenler ve yapılmaması gerekenler şeklinde düzenlenmiştir.

Yapılması Gerekenler.

- 1- Bilinen bir malzeme kullan.
- 2- Mümkün olduğu kadar standart elektrod tipleri kullan.
- 3- Kaynak yapılan malzemenin kalınlığına uygun doğru uç çapını kullan.
- 4- Elektrodun daha kolay hareket edebilmesi için üzerine ince bir yağ tabakası koy.
- 5- Su hortumunu doğru bir yere sok.
- 6- Su akışını kontrol et.
- 7- Su tübünü elektrod deliğinin altından yerden 6 mm kadar yukarıda tut.
- 8- Su soğutma tübünün ucunu öyle bir açıda tutturunuz ki; ucu tıkanmasın
- 9- Kaynak kalitesinin yeterli bir seviyede olması için nokta kaynak elektrodlarını sık sık düzelt.
- 10- Elektrodları ve tutucuyu yerleştirmek için lastik maşa kullan.
- 11- levhanın kalınlığına uygun kaynak makinası kullan.

Yapılmaması Gerekenler.

- 1- Nokta kaynağı elektrodunu yapıştırma.
- 2- Büyük kalınlıktaki levhalar için küçük uçlar kullanma.
- 3- Elektrodların vidalı veya kademeli konik yuvalarda uzun süreler için boşa kalmasına izin verme.
- 4- Su bağlantılarının kırılmasına ve su sızdırmasına sebep olma.

- 5- Soğutma suyu ayar tübünün sıkışmasına izin verme.
- 6- Suyun tam basınçta döndürülmesini unutmayın.
- 7- Elektrodları yerleştirmek için boru anahtarını kullanma.
- 8- Su bağlantılarının sızdırmazlığının sağlanmasında beyaz kurşun veya benzeri bileşikler kullanma.
- 9- Elektrodların uzun müddet temizlenmemesinden oluşan mantarlaşmaya izin verme.
- 10- Elektrodları sabitlemek için çelik çekiç kullanma.

2.4. - Isının Ayarlanması

Uygun bir ısının ayarlanmaması kaynak alanında anormal bir ısı oluşumuna sebep olur. Eğer eşit bileşimde ve kalınlıkta iki levha, eşit kütle ve biçime sahip elektrodlarla birleştirilirse, ısı her parçada aynı değerde belirlenerek, kaynak oval biçimde birleşmeyi oluşturur. Bu şartlar mevcut ise ısı ayarlanmış durumdadır. Bununla beraber levhaların birisinin diğerinden farklı kalınlıkta olmasında ise elektrikî direnç kalın levhada ince levhaya oranla daha fazla olduğundan kaynak istenilen nitelikte olmaz.

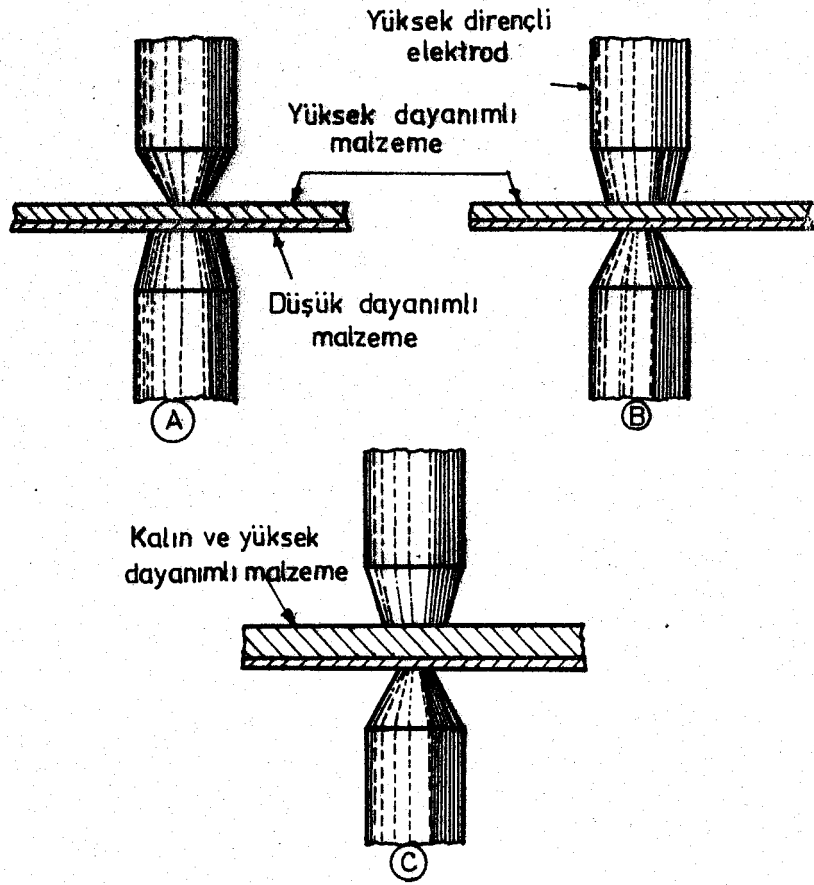
Paslanmaz çelik ve orta karbonlu çelik gibi, farklı iki metal kaynak edildiğinde ısının ayarlanması, ya yüksek dirençli paslanmaz çelik tarafındaki elektrod temas alanını arttırarak veya düşük dirençli karbonlu çelik tarafında, daha yüksek dirençli elektrod kullanarak sağlanır.

Isının kaynak biçimine göre düzenlenmesinde elektrodların geometrik şekilleri, değişik elektrod gereçleri kullanmak veya iki levhanın kalınlıklarının yer değiştirilmesi önemli birer faktör olabilir.

Farklı kalınlığa sahip levhaların birleştirilmesinde, yüksek kalınlık oranlarında, soğutulmuş elektrodun ince parça tarafında arayüze daha yakın olması sebebiyle, arayüzeyde yetersiz ısı oluşumuna doğru temayül vardır. Isının ayarlanması, ince levha tarafında daha küçük temas alanına sahip elektrod kullanarak

daha fazla akım yoğunluğu elde etmek ve dolayısıyla kaynak zamanını kısaltmak suretiyle gerçekleştirilir.

Şekil II.9. - da farklı metallerin nokta kaynağında ısının ayarlanmasını sağlamak için uygulanan yöntemler gösterilmiştir.



Şekil II.9. - Nokta kaynağında gerekli ısının oluşturulma tekniği.(21)

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTROD BASINCININ ISI
ÜRETİMİNE ETKİSİ

A`da görüldüğü gibi kalın ve yüksek dirençli levhalarda daha az temas yüzeyli elektrod kullanılarak ısı ayarlanmış olur. B`de yüksek dirençli elektrod kullanıldığında levhanın dayanıklı olması ile A`daki durumun tersi olmaktadır. C`de yüksek dayanımlı levhaların birleştirilmesinde daha uygun bir ısının ayarlanması için kalın olan levhada daha büyük temas yüzeyli elektrod kullanılmaktadır.

Isı ayarlamasını etkileyen sebepler şöyledir.

- 1 - Birleştirilecek levhaların izafi geometrileri.
- 2 - Birleştirilecek levhaların izafi ısıl ve elektrikîletkenlikleri.
- 3 - Elektrodların geometrisi.
- 4 - Elektrodların ısıl ve elektrikîletkenlikleri.

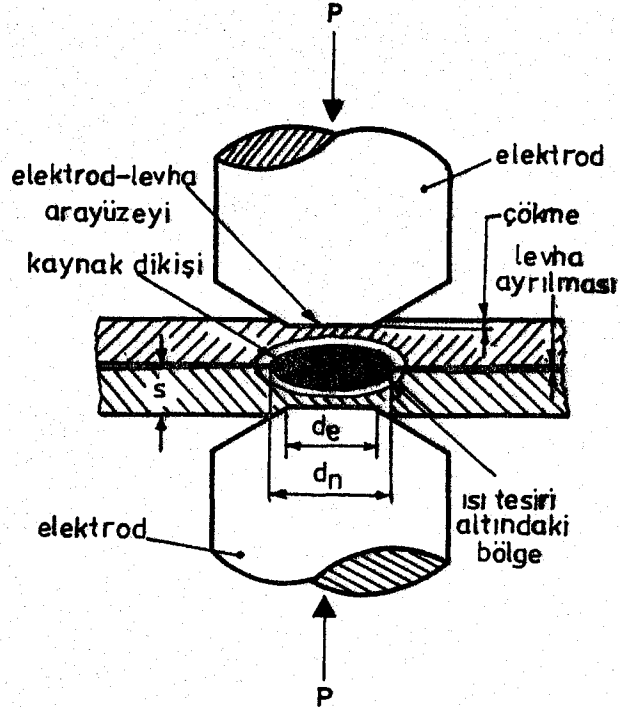
2.5. - Elektrod Basıncının Isı Üretimine Etkisi

Kaynak yapılacak iş parçalarının, akım geçişini sağlayabilmeleri için kaynak bölgesinde bir arada tutulmaları gerekir. Bu basıncın değeri, bir noktaya kadar elektrodlar arasındaki toplam direnci ve kaynak bölgesinden akan akımı etkiler.

Elektrod basıncı kaynak işleminin üç safhasında da önemli bir rol oynar. (Şekil I.3.) Basma safhasında, elektrod basıncı levhalar arasındaki temas direncinin uygun bir değerde, buna karşılık elektrod-levha temas direncinin düşük bir değerde olmasını sağlar. Levhaların elektrodlar altında, belirli bir alanda temas etmesini sağlayarak kaynak noktasının kesin yerini belirler.

(Şekil II. 10)

Kaynak safhasında elektrod basıncının görevi, levhalar arasından 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 sebebiyle ortaya çıkabilecek boşluk, çatlak gibi kusurların oluşumunu engellemektir.



Şekil II.10. - Kaynak dikişinin geometrisi.(9)

(s: levha kalınlığı, d_e : elektrod çapı, d_n : nokta çapı.)

Diğer bütün değişkenler sabit iken, basınç arttırıldığında akım artar ve basınç azaltıldığında akım da azalır. Bununla beraber üretilen toplam ısı üzerindeki etki değişebilir. Basıncın arttırılması iş parçaları arasındaki temas direncini azaltır. Dolayısıyla üretilen ısı miktarı azalır. Bunu önlemek için geçirilen akım şiddetini arttırmak gerekir.

İş parçalarının yüzeyleri pürüzlü ise, düşük bir basınca maruz kaldıklarında, gerçek metalin metale teması, yüzeyin sadece küçük bir kesrinde meydana gelir. Basınç arttırıldığında, bu yük-

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTROD BASINCININ ISI
ÜRETİMİNE ETKİSİ

sek pürüzler ezilir ve gerçek metal metale temas artar, bu ise temas direncini azaltır.

Özellikle Al-Mg gibi hafif metallerle bunların alaşımlarının kaynağında, elektrod basıncının artması ile, mikro boşluklar ve çatlama oluşma ihtimali ortadan kaldırılır.

Elektrod basıncının artması ile, yüksek kaynak akım şiddetlerinde ortaya çıkan, elektrodinamik kuvvetlerden doğan istenmeyen etkiler de engellenmektedir. Bununla birlikte çok yüksek basınçlar ise, iş parçalarında istenmeyen distorsyonları ortaya çıkarır.

Elektrodlar, iş parçalarının toplam kalınlığındaki ani bir azalmayı takip edemeyecek kadar yavaş olduğu zaman, basınçta ani bir düşme meydana gelir. İş parçasının kalınlığındaki bu ani azalmanın en çok rastlanan sebepleri, kaynağın aşırı ısınması ve metal fışkırmasıdır. Kısa süreli kaynak akımı ile çalışıldığında, akım kesilmesini takiben hızlı büzülme de meydana gelebilir. Özellikle ince iş parçaları, yüksek soğuma hızları dolayısıyla, bu olaya daha çok maruz kalır.

Akım geçmekte iken, basınçtaki ani bir azalma, temas direncinde ve neticede ısı üretim hızında artmaya sebep olur. İş parçaları arasındaki daha büyük ısı üretim hızı, daha fazla ve daha şiddetli metal fışkırmasına sebebiyet verir. Aşırı ısı artışı aşağıdaki olayları da doğurabilir.

1- Kaynak dikişi dış yüzeylere doğru erir.

2- Elektrodların ömrü azalır.

3- Karıncalanma ve yüzeyin korozyon direncinde azalma meydana gelir.

Uygulanan basıncın azalmasının diğer bir sonucu, erimiş metalin kaynak bölgesini terk etmesidir. Erimiş metal, elektrod basıncının sıkıştırma etkisi sebebiyle, arayüzeyde, kaynak dikişini saran erimemiş metal bir yüzük vasıtasıyla alıkoyulmaktadır.

Elektrod basıncındaki ani bir azalma, dahili metal basıncının bu yüzüğü parçalamasına sebep olur.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKIM ŞİDDETİNİN ISI
ÜRETİMİNE ETKİSİ

Bir birleştirme için elektrodta uygulanacak basıncın seçiminde, malzeme çeşidi ve kalınlığı, elektrod uç biçimi ve temas noktası çapı göz önünde tutulur. Elektrod basıncı açığa çıkan ısı açısından, temas direncini ve dolayısıyla oluşan kaynak noktasını etkilemektedir. Dikiş kalitesinde kararlılığın sağlanması için donatılarda ortaya çıkabilecek büyük titreşimlerden sakınmak gerekmektedir.

Kaynak işlemine bağlı olarak uygun elektrod basınçları uygulanmak suretiyle ergimiş metal çekirdeği düzgünleştirilmektedir. Bu durum kaynak noktasına, mekanik mukavemetin artması ve oluşabilecek koflukların ortadan kaldırılması şeklinde yansımaktadır.

Levha kalınlığına bağlı olarak elektrod basıncı P, aşağıda verilen eşitlikler yardımıyla seçilebilir:

Alaşımsız çelikler için $P = 2 \times s$

Yüksek alaşımlı çelikler için $P = 3,5 \times s$

Alüminyum için $P = 2,5 \times s$

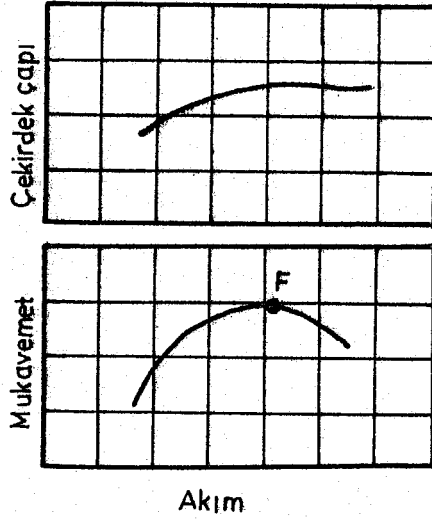
Burada P, (kN) olarak elektrod basıncı, s, (mm) olarak levha kalınlığıdır.

2.6. - Akım Şiddetinin Isı Üretimine Etkisi

Kaynak akımı ısı üretiminde önemli bir değişkendir. Çünkü ısı formülünde akım ikinci dereceden bir değere sahiptir. Dolayısıyla ısı üretiminde etkin bir faktör olmaktadır. Bu yüzden akımın dikkatli bir şekilde kontrol edilmesi gereken bir değişken olduğu ortaya çıkar.

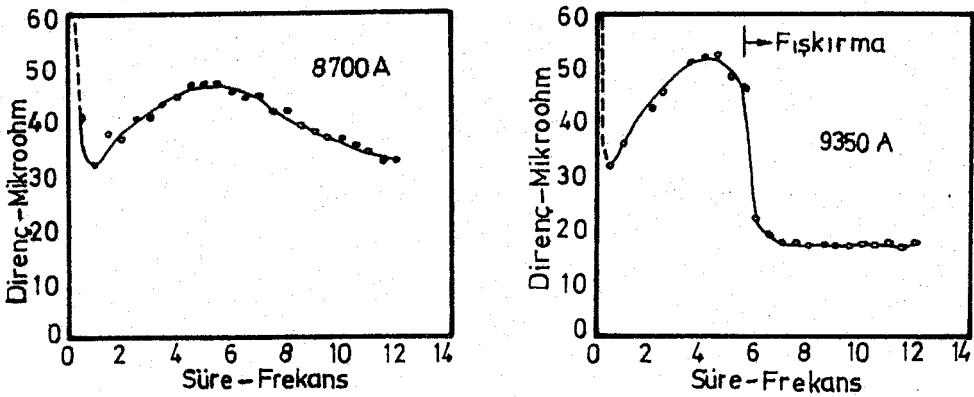
İş parçalarından geçirilen akım yoğunluğu bir limit değerini geçtikten sonra çekirdek teşekkülü başlar. Akımın artmasıyla çekirdek çapı büyür ve kaynak mukavemeti artar. Akım yoğunluğu bir limit değeri aştıktan sonra çekirdek büyümesi olmaz ve çekirdekten iş parçalarının temas arayüzeyine metal fışkırması olur. Bu olay kaynak mukavemetinde düşmeye yol açar.

Şekil II.11. - de akım şiddetinin çekirdek çapı ve kaynak mukavemetine tesiri şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil II.11. - Akımın kaynak özelliklerine tesiri.(6)

Akımın çok yüksek olması direncin çok kısa bir zamanda artmasına yol açar. Dirençteki bu ani artış fazla olursa, kaynakta fişkırmaya sebep olur. (Şekil II.12.)

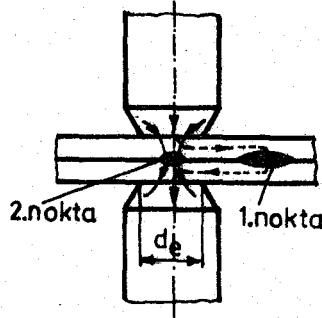


Şekil II.12. - Akım şiddeti, direnç-süre ilişkisi.(14)

Sağlam ve mukavemetli bir kaynak yapmak için akım şiddeti, fışkırmaya sebep olan akım şiddetinden biraz düşük olarak seçilmelidir.

Bir kaynak sisteminde, akım şiddetinin yüksekliğini, devredeki toplam direnç ve sekonder gerilim belirler. İşlemde yararlanılan efektif akım; şebeke gerilimindeki değişimler ve kaynak makinasının sekonder devresinde yapılan çeşitli değişikliklerden etkilenmektedir.

İletilen akım şiddetindeki değişmelere ek olarak, kaynak arayüzeyinde de, akım yoğunluğunda değişimler ortaya çıkar. Bu olay, akımın bir önceki kaynak noktasından ve elektrodların etki alanı dışındaki bir takım metalik temas noktalarından kısa devre olması ile meydana gelir. Bu olay yan akım devresi olarak adlandırılır. (Şekil II.13.)



Şekil II.13. - Kaynak akımının bir önceki kaynak noktasından kısa devre olması.(9)

Yan akım devreleri, bir çok sebeplerden akımın kararlılığını etkileyerek, kaynak kalitesine menfi tesir etmektedir. Seri yapılan nokta kaynağında, yan devrenin etkisi ile kaynak noktası çapının küçülmesi ortaya çıkmaktadır. Oluşan yan devre sebebi ile, uygulanan akım şiddetinin bir kısmı yan devreden akmaktadır.

Malzeme iletkenliği ve levha kalınlığının artması, bu olayın meydana gelişini hızlandırmaktadır. Yan akım devresinin en belirgin özelliği, yapılan nokta kaynağında, nokta çapının yeterli bir değere erişmemesidir. Bu ise mukavemet düşmesi anlamına gelmektedir. Yan devre oluşumunu engellemek için, iş parçasının biçim ve dayanımı müsaade ediyorsa, uygun nokta aralıkları ile çalışılması gerekli bulunmaktadır.

Oluşturulan noktalar arası mesafeler malzemelere bağlı olarak,

Çelikler için

$$e = (3 - 4) d_n$$

Al ve Cu alaşımları için

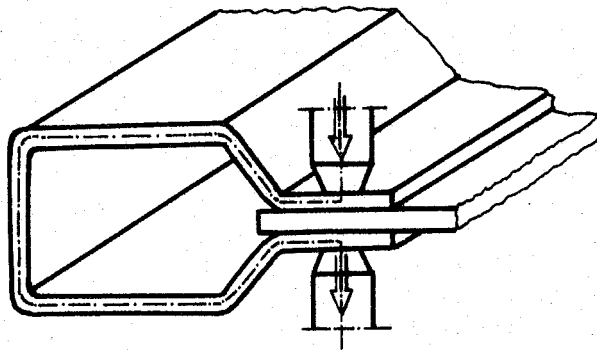
$$e = (5 - 6) d_n \text{ verilebilmektedir.}$$

Kaynak noktası çapı da levha kalınlığına bağlı olarak yaklaşık,

$$d_n = 5 \cdot \sqrt{s} \quad (s = \text{levha kalınlığı})$$

olduğu kabul edilerek, istenen gayeye uygun mesafelerin tespiti mümkün olmaktadır.

Yan devre oluşumu, genellikle hatalı elektrod seçimi, uygun olmayan tutucular düzenlemesi, birleştirme konstrüksiyonu ve işlemin yapılış şekli gibi sebeplere dayanmaktadır.



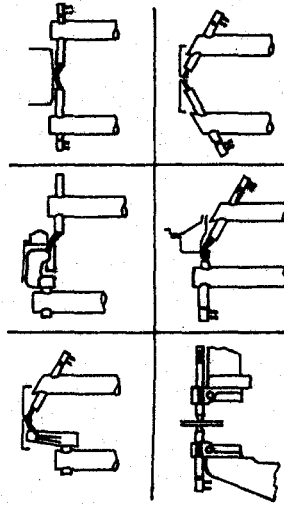
Şekil II.14. - Konstrüksiyonun sebep olduğu yan devre.(1)

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKIM ŞİDDETİNİN ISI
ÜRETİMİNE ETKİSİ

Ayrıca, kullanma sırasında uç çapı çeşitli sebeplerle büyümüş elektrodlar akım yoğunluğundaki azalma sebebiyle, kaynak ısısında ve kaynak özelliklerinde azalmaya sebep olmaktadır.

Nokta kaynak makinalarında, kol açıklığı ile kol aralıkları, pencere boşluğu olarak adlandırılan bir etkeni de tanımlamaktadır. Bu etken, sekonder devrenin görünür direncini etkilemektedir. Eş kaynak değerleri ile çalışılma şartlarında, bu çerçevenin bu çerçevenin büyütülmesi ile, görünen direnç artarak kaynak akımı ve makinanın gücü azalmış olmaktadır. Bu durum kaynak noktasına, boyutların ve mukavemetin azalması şeklinde tesir etmektedir. Kaynak noktalarında eşit mukavemetin sağlanması için, her kol açıklığına uyan optimal kaynak değerlerinin seçilmesi gerekmektedir. Şekil II.15. - de uygulamalara ait değişik elektrod konumları misal olarak verilmiştir.



Şekil II. 15. - Konstrüksiyonlara bağlı olarak, tutucu ve elektrodların konumlarına ait misaller.(1)

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKIM SÜRESİNİN ISI
ÜRETİMİNE ETKİSİ

2.7. - Akım Süresinin Isı Üretimine Etkisi

Nokta kaynağı uygulamasında işlem için kaynak süresi, akım geçen süre olarak tanımlanmaktadır. Bu sürenin seçiminde ise, birleştirilen levhanın kalınlığı ve bileşimi esas alınmakla birlikte, uygulanan elektrod basıncı ve elektrod uç çapı da önemli birer et-kendir.

Sabit bir akım şiddetinde akım süresinin uzatılması sekonder devrede üretilen ısı miktarını arttırır. Ancak süre uzadıkça ısı kayıpları artar ve ısı verimi düşer.

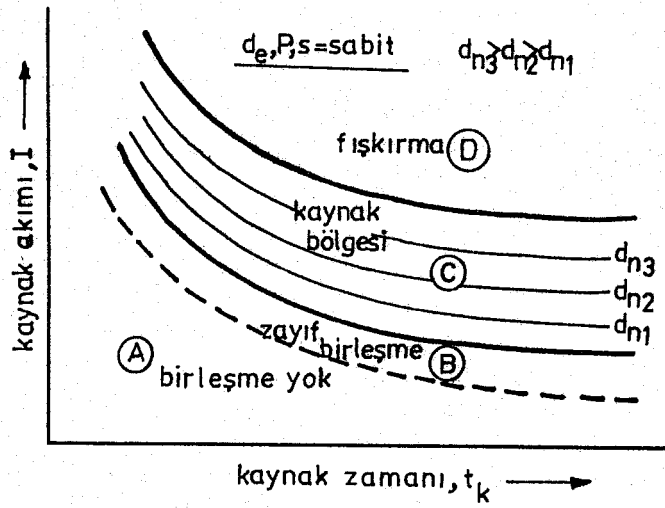
Isı üretim hızı o şekilde olmalı ki, kaynak, arzu edilen za-man aralığı içerisinde, ısı kayıplarını da karşılayarak gerçekle-şebilsin. Isı formülünde de görüldüğü gibi, üretilen toplam ısı zamanın lineer bir fonksiyonudur. Isı kayıpları, iş parçalarına ve elektrodla kondüksiyon yoluyla olduğu gibi, iş parçalarından çevreye radyasyon yoluyla da meydana gelir. Genel olarak bu kayıp-ların kontrol edilmesine imkân yoktur, ancak, kayıplar toplam za-manın artması ile artar.

Herhangi bir kaynak dikişi teşekkül etmeden evvel sonlu bir zaman değeri gereklidir. Kati minimum zaman değeri; akım şiddeti-ne, malzeme kalınlığına ve bileşimine bağlıdır.

Üretilen ısı, akımın karesi ile doğru orantılı olduğundan, kayıplar ihmal edilirse; akımın iki misli artması, herhangi bir zaman aralığında teşekkül eden ısıyı dört katına çıkarır. Toplam ısıdaki arzu edilen bir değişme akımı veya zamanı değiştirerek sağlanabilir. Bununla beraber, ısı iletimi zamanın bir fonksiyonu-dur ve belirli bir dikiş boyutunun meydana gelişinde zaman elema-nı, akımdaki artmayı dikkate almaksızın çok fazla kısaltılamaz. Uygun olmayan zaman kontrolünün ilk etkileri, ısının temas yüzey-lerinde hızla gelişip fişkırmaya sebep olması ile görülür.

Akım şiddeti ve süresinin birbirine uygun olarak seçilebil-mesi için; belirli bir levha malzemesi ve kalınlığı, elektrod uç çapı ve verilmiş bir elektrod basıncına bağlı olarak aşağıdaki

şekilde gösterildiği gibi nokta kaynağı kabul edilir alan eğrilerinden faydalanılır. (Şekil II.16.)



Şekil II.16. - Kaynak kabiliyeti diyagramı.(9)

Bu eğriler belli cins ve kalınlıktaki malzemeler için deneysel olarak çizilir.

Şekil II.16. - da verilen diyagram dört bölgeye ayrılır, bunlar:

A Bölgesi: Burada herhangi bir erime ve birleşme yoktur.

B Bölgesi: Basınç kaynağı ile oluşan ve erime olmadan meydana gelen zayıf bir birleşme bölgesidir.

C Bölgesi: Erime veya kaynak bölgesidir. C ve B bölgesinin sınır eğrisinden itibaren erime başlar ve erimiş kaynak bölgesinin boyutları, bu bölge içine girdikçe artar. Sonuçta, nokta çapı d_n , elektrod çapı d_e - ye yaklaşık olarak eşit olur.

D Bölgesi: Bu bölge fışkırma bölgesi olup, C bölgesinin üst sınırından itibaren fışkırma başlar. (Şekil II.17.)

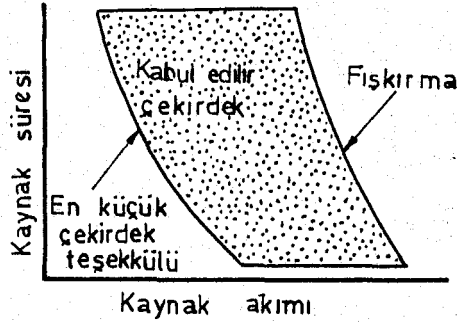
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKIM SÜRESİNİN ISI
ÜRETİMİNE ETKİSİ



Şekil II.17. - Kaynak arayüzeyinde meydana gelen fışkıрма.(19)

Kaynak bölgesi malzemenin cinsine bağlıdır. Bazı metallerde bu bölge dar olduğundan kaynak akımının ve zamanın hassas bir şekilde ayarlanması gerekir. Uygulamada, akım ve zaman değerleri, C bölgesinin üst sınırına yakın kalınacak şekilde seçilir.



Şekil II.18. - Tipik bir nokta kaynağında kabul edilir alan.(6)

Şekillerden de görüleceği gibi, kısa kaynak zamanı ve yüksek akım şiddeti kullanarak veya uzun kaynak zamanı, düşük akım şidde-

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKIM SÜRESİNİN ISI
ÜRETİMİNE ETKİSİ

ti kullanarak, aynı nokta çapı (d_n) elde etmek mümkündür. Bunlardan ilkinde kısa süreli kaynak, ikincisine uzun süreli kaynak adı verilir.

Getirdiği büyük faydalar yüzünden, kısa süreli kaynak tekniği çok gelişmiş olup, büyük ölçüde kullanılmaktadır. Malzemede ısı gecikmesinden sakınmak için, sürekli ve kısa kaynak süresi ile çalışılması gerekmektedir. Nokta kaynağında önceleri, çok ince levhalar için bile bir kaç saniye olan akım süresi, kontrol organları ve akım devrelerindeki büyük gelişmelerden sonra bir kaç periyoda ($1 / 50$ sn) kadar düşürülmüştür. Kaynak zamanı azaldıkça ısı kayıpları da azaldığından işlemin ısı verimi artmaktadır. Isı ve elektrik iletkenlikleri relatif küçük olan malzemelerde, mesela çeliklerde bu süre 0,1 - 2,0 saniye arasındadır. Hafif metallerde ise, iletkenliğin daha yüksek olması sebebiyle bu süreler çok daha kısa tutulmaktadır. Düşük karbonlu alaşımsız çeliklerin kaynağında kısa süreli kaynak için gerekli akım süresi aşağıdaki eşitlik yardımıyla seçilebilir:

$$t_k = 8 \cdot s$$

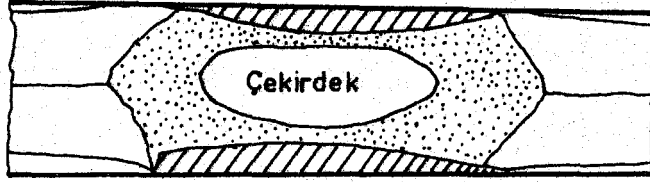
Burada, t_k (periyod) olarak akım süresi, s (mm) olarak levha kalınlığıdır.

Kısa süreli kaynakta işlemin hızlı olması sebebiyle sadece kaynak bölgesi erime sıcaklığına ulaşır ve levhaların dış yüzeyinde aşırı ısınma olmadan kaynak işlemi sona erer. Bu sebeple elektrodların temas yüzeyleri bozulmaz. Kısa süreli kaynak, ısının çok sınırlı bir yerde yoğunlaşmasının gerektiği özel şekilli parçaların kaynağında ve alüminyum gibi ısı iletkenliği çok yüksek olan malzemelerin kaynağında özellikle tercih edilir.

Isıtmanın yavaş olması, yani uzun süreli kaynak halinde, levhaların diğer bölgelerinde sıcaklık önemli ölçüde artar. Bu ise levhaların dış yüzeylerinin yumuşamasına ve elektrodların levha içine gömülerek derin izler bırakmasına sebep olur. (Şekil II.-19.)

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKIM SÜRESİNİN ISI
ÜRETİMİNE ETKİSİ



Şekil II.19. - Uzun akım süresi sebebi ile, elektrodların levha yüzeyleri üzerinde bıraktığı izler.(9)

Şekilde: Noktalı alanlar ısı tesiri altındaki bölgeyi, taralı alanlar ise elektrod izlerini ifade etmektedir.

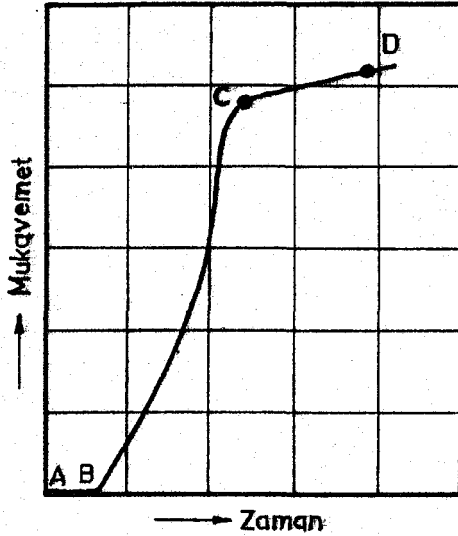
Uzun süreli kaynağın uygulanması gerekli olan haller de mevcuttur. Kaynak süresi, kaynak akımının kesilmesinden sonra kaynak bölgesinin soğuma hızını etkiler. Uzun süreli kaynakta, kaynak bölgesine komşu bölgelerin sıcaklığı yükseldiğinden, sıcaklık farkı dolayısıyla da kaynak sonrası soğuma hızı düşüktür. Bu nedenle, % 0,3 C- lu çeliklerde ve alaşımlı çeliklerde sertleşmeyi önlemek için uzun süreli kaynak kullanılır. Diğer taraftan, elektrodlar tarafından sıkıştırılması zor olan parçalar için de uzun süreli kaynak tercih edilir.

Akım süresi, oluşan kaynak dikişinin özelliğini belirleyen önemli etkenlerden birisidir. Dolayısıyla kaynak dikişinin mukavemetine büyük ölçüde tesir etmektedir.

Kaynak zamanı ile nokta kaynağının çekme-makaslama mukavemeti arasındaki bağıntı Şekil II.20. - de verilmiştir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İŞ PARÇASININ MALZEMESİ
VE DİRENCİ



Şekil II.20. - Nokta kaynağının mukavemetine kaynak zamanının etkisi. (6)

2.8. - İş Parçasının Malzemesi ve Direnci

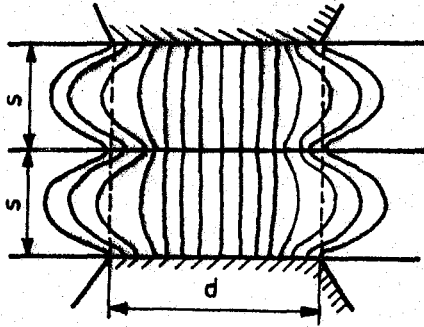
Metallerin bileşimi, onların özgül ısılarını, erime sıcaklıklarını, gizli erime ısılarını, ısı ve elektrik iletkenliklerini ve yoğunluklarını etkiler. Elektrik iletkenliği, R değeri yoluyla verilmiş bir akım şiddetinde, ısı üretim hızını tespit eden bir faktördür. Metallerde, elektrik ve ısı iletkenlik genellikle aynı yönde paralel olarak değişir. Bu sebeple, 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 bir çok metalin birim kütlelerini erime sıcaklığına yükseltmek için gerekli ısı miktarı aynı değerdendir. Meselâ, alüminyum ve paslanmaz çelik gibi oldukça farklı nokta kaynağı özelliklerine sahip iki metali

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İŞ PARÇASININ MALZEMESİ
VE DİRENCİ

erime sıcaklıklarına getirmek için birim kütleleri başına yaklaşık aynı miktarda ısı gerekir. Bununla beraber, alüminyumun elektrik ve ısı iletkenliği paslanmaz çeliğe nazaran sırasıyla yirmi ve on defa daha büyüktür. Bu sebeple, alüminyum için gerekli kaynak akımı, paslanmaz çelik için gerekli akımdan oldukça fazladır.

Şekil II.21. - de nokta kaynağında iş parçalarından akımın geçişi gösterilmiştir. İki levhanın birleştirilmesinde, elektrod levha temas düzlemi yoluyla levhalara giren elektrik akımı, çapı elektrod çapına ve yüksekliğide levha kalınlığına eşit olan silindirin dışına taşar. Bu taşma etkisi özellikle, elektrod çapı / levha kalınlığı oranı azaldıkça daha fazla olur.



Şekil II.21. - Nokta kaynağında iş parçalarından akımın geçişi
(19)

Kotschergin bir iş parçasındaki direnci şu formül ile ifade etmiştir.

$$R_m = \frac{4 \cdot s \cdot \rho}{\pi \cdot d \cdot b}$$

Formülde:

R_m = İş parçasının direnci.

s = İş parçasının kalınlığı.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İŞ PARÇALARI ARASINDAKİ
TEMAS DİRENCİ

ρ = İş parçasının özgül direnci.

d = Elektrod çapı.

b = Akım yolunun çizdiği elipsoidin maksimum çapı.

Aslında, levhaların temas çapı elektrod çapına eşit olmamakla birlikte bu formül yaklaşık olarak kullanılabilir. Buna göre iki levha için toplam malzeme direnci aşağıdaki formül ile ifade edilebilir.

$$2 R_m = \frac{8 \cdot s \cdot \rho}{\pi \cdot d \cdot b}$$

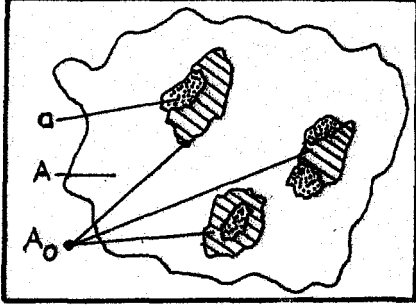
2.9. - İş Parçaları Arasındaki Temas Direnci

İki iş parçası arasındaki temas direnci iki farklı bileşenden meydana gelmiştir.

- 1 - Yüzey pürüzlülüğü sebebiyle gerçek temasın olduğu noktalar boyunca akım yolu daraldığından ortaya çıkan daralma direnci (R_d).
- 2 - İş parçalarının yüzeyinde bulunan yalıtkan filmlerin sebep olduğu film direnci (R_f).

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

Şekil II.22. - temas noktalarının direncinin tasarlanmasına yardım etmektedir



A : görünen temas yüzeyi.
A₀ : gerçek temas yüzeyi.
a : başlangıç akım geçiş yüzeyleri.

Şekil II.22. - Temas noktaları ve dirençler.(1)

Uygulamada ideal yüzeylerin oluşturulması imkânsız olduğundan, gerçek toplam temas yüzeyi A_0 , temas yüzeyi olarak bilinen A 'dan daha küçüktür. Bu temas yüzeyleri, farklı geometrik 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 kablı olmaları ihtimalinden, birbirleri için tam bir elektrikî akış alanı olma özelliğini taşımamaktadır.

Verilen misalde ele alınan A - yüzeyi içinde bir kaç noktadan akım geçebilmektedir. Akım yolunun daralmasından doğan bu direnç, R_d - boğaz direnci olarak tanımlanmaktadır. Akım geçen her bir yüzey a - ve temas yüzeyleri toplamlarında A_0 ile tanımlanmıştır.

Temas direncinin incelenmesinde;

- a) Daralma direnci (R_d)
- b) Film direnci (R_f)

var olduğu dikkate alınarak, toplam temas direnci

$$R_t = R_d + R_f$$

olarak yazılabilir.

İş parçalarının yüzeyinde bulunan yalıtkan filmler, malzemenin temas yüzeyinde oluşmuş oksit, yağ filmi veya benzeri yabancı tabakalardır. Bu sathi yabancı elemanlar, belirli bir kalınlığın altında bulunması durumunda, metalik bir tabaka rolü oynarlar. Film direnci, görünen temas yüzeyinin (A) durum ve büyüklüğüne bağlı olmayıp, gerçek temas noktalarının büyüklüklerinin etkisi altındadır.

2.10. - İş Parçasının Yüzey Durumu

Birleştirilecek levhaların yüzey durumu;elektrod levha, levha levha arası temas dirençleri sebebiyle ısı üretimini etkiler. Yüzeyler temiz ise, üniform sonuçlar alınır. Yüzeyi üzerinde oksit, pul gibi değişik şeyler olan levhalar değişik kalitede kaynak noktalarının oluşumuna sebep olur. Levhalar üzerinde mevcut yağ, kir, pas gibi maddeler akım iletimini zorlaştıracak gibi, elektrodların yüzeyine yerleşerek, elektrod ömrünü azaltır. Bu gibi durumlarda, çeşitli malzemeler için tavsiye edilen, yağ giderme ve yüzey temizleme işlemlerine başvurulmalıdır. Yüzey durumu kaynağın bütün değişkenlerini etkilemektedir.

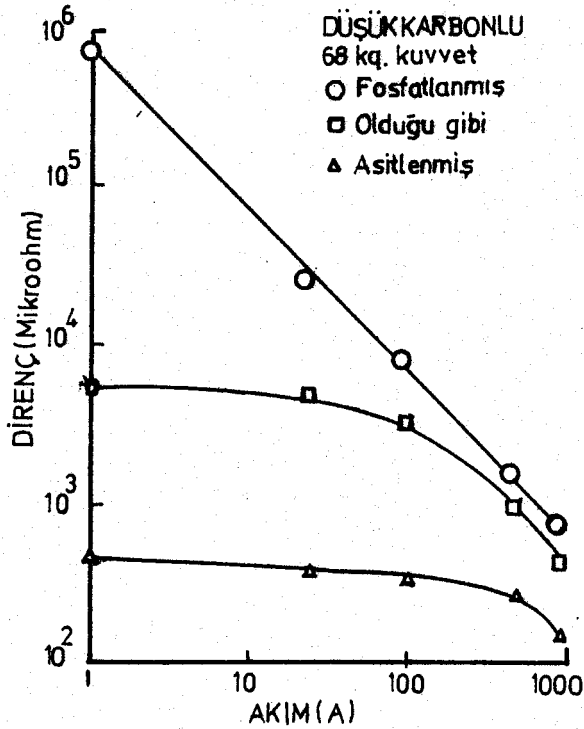
Yüzey düzensizliklerini araştırma ve ölçmede kullanılan modern yöntemler, bütün yüzeylerin atomik mesafelere oranla çok büyük düzensizliklere sahip olduğunu göstermiştir. Şu halde, iki metalik yüzey temas haline getirilirse, yüzeyler arasındaki gerçek temas bu düzensizlikler sebebiyle bütün görünür temas alanı boyunca üniform bir şekilde değil, az sayıdaki noktaların birbirlerine teması ile meydana gelir. Bu sebeple gerçek temas alanı izafi olarak küçüktür ve yüzeyler birbirlerine bastırıldıklarında, makroskopik basınç metalin akma sınırı altında bile olsa, mikroskopik mertebede değeri metalin akma sınırı üzerinde olan şiddetli lokal gerilmeler meydana gelir. Sonuçta, temas halindeki metal yüzeylerinde daima mevcut olan yüzey pürüzleri elastik sınırlar üzerinde derhal şekil değiştirir. Bu şekil değişimi sırasında yeni yeni noktalar da temas haline gelir ve olay, yükü ta-

şımaya yeterli derecede toplam alan meydana gelinceye kadar devam eder.

Yük taşıyıcı bu alanlar akım iletimi açısından dört ayrı kısımda etüd edilebilir.

- Metalik temas noktaları.
- Yarı metalik temas noktaları.
- İzafi olarak kalın filmlerle kaplı temas noktaları.
- Yabancı filmlerle kaplı temas noktaları.

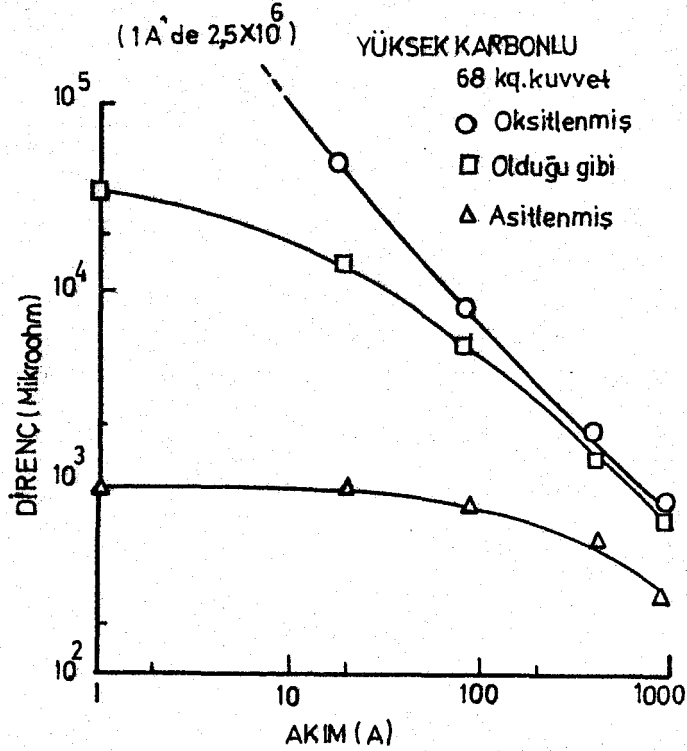
Farklı basınç ve farklı yüzey kalitesindeki yumuşak ve az alaşımlı yüksek mukavemetli çelik levhalar için kabûl edilebilir kaynak alan eğrileri deneysel olarak bulunmuştur. Bu çelik levhaların değişik yüzey durumlarında gösterdikleri statik temas direncinin akım ile değişimi Şekil II.23. a ve b - de gösterilmiştir.



Şekil II.23. a - Üç farklı yüzey şartında düşük karbonlu çelik için test akımının bir fonksiyonu olarak statik temas direnci(8)

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İŞ PARÇASININ YÜZEY
DURUMU



Şekil II.23. b - Üç farklı yüzey şartında yüksek karbonlu çelik için test akımının bir fonksiyonu olarak statik temas direnci.(8)

Şekillerden de görüleceği gibi direnç, fosfat kaplanmış yani okside olmuş yüzeylerde daha fazla olmaktadır. Asitle temizlenmiş levhalarda ise ortalama değerde olmaktadır.

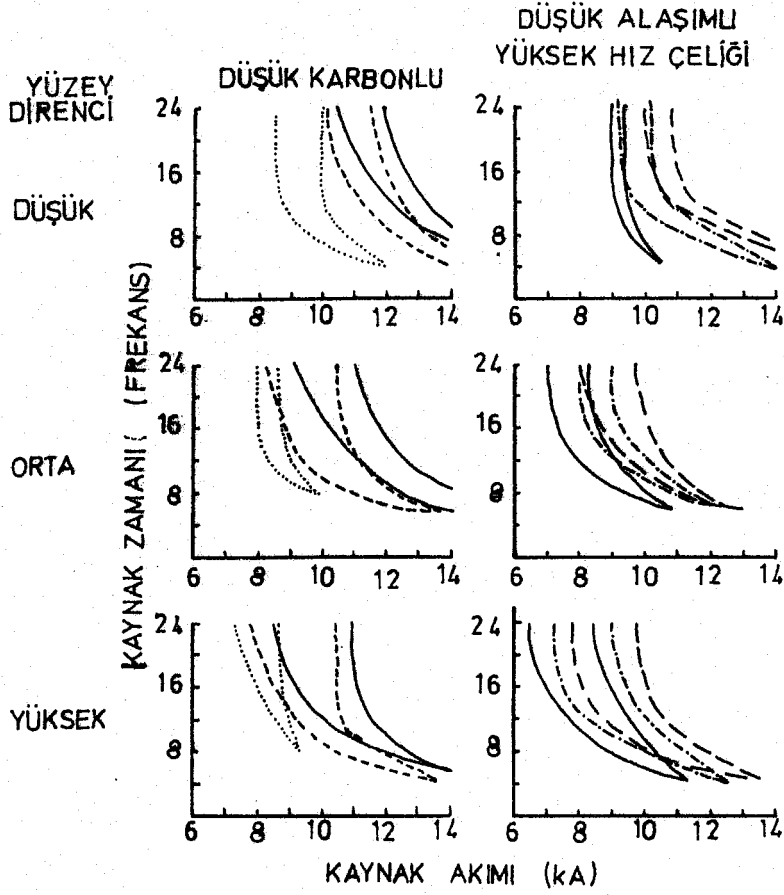
Şekil II.24. - de ise yüzey durumu, kaynak akımı ve elektrod basıncı arasındaki ilişki verilmiştir.

Şekilde görüldüğü gibi; düşük yüzey temas direncine sahip olan düşük karbonlu çelik levhalarda elektrod basıncı arttıkça kabul edilebilir kaynak alan eğrisi sağa kaymaktadır. Yani daha yüksek kaynak akım şiddeti kullanmamız gerekmektedir.

Bütün çeliklerde elektrod basıncı arttıkça kaynak akımının artırılması gerektiği şekilden anlaşılmaktadır.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İŞ PARÇASININ YÜZEY
DURUMU



ELEKTROD KUVVETİ	2000 N
	-----	3000 N
	—————	4000 N
	-.-.-.-.-	5000 N
	———	6000 N

Şekil II.24. - Yüzeyin bir fonksiyonu olarak her iki çelik için kaynak levhalarının hazırlanması ve elektrod kuvveti.(8)

Çünkü elektrod kuvveti arttıkça iş parçalarının lokal temas noktaları arttığı için arayüzey direnci düşmektedir. Yüzey direncinin artması ile kabül edilebilir kaynak alanının her çelikte arttığını görüyoruz. Bu durum düşük alaşımlı yüksek mukavemetli

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAYNAK NOKTASINDA OLUŞAN
ELEKTRİK DİRENÇ

çeliklerde daha belirgindir. Özellikle bu çeliklerde yüzey temizliğiyle kaynak çalışma akım değerinin genişlediğini görüyoruz. Yüzey direnci yüksek levhaların kaynağında akım şiddeti azaltıldığında, kaynak zamanının uzatılması gerektiği şekilden anlaşıl-
maktadır.

2.11. - Kaynak Noktasında Oluşan Elektrik Direnç

Birleştirilen malzemelerin dirençlerini aşağıdaki etkenler belirlemektedir.

- 1) Kaynak devresindeki akımın çeşidi ve büyüklüğü.
- 2) Akım devresindeki sıcaklık.
- 3) Malzemelerin üretim ve hazırlanmasından gelen fiziksel özellikler.

İçerisinden akım geçen bir iletkenin direnci,

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} \quad (\Omega) \text{ olarak verilir.}$$

ρ = Malzemenin özgül direnci $(\Omega \text{ mm}^2 / \text{m})$

l = İletkenin uzunluğu (m)

A = İletkenin kesiti (mm^2)

Bu ifadenin nokta kaynağında akım geçen kesite göre yazılı-
şlı,

$$R = \frac{\rho \cdot 2 \cdot s}{\pi \cdot d^2 \cdot 250}$$

$2s$ = Akım yolunun uzunluğu (mm)

s = Parça kalınlığı (mm)

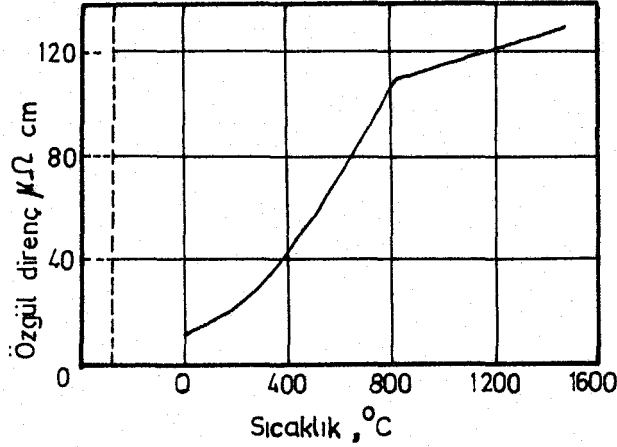
d = Akım geçen kesitin çapı (mm)

Yukarıdaki formülde akım geçen kesit ile elektrod temas yüzeyi birbirine eşittir.

2.12. - Metallerde Özgül Dirence Tesir Eden Faktörler

Metallerde elektrik iletkenliği metalik bağın sonucu olan serbest elektronlar vasıtasıyla olur. Elektron hareketi engellendikçe, yani serbest elektronların hareketi kısıtlandıkça elektrik iletkenliği azalır ve iletkenliğin tersi olan özgül direnç yükselir. Metallerin özgül direnci Matthiessen kaidesine uygun olarak sıcaklığa ve kristâl hatalarına bağlıdır.

Metallerin sıcaklığı arttıkça atomların ısıl titreşimleri artacağından elektronların serbest hareket mesafesi azalır. Elektronların hareketi engellendiği için özgül direnç yükselir. Bu özellik kaynak devresindeki metalik malzemeye, direncinin büyümesi şeklinde yansımaktadır. Şekil II.25. - de sıcaklığa bağlı olarak saf demirdeki özgül direncin değişimi gösterilmiştir.



Şekil II.25. - Saf demirde sıcaklığın özgül dirence tesiri.(6)

Özgül direncin sıcaklığa bağlı olarak değişimini, aşağıda verilen ifadeden de hesaplamak mümkündür.

$$\rho_t = \rho_0 [1 + (t - 20)]$$

Formülde:

$$\rho_t = t \text{ } ^\circ\text{C} - \text{da özgül direnç} \quad (\Omega \text{ mm}^2 / \text{m})$$

$$\rho_o = \text{Oda sıcaklığında özgül direnç} \quad (\Omega \text{ mm}^2 / \text{m})$$

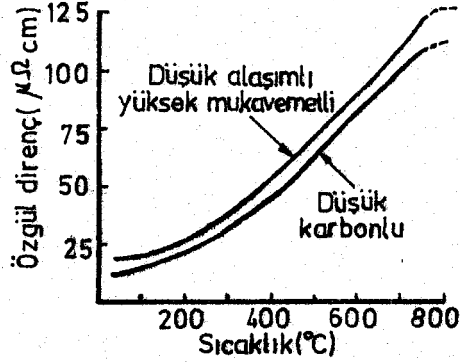
$$\alpha = \text{Sıcaklık katsayısı} \quad (1 / ^\circ\text{C})$$

Aşağıdaki tabloda bazı malzemelerin özgül direnç ve sıcaklık katsayıları verilmiştir.

Malzeme	$\rho (\Omega \text{ mm}^2 / \text{m})$	$\alpha (10^{-3})$
Al 99,5	0,0278	4,0
Al Mg 5	0,059	2,1
Fe	0,1	5,6
Cu	0,0178	3,92
Ni	0,069	6,9
Ag	0,0159	4,0
Zn	0,048	4,1
W	0,0491	4,82
Çelik (% 0,1 C, % 0,5 Mn)	0,13-0,15	4,0-5,0
Çelik (% 0,25 C, % 0,3 Si)	0,18	4,0-5,0
Çelik (% 1 C, % 10,0Mn)	0,66	1,3

Tablo II.3. - Bazı metalik malzemelerin 20 °C sıcaklıkta özgül direnç ve sıcaklık katsayıları.(1)

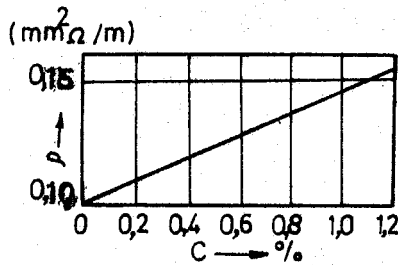
Şekil II.26. - da iki ayrı çelik için, özgül dirence sıcaklığın tesiri gösterilmiştir. Görüldüğü gibi her iki çelikte de sıcaklığın artmasıyla özgül direnç artmaktadır.



Şekil II.26. - İki ayrı çelik için sıcaklığın özgül dirence tesiri.(8)

Kristâl hatalarında elektron hareketini engellediği için özgül direnç yükselir. Metallerde kristâl hataları alaşım yapılarak, soğuk şekil verilerek, ısıl işlem veya elektron, nötron gibi yüksek enerjili partiküllerin irridasyonuyla meydana gelir. Bu malzemelerde noktasal ve özellikle çizgisel kristâl hatalarının sayısı arttığı için özgül direnç yükselir.

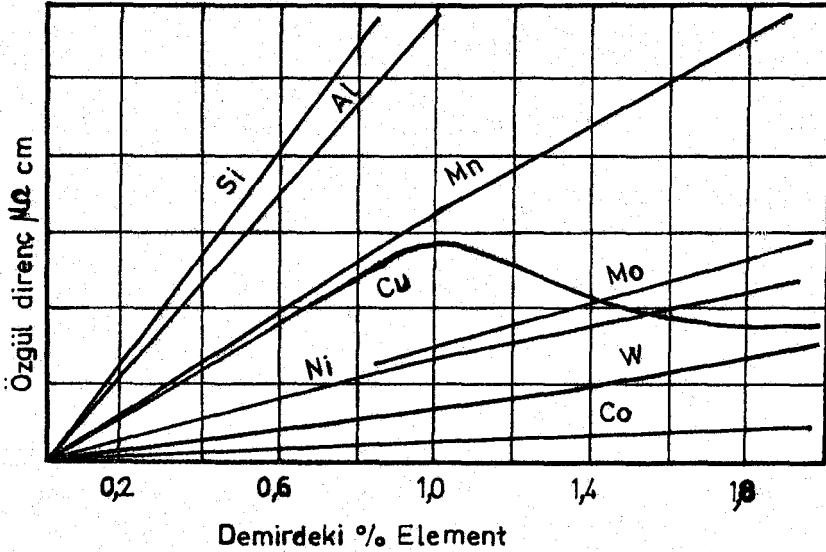
Alaşım elementlerinin bileşimde yükselmesi ile özgül dirençleri saf durumlarına kıyasla daha yüksek değerlere ulaşmaktadır. Saf demirde C yüzdesine bağlı olarak, özgül direncin değişimi Şekil II.27. - de görülmektedir.



Şekil II.27. - Çeliğin özgül direncinin karbon yüzdesine bağlı olarak değişimi.(19)

Su verilmiş veya soğuk şekillendirilmiş metallerin, yükselen öz dirençlerinin düşürülmesi dokularının başlangıç özelliklerine dönüştürülmesiyle gerçekleşir. Bunun için bilinen ısı işlem yöntemlerinin uygulanması yeterlidir.

Alaşım elementlerinin saf demir özgül direnci üzerindeki tesirleri Şekil II.28. - de gösterilmiştir.



Şekil II.28. - Alaşım elementlerinin saf demir özgül direncine tesirleri.(6)

2.13. - Nokta Kaynağında Isı Kaybı

Nokta kaynağı işlemi sırasında oluşturulan ısının tamamı dışarıya harcanmamaktadır. Elektrodların aşırı ısınmaya karşı, hava yada su ile soğutulması, özellikle uzun zaman aralıklarında yapılan kaynak işlemlerinde ısının parça boyunca yayılması tükenen bu ısının bileşenleri olarak sayılabilmektedir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

NOKTA KAYNAĞINDA ISI
KAYBI

Bu ısı kaybı, akımın ilk uygulandığı andan, kaynağın oda sıcaklığına soğumasına kadar geçen zaman aralığında değişken hızlarla devam eder. Isı kaybı iki kademedeyi incelenebilir.

- 1) Akımın uygulama zamanı sırasındaki ısı kaybı.
- 2) Akımın kesilmesinden sonraki ısı kaybı.

Birinci kademedeki ısı kaybının değeri aşağıdaki faktörlere bağlıdır:

- a) Metalin bileşimi.
- b) Parçaların kütlesi.
- c) Kaynak zamanı.
- d) Dış soğutma vasıtası.

İş parçasının bileşimi ve kütlesi kontrol edilemez fakat dış soğutma vasıtası kontrol edilebilir.

Verilen bir akım şiddeti için, üretilen ısı, elektrik iletkenliği ile ters orantılıdır. Isıl iletkenlik, bu ısının kaynak bölgesinden kayıp veya iletilme hızını tayin eder. Bu iki faktör metallerde aynı yönde paralel olarak gider. Misâl, bakır gibi yüksek iletken bir metalde üretilen düşük miktardaki ısı yüksek bir hızla çevre metale ve elektrodalara doğru kaybolur.

Elektrodlar, akım kesildikten sonra iş parçaları ile temasta kalırsa, elektrod malzemesinin yüksek ısı iletimi sebebiyle, kaynak bölgesi hızla soğur.

Elektrodların etkili bir biçimde su ile soğutulması ısı kaybını hızlandırır. Kaynak bölgesinden iş parçalarına doğru soğuma hızı, uzun kaynak zamanı kullanılarak azaltılabilir. Bu yöntem, çevre metale daha fazla ısı iletimine müsaade eder ve çevre metalin sıcaklığını arttırarak, kaynak bölgesi ile çevre metal arasındaki sıcaklık farkını azaltır. Sıcaklık farkı soğuma hızlarını kontrol etmede çok önemlidir. Genellikle uzun kaynak zamanının kullanıldığı kalın levhalarda soğuma hızı düşük, kısa kaynak zamanının kullanıldığı ince levhalarda soğuma hızı büyüktür.

Elektrodlar kaynak yerinden derhal kaldırılacak olursa, ısı kaynak bölgesini saran metale ve atmosfere geçecektir. Bu durumda soğuma hızı bir miktar azalır. İnce parçalar göz önüne alındığında, distorsyon sebebiyle bu yöntem mahzurlu olabilir. Kalın parçalarda, mukavemet sebepleri ile, daha büyük olan kaynak bölgesinin, erimiş halden itibaren soğumasına imkân vermek için ilâve zaman gereklidir. Bu sebeple, ısının çoğunun çevre metal hacmine iletilmesine müsaade etmeksizin elektrodları, kaynağın soğumasına imkân verecek kadar yeterli bir zaman yerinde tutmak uygundur

Kaynağı her zaman hızla soğutmak uygun değildir. Su almaya karşı hassas malzemeler ele alındığında, elektrodları kaynak akımının kesilmesini takiben mümkün olduğu kadar çabuk kaldırmak gerekir. Böylelikle ısının çevre metale yayılması gerçekleşir ve dik soğuma gradyanı meydana gelmez.

Nokta kaynağı işleminde ısıl yönden, elektrodların biçim ve yüzey değişimlerinin, ısının üretilmesi ve çekilmesinde büyük bir etken olduğu görülmekte, dolayısıyla elektrodlar kaçan ısı içinde, yaklaşık % 60 - 70'e varan pay sahibi olabilmektedirler.

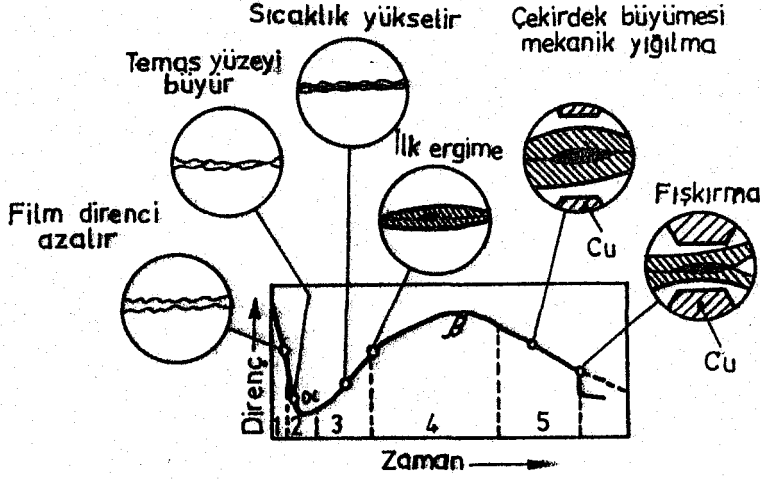
2.14. - Kaynak Sırasında Kaynak Bölgesindeki Direncin Değişimi ve Çekirdek Teşekkülü

Kaynak bölgesinin direnci, R_t kaynak akım süresi boyunca sabit kalmayıp enstantane olarak değişmektedir. Akım süresine bağlı olarak kaynak bölgesindeki direncin değişimi ve çekirdek teşekkülünün safhaları Şekil II.29. - da gösterilmiştir.

1. Safha: İş parçalarından akımın geçmeye başladığı anda iş parçalarının temas direnci çok yüksektir. Akım geçmesiyle iş parçalarının birbirlerine temas ettiği gerçek temas noktalarında ısı üretimi başlar. Teşekkül eden ilk ısı iş parçalarının yüzeyindeki oksit filmlerini parçalar. Film direncinin ortadan kalkmasıyla temas direncinde ve dolayısıyla kaynak bölgesi direncinde büyük bir düşme meydana gelir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAYNAK SIRASINDA KAYNAK
BÖLGESİNDEKİ DİRENCİN DEĞİŞİMİ VE
ÇEKİRDEK TEŞEKKÜLÜ



Şekil II.29. - Teorik olarak dinamik direnç eğrisi.(6)

2. Safha: Film direnci ortadan kalkmasına rağmen iş parçalarının gerçek temas yüzeyinin görünür temas yüzeyinden az olması sebebiyle daralma direnci halen yüksektir. Akımın devam etmesiyle ısınan gerçek temas noktalarında mikroskopik akma meydana gelir ve gerçek temas yüzeyi artar. Gerçek temas yüzeyi arttıkça daralma direncinde düşme olacaktır. Ayrıca temas yüzeyinden itibaren iş parçaları ısınmaya başladığından özgül dirençleri ve dolayısıyla dirençleri artar. Isınmanın tesiriyle iş parçalarındaki direnç artışının temas noktalarının artmasıyla temas direncindeki düşüşe eşit olduğu noktadan itibaren direnç düşmesi biter. Bu nokta Şekil II.29. - da α noktası olarak gösterilmiştir ve hemen hemen 1 / 4 periyoda eşittir. Bu noktadan itibaren kaynak bölgesinin direncinde artış görülür.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAYNAK SIRASINDA KAYNAK
BÖLGESİNDEKİ DİRENCİN DEĞİŞİMİ VE
ÇEKİRDEK TEŞEKKÜLÜ

3. Safha: İş parçalarının sıcaklığı arttıkça direnç yükselmektedir. İş parçalarının temas yüzeyinde ilk sıvının teşekkülü ile bu safha sona erer. Bu sıvının teşekkül etmesiyle direncin artış eğiminde bir azalma meydana gelir.

4. Safha: Bu safhada üç mekanizma rol oynamaktadır. İş parçasının sıcaklığının artmasıyla direnç yükselir. Ama üretilen ısı temas yüzeyindeki ergimeyi arttırdığından sıvı bölgesinin alanı ve dolayısıyla akımın geçeceği alan büyür. Bu ise direnci azaltacaktır. Ayrıca iş parçalarının akma mukavemetleri ısının tesiriyle düştüğünden elektrod basıncı altında yığılma olur ve böylece akımın geçeceği yol kısaldığından direnç azalır. Bu üç mekanizmanın tesiri altında direnç β noktasına kadar arttıktan sonra düşmeye başlar. Bu noktadan itibaren sıcaklık sabit kalırken çekirdek büyümesi ve mekanik yığılma daha fazla rol oynayacağından direnç düşmektedir.

5. Safha: Sıvı çekirdeğin büyümesi ve mekanik yığılmanın devam etmesiyle direnç azalır. Çekirdeğin genişliği ideal çapa büyümeden önce çekirdek yüksekliği iş parçalarının kalınlığına tabi olan limit değerine ulaşır. Sıvı metalin etrafında elektrod basıncı tesiriyle katı metalden bir çevre mevcuttur. Bu çevrenin çapı elektrod temas çapından çok az küçüktür. Sıvı çekirdek çapı çevrenin çapını aşınca sıvı metal elektrod basıncının tesiri altında iş parçalarının temas yüzeyine yayılır. Bu olaya fışkıрма denir. Fışkıрма olmasıyla akım geçiş alanı arttığından dirençte ani bir düşme olur.

Akımın kesilmesinden sonra elektrodlar vasıtasıyla iş parçalarından ısı transferi sağlanır. İş parçalarının soğuma hızı kalınlıklarının bir fonksiyonudur.

Şekil II.30. - da tipik bir kaynak çekirdeği görülmektedir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

NOKTA KAYNAĞINDA KAYNAK
KABİLİYETİ



Şekil II.30. - Tipik bir kaynak çekirdeği.(25)

2.15. - Nokta Kaynağında Kaynak Kabiliyeti

Kaynak kabiliyeti kesin ve kantitatif ifade edilebilen bir özellik değilse de metalik malzemelerin birleşebilme kabiliyetini gösterir. Bir metalik malzemenin kaynak yapıldığında, bağlantı lokal özellikleri ve bunların konstrüksiyona tesirleri daha önceden tesbit edilen şartları sağlaması diye de tarif edilebilir.

Yüksek derecede kaynak kabiliyetine sahiptir denildiği zaman bu kaynak şartları geniş bir aralıkta hiç bir tedbire başvurmada tatminkâr bir kaynak kalitesinin elde edilebileceği anlamına gelir. Düşük derecedeki kaynak kabiliyetinde, tatminkâr bir sonuç alabilmek için özel tedbirlere ihtiyaç olduğu ve kaynak şartlarının çok dar limitler arasında tutulmasının gerektiği anlamına gelir.

Elektrik direnç kaynağında kaynak kabiliyetinin durumu kaynak edilecek malzemenin elektrik iletkenliğine, ısı iletkenliğine ve ergime sıcaklığına bağlı olan kaynak kabiliyet faktörü hesaplandıktan sonra bulunur. Kaynak kabiliyet faktörü ise şu ampirik formülden hesaplanır:

$$S = \frac{10^4}{\alpha_E \cdot \lambda \cdot \pi_e}$$

Formülde:

S = Kaynak kabiliyeti faktörü.

α_E = Metalin elektrik iletkenliği (m / Ω mm²)

λ = Metalin ısı iletkenliği, (Cal / cm.s.C)

T_e = Metalin ergime sıcaklığı, (°C)

Kaynak kabiliyeti faktörüne göre kaynak kabiliyeti durumu aşağıda belirtilmiştir.

Kaynak Kabiliyeti Faktörü	Kaynak Kabiliyeti Durumu
0,25'e kadar	Kötü
0,25-0,75 arası	Yeterli
0,75-2,0 arası	İyi
2,0'den yukarı	Çok iyi

Tablo II.4. - de çeşitli metallerin nokta kaynağına yatkinlıkları verilmektedir.

	Zr	W	Ti	Ta	Sn	Pt	NiCu	NiCr	Ni	Mo	Mg	FeNi	Invar	FeCr	Fe	Prinç	bronz	CuNi	CuBa	Cu	Cd	Au	Al	Ag	
Ag																									
Al																									
Au																									
Cd																									
Cu																									
CuBa																									
CuNi																									
bronz																									
Prinç																									
Fe																									
FeCr																									
FeNi																									
Invar																									
Mo																									
Mg																									
Ni																									
NiCr																									
NiCu																									
Pt																									
Sn																									
Ta																									
Ti																									
W																									
Zr																									

DEĞERLENDİRME

- 1 : Çok iyi.
- 2 : İyi.
- 3 : Zor fakat olabilir.
- 4 : Zor veya imkânsız.
- 5 : Açıklık yok.

Tablo II.4. - Metallerin nokta kaynağına yatkinlıkları.(1)

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

NOKTA KAYNAĞI ÇALIŞMA
DEĞERLERİ

Nokta direnç kaynağı birleştirilen malzemeler bakımından diğer kaynak yöntemlerine nazaran, daha fazla serbestliğe sahiptir. Nokta direnç kaynağı yöntemiyle bir çok metal ve metal çiftlerini değişik biçim ve boyutlarda kusursuz olarak birleştirmek mümkündür.

2.16. - Nokta Kaynağı Çalışma Değerleri

Nokta kaynağı uygulamasında, çalışma değerleri, malzeme bileşimi ve kalınlığına bağlı olarak tablolar halinde verilmektedir. Aşağıda çalışma değerlerini veren bir tablo gösterilmiştir.

Alçak alaşımli çelik
max. % 0,3 karbon

Levha kalınlığı mm	Elektrod basınç kuvveti kp	Akım şiddeti kA	Kaynak süresi devreler	D Min. mm	Elektrod d mm
0,5	150	6,5	3	10	4
1,0	250	9	6	12	6
1,25	300	10	8	12	6
1,50	350	11	10	16	6
2,0	500	14	15	16	7
2,5	700	16	25	19	8
3,0	800	18	30	19	9
4,0	1250	22	45	25	11
5,0	1700	25	70	25	13
6,0	2250	29	100	30	15

18/8 Paslanmaz ve yüksek
alaşımli çelik

Levha kalınlığı mm	Elektrod basınç kuvveti kg	Akım şiddeti kA	Kaynak süresi devreler	D Min. mm	Elektrod d mm
0,5	175	3,8	4	16	4,0
0,75	300	6,0	5	16	4,5
1,0	400	7,6	7	16	5,0
1,5	650	11,0	10	19	6,0
2,0	900	14,0	13	19	7,0
2,5	1200	16,0	16	19	7,5
3,0	1500	18,0	19	19	8,5

Tablo II.5. - Nokta kaynağında çalışma değerleri.(2)

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DİRENÇ NOKTA KAYNAĞINDA
KAYNAK HATALARI VE SEBEPLERİ

BÖLÜM 3 : DİRENÇ NOKTA KAYNAĞINDA KAYNAK HATALARI VE SEBEPLERİ

3.1. - Kaynak Hataları ve Sebepleri

Sürekli ve yüksek kaliteli nokta kaynaklarının elde edilmesi, tabakaların kalınlık, bileşim, yüzey durumu ve kaynaklanacak malzemelerin temperlenmesinin; teçhizatın elektrik - mekanik münasebetinin; elektrod bakımının; kaynak programı seçiminin sağlam bir şekilde kontrolüne bağlıdır. Bu kontrollerin en uygun şekilde yapılabilmesi için kaynak hatalarının cinslerini ve bu hataları meydana getiren sebepleri iyi bilmek gerekir.

Kaynak hataları dış ve iç hatalar olmak üzere iki şekilde incelenebilirler.

3.1.1. - İç Hatalar

İç hatalar levhaların içerisinde oluşan ve özellikle kaynak çekirdeği ile doğrudan ilgili olan hatalardır. İç hataların mukavemet üzerinde direkt tesirleri vardır.

3.1.1.1. - Kaynak Nüfuziyeti

Nokta kaynağında nüfuziyet, erimenin parçalar içinde uzandığı derinlik olarak tarif edilebilir; levha kalınlığının yüzdesi olarak ifade edilir. Nüfuziyet sınırının kabaca % 20 - 80 arasında değişimine müsaade edilir. Minimum ve maksimum sınırları aşan kaynaklar, kaynak mukavemetinde istenmeyen değişmeye sebep olabilirler.

3.1.1.1.1. - Yetersiz Nüfuziyet

Nüfuziyeti % 20'den az olacak şekilde yapılan kaynaklar, akım zaman ve elektrod kuvvetindeki normal değişmelerden dolayı, zayıf olarak teşekkül edeceklerdir.

Yetersiz nüfuziyete aşağıdaki faktörlerden biri veya birkaçı sebep olabilir:

- a) Yetersiz kaynak akımı,
- b) Aşırı kaynak basıncı,
- c) Uygun olmayan ısıl denge,
- d) Çok büyük elektrod ucu,
- e) Uygun olmayan yüzey durumu.

3.1.1.1.2. - Aşırı Nüfuziyet

Nüfuziyeti % 80'den fazla olan kaynaklar, akım, zaman ve elektrod basıncının normal değişmelerinden dolayı ; fışkırma, çatlaklar ve gözenekler gibi diğer hataları meydana getirebilirler.

Aşırı nüfuziyete aşağıdaki faktörlerin biri veya birkaçı sebep olabilir:

- a) Uygun olmayan yüzey durumu,
- b) Çok küçük elektrod ucu,
- c) Uygun olmayan kaynak sırası zaman ayarı,
- d) Yeterli olmayan kaynak basıncı,
- e) Yeterli olmayan elektrod soğutulması.

3.1.1.2. - Simetri

İyi teşekkül etmiş bir kaynak noktası yatay ve düşey eksenlere göre simetrik olmalıdır. Sabit bir kaynak kalitesi elde etmek için üniform olarak şekillenmiş, uygun olarak yerleşmiş, birleşme içinde düzgün olan noktalar istenir.

Simetrik olmayan kaynak noktalarına aşağıdaki faktörlerden biri veya birkaçı sebep olabilir:

- a) Elektrodların yanlış hizalanması,
- b) Çok küçük elektrod ucu,
- c) Uygun olmayan yüzey durumu,
- d) Uygun olmayan kaynak programı,
- e) Parçaların düzgün yerleştirilmemesi.

3.1.1.3. - Gaz Kabarcıkları ve Gözeneklilik

Kaynak akımının, basıncının uygun olmayan bir şekilde tatbiki gözenekli bir kaynak yapısına sebep olur.

Gaz kabarcıkları genellikle fışkırma şiddetli olduğu zaman meydana gelir. Gözeneklilik ise normal olarak yetersiz bir kaynak

basıncının neticesidir. Gaz kabarcıklarının meydana gelmesine ve gözenekliliğe aşağıdaki faktörlerden biri veya birkaçı sebep olabilir:

- a) Fıskırma,
- b) Uygun olmayan kaynak basıncı,
- c) Uygun olmayan kaynak sırası zaman ayarı,
- d) Uygun olmayan kaynak akımı yükselme hızı.

3.1.1.4. - İç Çatlaklar

İç çatlaklar radyografi ile tahribatsız olarak, kaynaktan kesit almak suretiyle de tahribatlı olarak incelenebilirler. Çatlaklar kaynak içinde enine veya boyuna doğru olabilirler. Isı tesiri altında kalan bölgeye kadar uzanabilirler veya kaynak bölgesi ile sınırlanırlar.

İç çatlaklara aşağıdaki faktörlerden biri veya birkaçı sebep olabilir:

- a) Yetersiz kaynak basıncı,
- b) Uygun olmayan kaynak sırası zaman ayarı,
- c) Elektrodların aynı hizada olmamaları,
- d) Aşırı kaynak akımı,
- e) Elektrodların yana kayması,
- f) Yetersiz elektrod soğutulması.

3.1.2. - Dış Hatalar

Dış hatalar daha çok gözle görülebilen tipteki hatalardır ve mukavemet üzerinde büyük etkileri vardır.

3.1.2.1. - Yüzey Yanması

Yüzey yanması, elektrodlarla temasta olan metal yüzeyinin erimesi olarak tarif edilebilir. Kaynak kalitesi ve görünüşü, yüzey yanmasından etkilenir.

Yüzey yanmasına aşağıdaki faktörlerden biri veya birkaçı sebep olabilir:

- a) Çok seyrek elektrod temizlenmesi,
- b) Uygun olmayan yüzey durumu,

- c) Yetersiz kaynak basıncı,
 - d) Aşırı kaynak akımı,
 - e) Parçaların düzgün yerleştirilmemesi,
 - f) Uygun olmayan kaynak sırası zaman ayarı,
 - g) Elektrodların yana kayması,
 - h) Yetersiz elektrod soğutulması,
 - i) Uygun olmayan elektrod malzemesi (İletkenliği çok az)
- 3.1.2.2. - Levha Ayrılması

Levha ayrılması, kaynak noktası civarında levha yüzeylerinin birbirinden ayrılması olarak tarif edilebilir.

Ayrılma, iki dış levhanın ortalama kalınlığının % 10'undan fazla değilse normal olarak kabul edilebilir. Makaslama kuvveti tatbik edildiğinde birleşme yerindeki eğilme momentini arttırdığından, aşırı ayrılma istenmeyen bir durumdur. Levha ayrılmasına aşağıdaki faktörlerden biri veya birkaçı sebep olabilir:

- a) Aşırı kaynak basıncı,
- b) Bir hizada olmayan elektrodlar,
- c) Çok küçük elektrod ucu,
- d) Fıskırma,
- e) Aşırı kaynak akımı,
- f) Parçaların düzgün yerleştirilmemesi,
- g) Aşırı kaynak zamanı.

3.1.2.3. - Fıskırma

Fıskırma, genellikle aşırı ısınmanın ve uygun olmayan basıncın sebep olduğu, ergimiş metalin kaynak bölgesinden taşmasıdır. Fıskırmadan kaçınmak için, elektrod kuvveti ve şekli kaynak bölgesi etrafında bir basınç halkası temin edecek şekilde olmalı ve kayma yüzeyleri temizlenmiş bulunmalıdır. Fıskırma, derin bir yüzey ezilmesi, levha ayrılması, gaz kabarcıkları ve kaynak mukavemeti kaybına sebep olur.

Fıskırmaya aşağıdaki faktörlerden biri veya birkaçı sebep olabilir:

- a) Uygun olmayan yüzey şartları,
- b) Yeterli olmayan kaynak basıncı,
- c) Aşırı kaynak akımı,
- d) Elektrod ucunun çok küçük olması,
- e) Elektrodların bir hizada olmamaları,
- f) Elektrodların yana doğru kaymaları.

3.1.2.4. - Distorsiyon

Distorsiyon, kaynaklar levha kenarına çok yakın bir şekilde yapıldığı zaman ortaya çıkar.

Deformasyona karşı yeterli derecede mukavemet sağlamak ve ısıyı iletterek kenar çatlamlarını azaltmak maksadı ile kenar mesafesi kâfi derecede büyük olmalıdır.

Yüzey distorsiyonuna aşağıdaki faktörlerden biri veya birkaçı sebep olabilir:

- a) Elektrodun yana kayması,
- b) Aşırı kaynak basıncı,
- c) Parçaların düzgün yerleştirilmemesi,
- d) Uygun olmayan kenar mesafesi,
- e) Fıskırma,
- f) Aşırı kaynak akımı.

3.1.2.5. - Aşırı Ezilme

Aşırı ezilme, kaynak yüzeylerinde derin çukurlaşmaların meydana gelmesi demektir. Elektrod basıncı kaynak metalinin düşey genişlemesine mani olduğundan bir miktar ezilmeden kaçınılamaz. Kabul edilebilir sınırlar genellikle ezilmenin meydana geldiği levhanın kalınlığının % 10 - 20'si arasındadır. Derin bir ezik, kaynak noktası etrafındaki metal kalınlığının azalmasına dolayısıyla mukavemet kaybına sebep olur.

Aşırı ezilmeye aşağıdaki faktörlerden biri veya birkaçı sebep olabilir:

- a) Çok küçük elektrod ucu,
- b) Aşırı kaynak basıncı,
- c) Aşırı kaynak akımı,
- d) Fıskırma,
- e) Aşırı nüfuziyet,
- f) Aşırı yüzey ısınması,
- g) Uygun olmayan dövme periyodu.

3.1.2.6. - Dış Çatlaklar

Nokta kaynağının yüzeyine doğru uzanan çatlaklar normal olarak uygun olmayan bir kuvvet ve akım münasebetinin işaretidir.

Kaynak basıncı aşırı sıcaklığın meydana gelişini önlemek için kâfi derecede büyük olmalıdır. Düşük kaynak basıncı temas direncinin büyük olmasına sebep olur. Ayrıca, ergimiş bölgeyi uygun olarak soğutmak için, basıncın yeteri kadar uzun bir müddet tatbik edilmesi gerekir. Yüzey çatlağı nokta kaynağının korozyona karşı direncini azaltır. Belirli şartlar altında, nokta kaynağının mukavemeti, yüzey çatlaması aşırı ise azalacaktır. Dış çatlaklara aşağıdaki faktörlerden biri veya birkaçı sebep olabilir:

- a) Elektrodların yanlış hizalanması,
- b) Yeterli olmayan kaynak basıncı,
- c) Parçaların düzgün yerleştirilmemesi,
- d) Uygun olmayan kaynak sırası zaman ayarı,
- e) Aşırı nüfuziyet,
- f) Aşırı kaynak akımı,
- g) Yetersiz elektrod soğutulması.

3.1.2.7. - Bakır Birikmesi

Bakır birikmesi nokta kaynağının korozyona karşı hassasiyetini arttırır. Bakır döküntüleri tel fırça ile temizlenerek tamamen ortadan kaldırılabılır. Temizleme için kum püskürtme işlemi de kullanılabilir. Temizlenmeyi kontrol etmek için % 10' luk asetik asit eriyiğı kullanılır; bakır döküntüleri siyahlaşacaktır.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DIŞ HATALAR

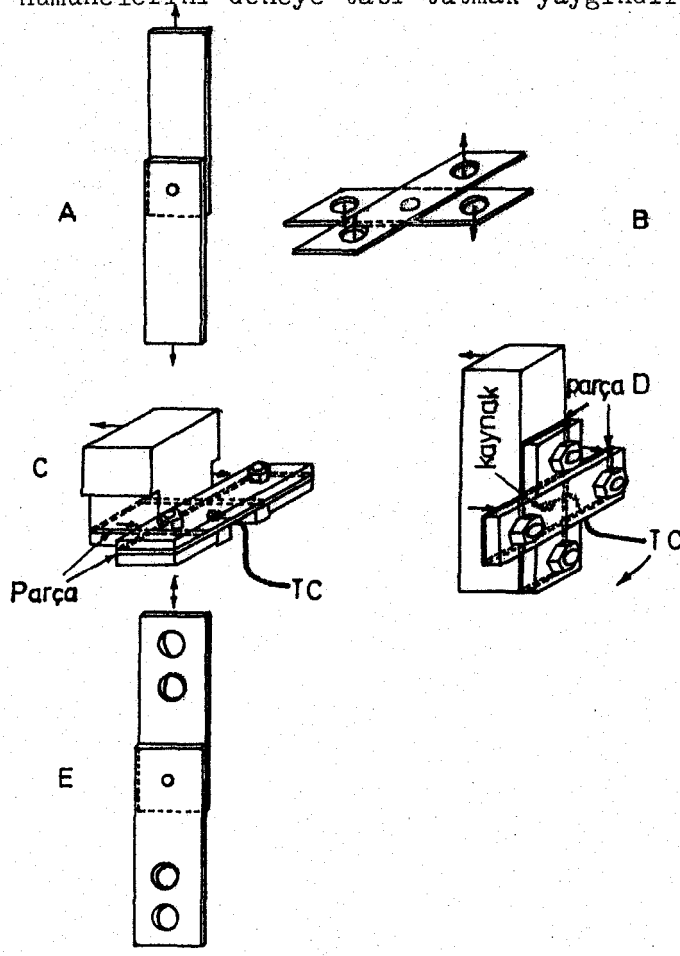
Bakır birikmesine aşağıdaki faktörlerden biri veya birkaçı sebep olabilir:

- a) Uygun olmayan yüzey hazırlama seçimi,
- b) Çok seyrek elektrod temizliği,
- c) Elektrod uçlarındaki rutubet,
- d) Aşırı kaynak akımı,
- e) Yeterli olmayan kaynak basıncı.

BÖLÜM 4 : NOKTA KAYNAĞI MUKAVEMET ÖZELLİKLERİNİN MUAYENESİ

4.1. - Nokta Kaynağının Tahribatlı Muayeneleri

Nokta kaynağı yapılan çeliklerin tahribatlı muayeneleri statik veya dinamik deneylerle yapılır. Yapılan bütün deneylerde kaynak çekirdeğinin büyüklüğü, şekli ve sertliği önemli faktörlerdir. Aşağıda bu deneylerden bazıları görülmektedir. (Şekil IV.1)
Eğer kaynak montajı çok genişse kaynak yapmak ve üretilmiş olan parçanın küçük nümunelerini deneye tabi tutmak yaygındır.

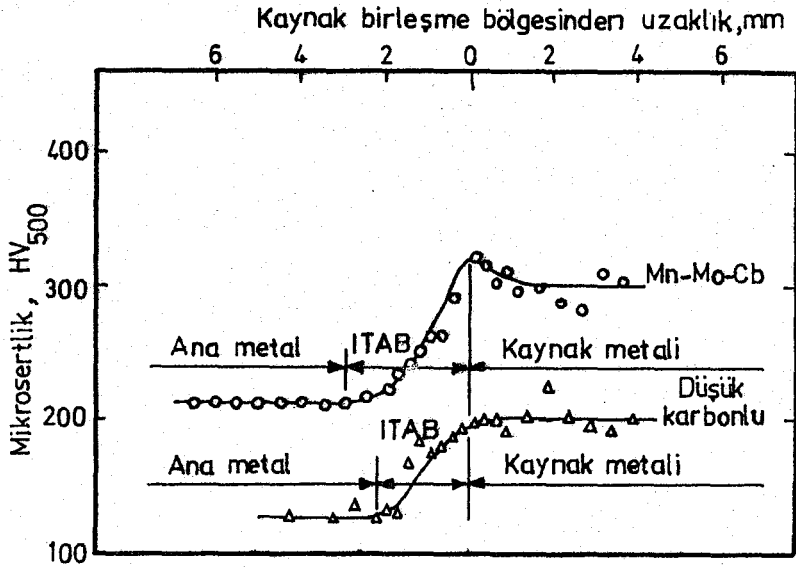


Şekil IV.1. - Mekanik deney nümuneleri.(15)

- A) Makaslama gerilimi, B) Çapraz gerilim, C) Çarpma makaslaması
D) Çapraz gerilim çarpması, E) Yorulma gerilimi.

4.1.1. - Nokta Kaynaklarında Sertlik Profili

Nokta kaynağı işlemine tabi tutulmuş; düşük karbonlu ve alaşımlı iki çelik levhanın sertlik profili Şekil IV.2. - de görülmektedir.



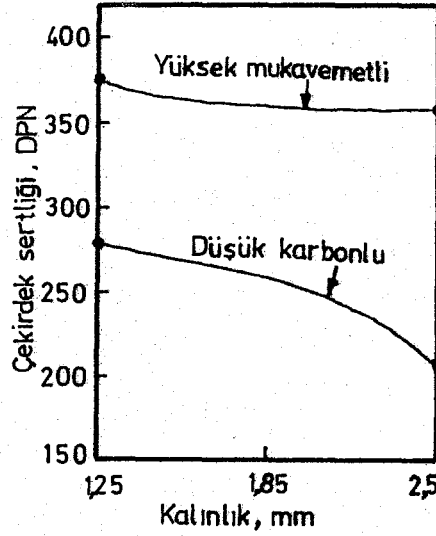
Şekil IV.2. - Nokta kaynaklarında sertlik profili.(18)

Şekilde görüldüğü gibi ana metal en düşük sertliğe sahip kısımdır. Kaynak noktasının olduğu kısım en yüksek sertliğe sahiptir. Kaynak noktasında elde edilebilen sertlik kaynaktan sonra meydana gelen ostenitin soğuma hızına bağlıdır.

Kaynak noktasının kimyasal kompozisyonu homojendir. Isıtma için kullanılan ısı, eriyen metalin homojen olarak oluşmasını sağlamaktadır. Fakat kaynak noktasının soğuma hızı iş parçası kalınlığı ve kaynak elektrodlarının boyutlarına bağlı olarak değişmektedir. İş parçası incelidikçe soğuma hızı daha fazla olmaktadır. Soğuma hızı ve kimyasal kompozisyona bağlı olarak çekirdek mikro yapısı ortaya çıkmaktadır. Yapı tamamen martenzit olabileceği gibi martenzitin yanı sıra beyrit ve ince perlit ihtiva edebilir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

NOKTA KAYNAKLARINDA SERTLİK
PROFİLİ



Şekil IV.3. - Parça kalınlığı ve sertlik. (20)

Şekilde görüldüğü gibi düşük karbonlu çelik sacda levha kalınlığının artmasıyla çekirdek sertliği düşmektedir. Yüksek mukavemetli çelik sacda ise; sertliğin levha kalınlığının artması ile azalması çok az olmakta veya hiç olmamaktadır. Bu durum çelik sertleşebilme kabiliyetinden kaynaklanmaktadır. Şekil IV.4. - de nokta kaynağında C miktarına bağlı olarak kaynak çekirdeğindeki elde edilebilir maksimum sertlik gösterilmektedir.

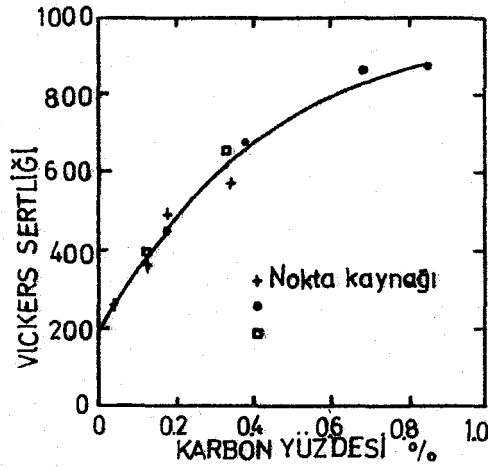
Isının tesiri altında kalan bölge ise ergime sıcaklığı ile kritik dönüşüm sıcaklıkları arasında homojen olmayan bir şekilde ısınmış olup, bu bölgenin soğuması da heterojen bir şekilde olur. Bu yüzden bu bölge içerisinde elde edilen mikroyapılarda farklılık gösterir.

Nokta kaynak özellikleri kaynak çekirdeği ve ITAB'da teşekkül eden martenzite bağlı olarak değişir. Genellikle % 0,2 - den daha fazla C ihtiva eden martenzit çok gevrek olmaktadır. Bu gevrekliğin olmaması için ya daha düşük karbonlu çelik sac kullanıl-

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

NOKTA KAYNAKLARINDA SERTLİK
PROFİLİ

malı veya kaynak işleminden sonra kısa süreli temperleme işlemi yapılmalıdır.



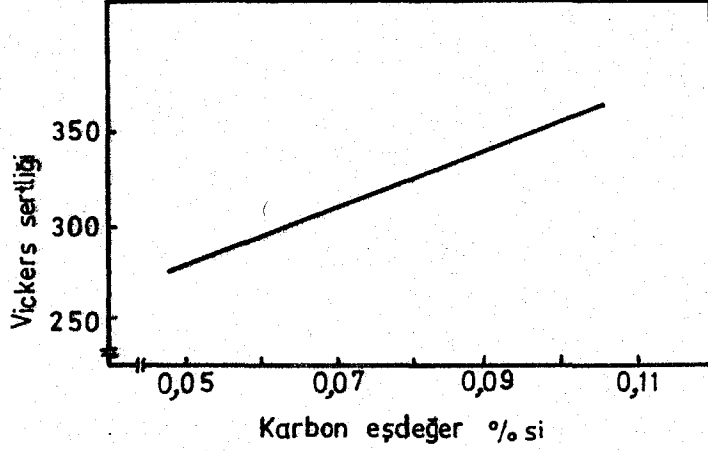
Şekil IV.4. - Maksimum sertliğe karbon yüzdesinin etkisi.(23)

Nokta kaynağında esas olarak karbon miktarından ziyade karbon eşdeğeri üzerinde durulmaktadır. Düşük karbonlu çeliklerin nokta kaynak kabiliyeti çok iyidir. Fakat alaşım elementlerinin ilâve edilmesi ile birlikte çeliğin karbon eşdeğeri (C_E) artar. Bunun sonucunda kaynak gevrekliği ortaya çıkar. Karbon eşdeğerinin artması çelik sertleşebilme kabiliyetinde artışa sebep olduğundan çekirdek sertliği yükselir ve dolayısıyla gevreklik meydana gelir. Karbon eşdeğerinin değeri ile çekirdek sertliğinin lineer olarak arttığı Şekil IV.5. - de görülmektedir

Düşük karbonlu çeliklerde karbon eşdeğerinin ağırlıkça en fazla % 0,24 olması istenir. Bu limit değerden daha yüksek karbon eşdeğerinde meydana gelen gevrekliğin giderilmesi için temperleme yapılır.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

NOKTA KAYNAKLARINDA SERTLİK
PROFİLİ



Şekil IV.5. - Karbon eşdeğerinin çekirdek sertliği üzerine tesiri.(6)

Düşük karbonlu çeliklerde karbon eşdeğerini tayin etmek için değişik formüller ileri sürülmüştür. Bunların başlıcaları aşağıda verilmiştir:

$$C_E = C + Mn / 6$$

$$C_E = C + Mn / 20$$

$$C_E = C + Si / 30 + Mn / 20 + 2 (P + 2S)$$

$$C_E = C + Si / 40 + Cr / 20$$

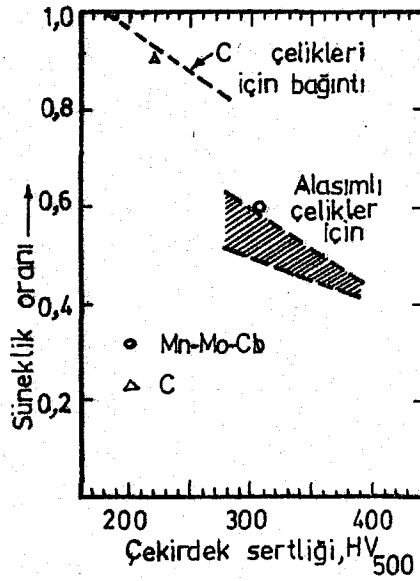
$$C_E = C + 1,5P + Mn / 15 + (Cb + V) / 6 + Ti / 3$$

$$C_E = C + Mn / 6 + V / 5$$

$$C_E = C + Si / 90 + (Mn + Cr) / 100$$

Bu formüllerdeki element sembolleri, çelik içerisindeki o elementin % olarak ağırlığını göstermektedir.

Sertlik artışı sünekliği azaltır. Bu ise gevrek bir yapıyı ortaya çıkarır. Burada en önemli faktör malzeme bileşimidir. Şekil IV.6. - da kaynak çekirdek sertliği ve süneklik oranı arasındaki bağıntı gösterilmiştir.

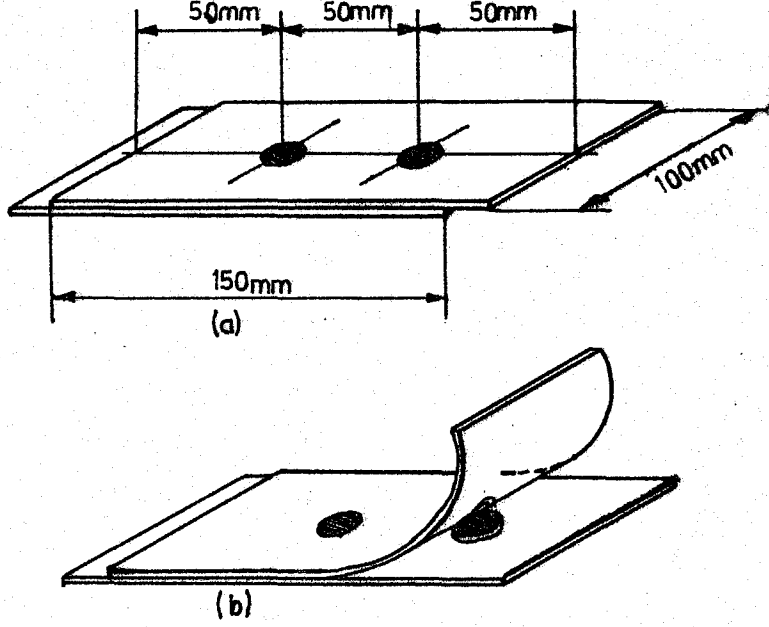


Şekil IV.6. - Kaynak çekirdek sertliği ve süneklik oranı arasındaki bağıntı. (18)

Şekilde görüldüğü gibi çeliğe alaşım elementlerinin ilâvesi sünekliği büyük bir ölçüde azaltmaktadır. Sünekliğin azalması, sertliğin artması ve dolayısıyla gevrekliğin ortaya çıkması şeklinde görülmektedir.

4.1.2. - Düşme Çıkarma Deneyi

Şekil IV.7. - de çekirdek boyutunu ortaya çıkarmak için yapılan deney görülmektedir. Bu deneyle düşmenin istenen boyuta gelip gelmediği kontrol edilir.



Şekil IV.7. - Düğme deneyi nümunesi. (18)

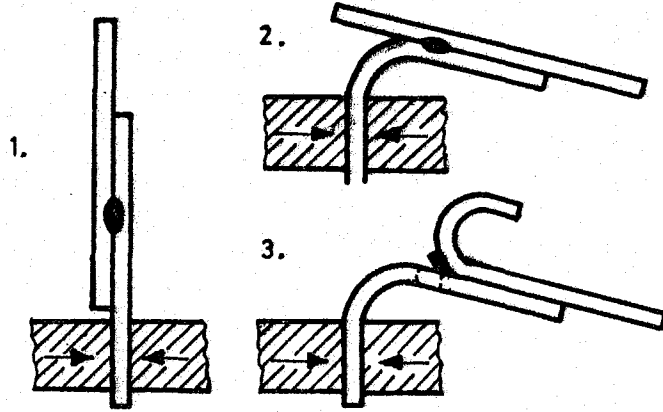
Düğmelenme; kaynak noktasının levhanın birinden sıyrılıp, bir delik bırakarak diğer levhada kalması halidir. Bu hasar tipi yeterli bir kaynak mukavemetinin göstergesidir. Yetersiz bir kaynak dikişinde hasar makaslama yoluyla meydana gelir. Bu nedenle, imalât sırasında, kalite kontrolü amacıyla, ayırma deneyi çok sık kullanılır. (Şekil IV.8.)

Deney sonucu düğmelenme meydana gelmez ise, kaynak değişkenleri yeniden ayarlanır.

4.1.3. - Çekme - Makaslama Deneyi

Kaynak noktasının mukavemetini tespit etmede en çok uygulanan deney çekme - makaslama deneyidir.

Bu deneyle hem kaynak çekme - makaslama kuvveti, hemde kaynak kırılma şekli elde edilir.



Şekil IV.8. - İmalât sırasında kalite kontrolü amacıyla kullanılan ayırma deneyi.(9)

Kaynak çekme - makaslama kuvvetine tesir eden bazı faktörler vardır. Bunların başında çekirdeğin büyüklüğü ve sertliği gelir. Şekil IV.9. -da çekme - makaslama deney nümunesi görülmektedir.



Şekil IV.9. - Çekme - Makaslama deney nümunesi.(10)

Çekirdek çekme - makaslama kuvveti ile çekirdek çapı ve çekirdeğin kayma mukavemeti arasında aşağıdaki denklemde verilen bağıntı mevcuttur.

$$F_{\text{ç}} = D_{\text{ç}}^2 \cdot f_{\text{ç}} \cdot \pi / 4$$

Formülde:

$F_{\text{ç}}$ = Çekirdek çekme - makaslama kuvveti.

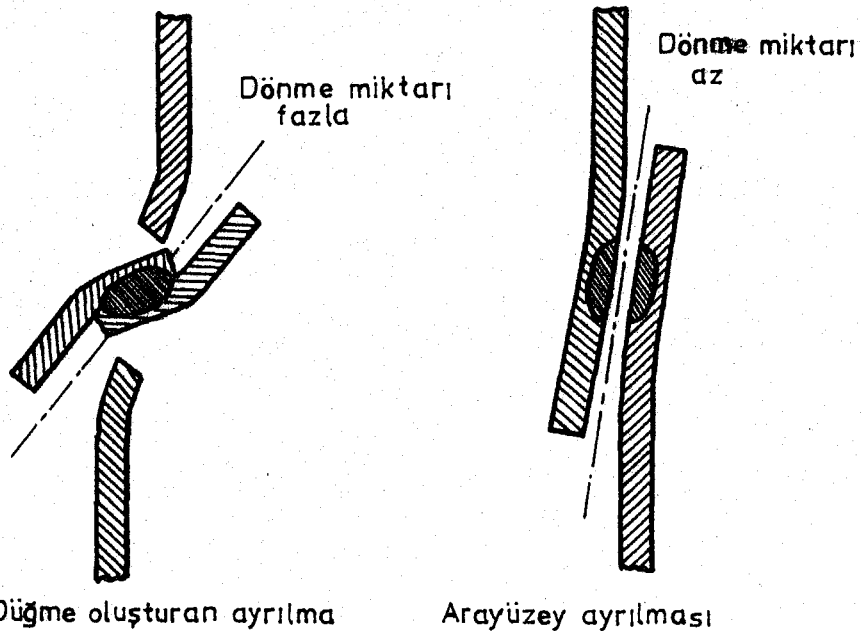
$D_{\text{ç}}$ = Çekirdek çapı.

$f_{\text{ç}}$ = Çekirdeğin kayma mukavemeti.

Kaynak sırasında akım şiddetinin arttırılması çekirdek çapının büyümesine ve dolayısıyla kuvvet artışına sebep olur. Çekirdeğin kayma mukavemeti ise hem çeliğin sertleşme kabiliyetine hem de iş parçalarının kalınlığına bağlıdır. Kaynak işleminin en son safhasında çekirdeğin soğuması olurken sertleşme kabiliyetine bağlı olarak çekirdek beynite veya martenzite dönüşür. Kalın parçalarda ise soğuma homojen olmadığı için çekirdekteki katı hal dönüşümleri de homojen olmayabilir. Çekirdek sınırlarında martenzit ve iç kısımlarda beynit teşekkül edebilir. Ayrıca kalın parçalarda soğuma daha yavaş olacağı için çekirdek mikroyapısında martenzit hiç bulunmayabilir. Çekirdek mikroyapısına bağlı olarak da sertlik ve dolayısıyla çekirdek kayma mukavemeti değişir.

Kaynağın çekme - makaslama kuvvetine tesir eden diğer önemli faktör ana metalin mukavemetidir. Ana metalin mukavemeti ne kadar yüksek olursa çekirdek ile ana metalin bağı o nispette kuvvetli olacağı için çekme - makaslama kuvveti de büyük olur.

Çekme - makaslama deneyinden ayrıca kaynak kırılma tipi elde edilmektedir.



Şekil IV.10. - Çekme - Makaslama deneyindeki kırılma tiplerinin şematik gösterilmesi.(18)

Kırılma tipinin incelendiği deney boyunca kaynak arayüzeyi gerilme yönünde normal olarak daha fazla döner. Aynı zamanda kaynak metali kopma yüklemesini tayin etmektedir. Dönme devam ederken kaynak arayüzey normal gerilimi çok hızlı bir şekilde artar. Fakat makaslama gerilimi normal gerilime nazaran belli bir azalma oranında artış gösterir.

Şayet kaynak metali makaslama gerilimine yeterince dayanıklı ise kaynak metali arayüzeyi düğme oluşmasını sağlamak için yeteri kadar döner. Şayet makaslama gerilimine yeteri kadar dayanıklı değilse arayüzey ayrılması oluşur.

Yapılan deneyde düğme çıkması genellikle kabul edilebilir kaynağı ifade etmektedir. Kırılma tipine tesir eden başlıca faktörler; kaynak yapılan parçanın kalınlığı, kaynak yapılan parçanın karbon eşdeğeri ve ana metalin mukavemeti olarak sayılabilir. Şekil IV.11. -de kırılma tipleri ve bunu etkileyen faktörler arasındaki bağıntı görülmektedir. Burada ana metalin mukavemetinin artışı kaynak mukavemetini arttırır aynı şekilde, karbon eşdeğerinin artması da kaynak mukavemetinde artışa sebep olur. Ana metal mukavemetindeki artış, arayüzey ayrılma eğilimini arttırır. Aynı zamanda levha kalınlığındaki artışlarda arayüzey ayrılması oluşumuna sebep olmaktadır.

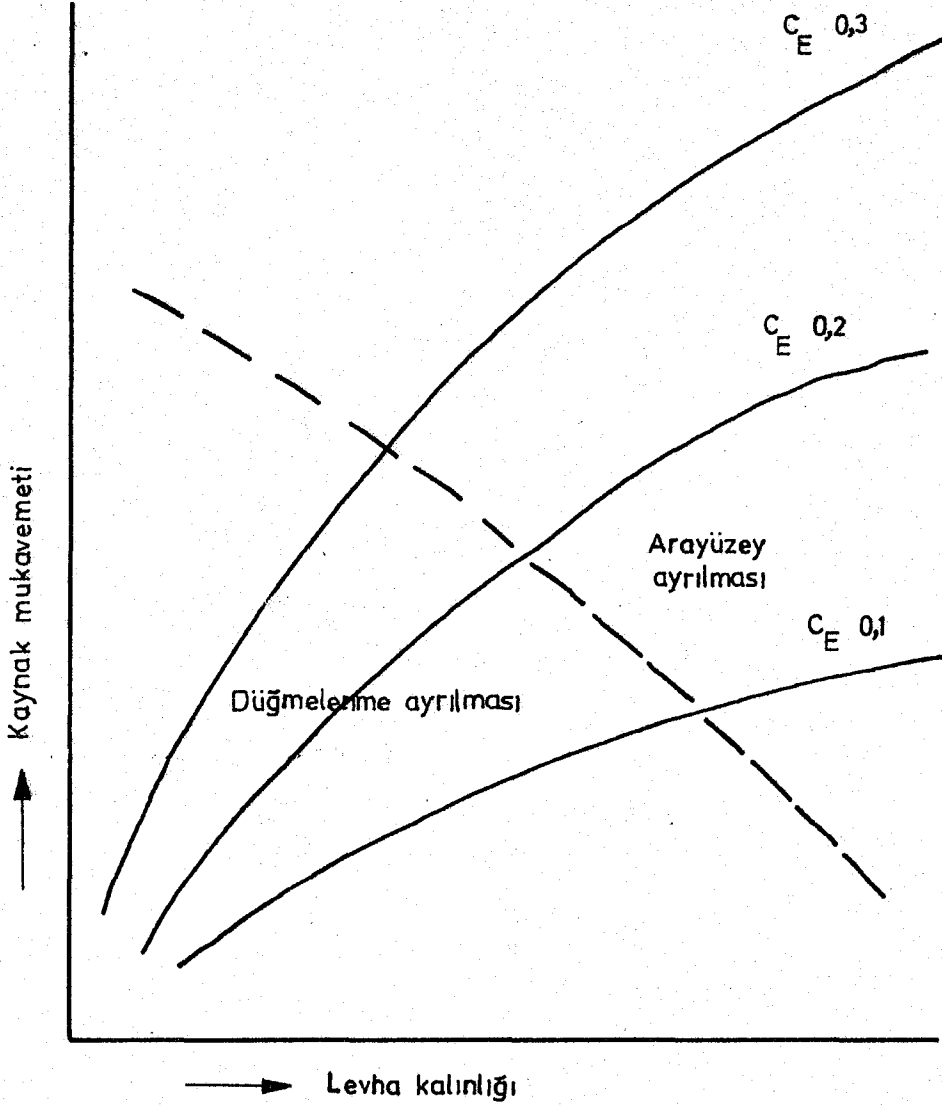
Yukarıda sayılan faktörler kaynak çekirdeği ucunda teşekkül eden gerilmeler üzerine tesir etmektedir. Şayet kaynak çekirdeği keskin köşeli şeklinde ise arayüzey ayrılması, yuvarlaksa düğmeleme ayrılması oluşur. Köşe tabiri ise köşe açısına bağlıdır.

$\frac{s}{d} > 0,25$ ise arayüzey ayrılması, aynı şekilde pratik olarak: $d = 5 \cdot \sqrt{s}$ 'olacağı için 1,5 mm - den kalın levhalarda arayüzey ayrılması beklenmektedir.

Formülde:

s = Levha kalınlığı.

d = Kaynak çekirdek çapı.



Şekil IV.11. - Kaynak mukavemeti ve levha kalınlığının, kırılma tipine olan tesirleri.(12)

Günümüze kadarki araştırmalar kırılma tipine etki eden faktörlerle ilgili olarak yapılmıştır. Bununla beraber esas zorluk, uygulama şartları altında bir nokta kaynağı etrafında oluşan gerilim sisteminin karmaşıklığındandır. Hem düğmelenme hem de arayüzey ayrılmasının oluşumu kaynak arayüzeyi ve ısının tesiri altında ka-

kalan bölgedeki ilgili gerilim değerlerine bağlıdır. Bu iki gerilim değeri son zamanlarda Von Mises Distorsiyon Enerjisi kriterini kullanarak, Van dem Bossche tarafından hesaplanmıştır.

Analizde, eşit gerilimler önceden belirlenen kırılma tipi ve her bölgedeki kırılma için gereken gerilimle karşılaştırılmıştır. Yapılan bu analiz arayüzey ayrılmasının engellenmesi ve düğme oluşumunun sağlanmasını göstermiştir.

Analiz sonunda elde edilen formül:

$$\frac{d}{s} > \left(\frac{1,5 \cdot \sigma_{Ak} \cdot b}{\sigma'_{Ak} \cdot s} \right)^{1/2}$$

Formülde:

d = Kaynak çekirdek çapı.

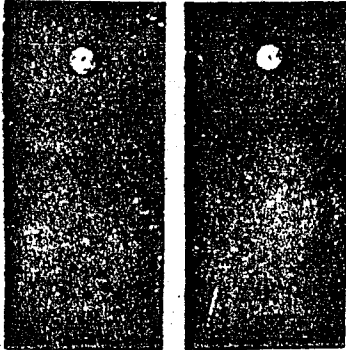
s = Levha kalınlığı.

b = Levha genişliği.

σ_{Ak} = Ana metal akma mukavemeti.

σ'_{Ak} = Kaynak metali akma mukavemeti.

Verilen formüldeki şartların sağlanması halinde düğme oluşumu beklenmektedir.



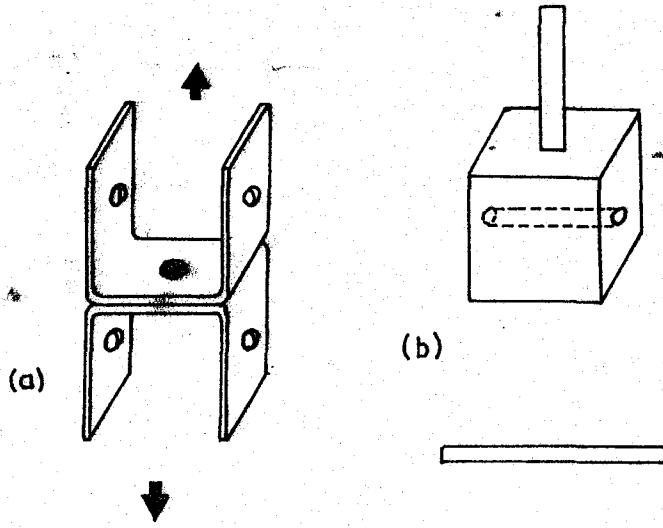
(a) Ayrılma kırılması



(b) Düğmelerne

4.1.4. - Normal Çekme Deneyi

Nokta kaynaklarında normal çekme deneyi iki şekilde yapılmaktadır. Kalın levhaların normal çekme deneyi U biçimi çekme numuneleri kullanılarak yapılmaktadır. (Şekil IV.13.)

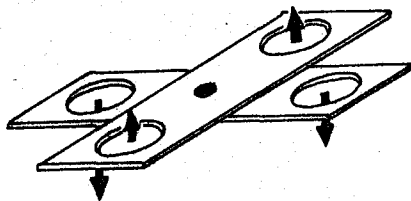


Şekil IV.13. - Normal çekme deneyi.(6)

- a) U - çekme deney numunesi.
- b) U - çekme deneyinde kullanılan aparat ve pim.

Deney çekme cihazında yapılmaktadır. Deneyde parçaların normal yönde kırılması sağlanır. Bu deney sonunda kırılma tipi belirlenir. Kırılma kaynağın kalitesine göre düğmelenme veya arayüzey ayrılması şeklinde görülür.

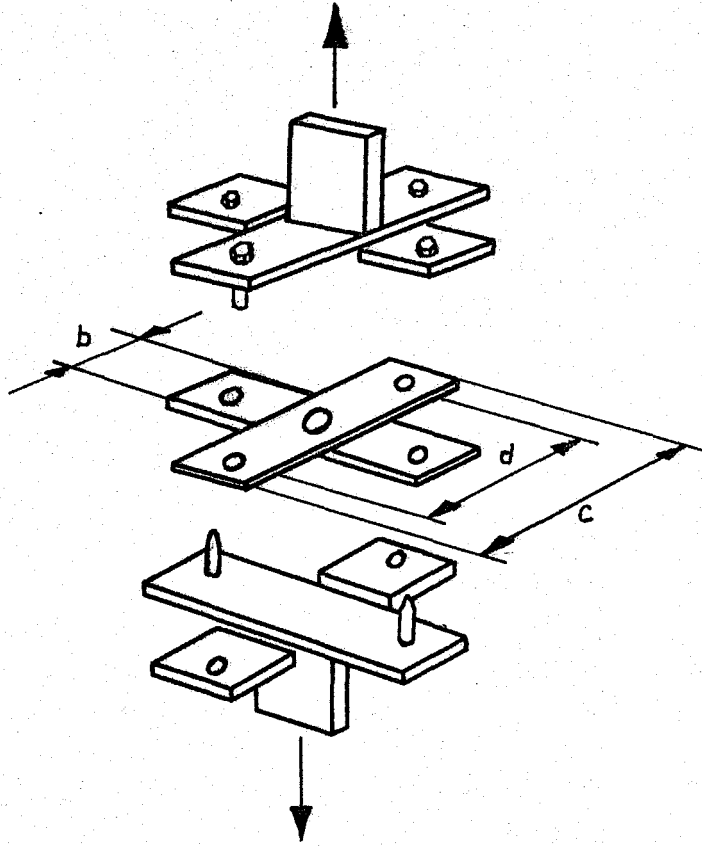
İnce parçaların normal çekme deneyi ise haç biçimi deney numuneleri ile yapılır. (Şekil IV.14.)



Şekil IV.14. - Çapraz gerilme deney numuneleri.(18)

Bu deneyde nümuneler ha biçimi olduğundan gerilim çapraz olarak uygulanır. Bu yüzden deney çapraz gerilim deneyi olarak adlandırılır.

Deney nümuneleri ince olduğundan önce özel aparatlara tutturulur. Sonra ekme cihazına bağlanarak gerilim uygulanır.

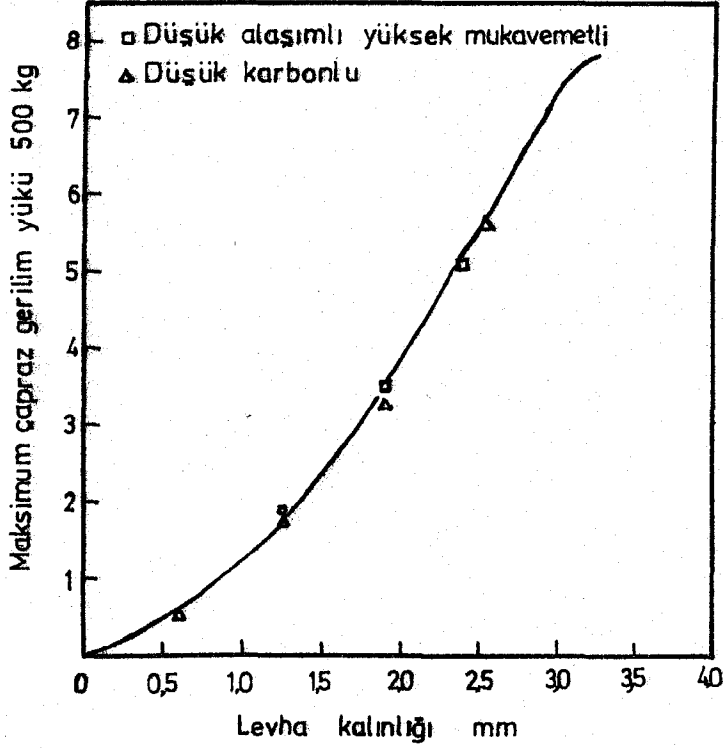


Şekil IV.15. - apraz gerilme deneyinin yapılıŐı.(13)

Çapraz gerilme deneyinden diğer deneylerde olduğu gibi kırılma tipine göre kaynak mukavemeti tespit edilir.

Maksimum apraz gerilim yüküne tesir eden önemli faktörler olarak, ana metal bileşimi ve levha kalınlığı sayılabilir.

(Şekil IV.16.)



Şekil IV.16. - Nokta kaynağında farklı bileşime sahip iki çelik için, levha kalınlığına göre çapraz gerilim yüklerinin mukayesesi. (15)

Şekilde görüldüğü gibi iki değişik çeliğin çapraz gerilim yükleri çok fazla farklılık göstermemektedir.

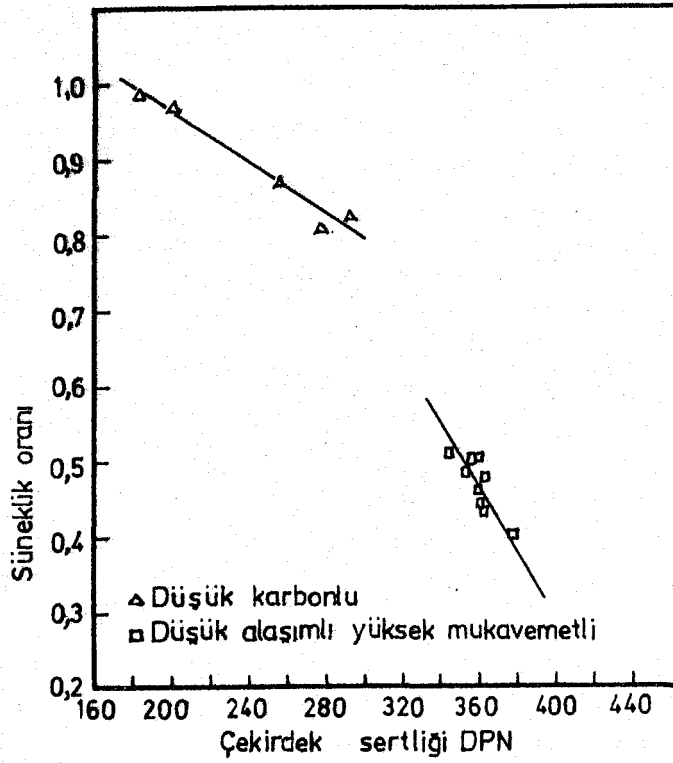
4.1.5. - Süneklik Oranının Tespiti

Malzemelerin kırılma tipine tesir eden faktörlerin başında o malzemelerin sünekliği gelir. Süneklik nokta kaynağında büyük bir önem taşımaktadır. Çünkü nokta kaynağının kalitesini kırılma tipi belirlemektedir.

Normal çekme / Çekme makaslama oranı malzeme sünekliğinin bir ölçüsüdür. Nokta kaynağında bu oran kaynak çekirdek sünekliğini belirlemektedir. Eğer kaynak çekirdeği ince levhalarda Normal çekme / Çekme makaslama $> 0,40$ şartını taşımiyorsa temperleme ge-

rekmetedir.

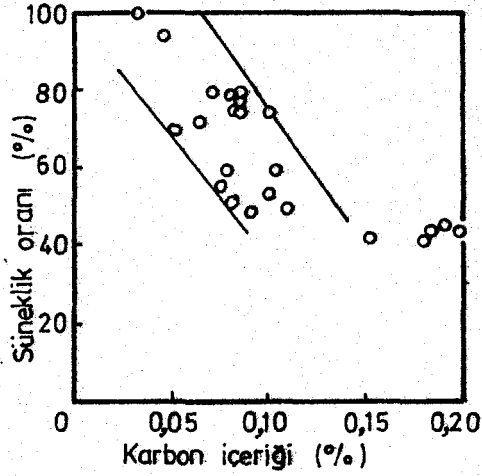
Kaynak çekirdeğinin süneklik oranını etkileyen bazı faktörler vardır. Şekil IV.17. - de çekirdek sertliğinin etkisi görülmektedir.



Şekil IV.17. - Nokta kaynağında farklı bileşime sahip iki çelik için kaynak çekirdek sertliğinin süneklik oranına etkisi.(15)

Şekilde görüldüğü gibi çekirdek sertliğinin artışı süneklik oranında azalmaya sebep olmaktadır.

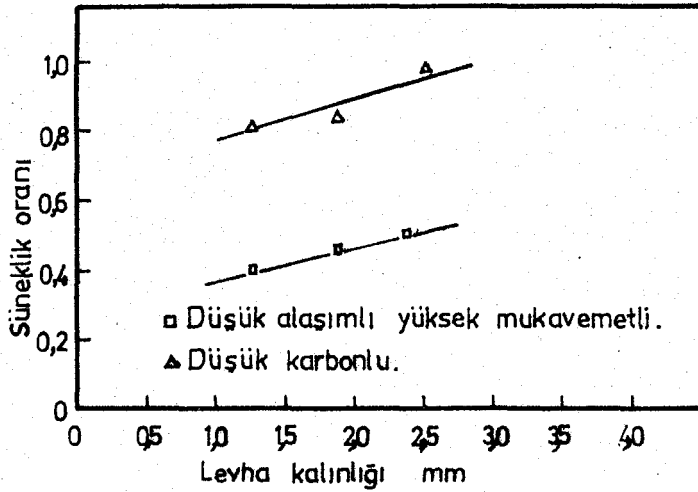
Kaynak çekirdeği süneklik oranında karbon içeriğininde etkisi büyüktür. (Şekil IV.18.)



Şekil IV.18. - Nokta kaynağında süneklik üzerine karbon içeriğinin etkisi.(10)

Şekilde görüldüğü gibi karbon içeriğindeki artış süneklik oranında azalmaya sebep olmaktadır.

Süneklik oranında levha kalınlığı da büyük bir etkiye sahiptir. (Şekil IV.19.)



Şekil IV.19. - Nokta kaynağında farklı bileşime sahip iki çelik için levha kalınlığına göre süneklik oranlarının mukayesesi.(15)

Görüldüğü gibi her iki çelik için levha kalınlığında meydana gelen artış, süneklik oranında artışa sebep olmaktadır.

Bunlara ilâveten parça kalınlığı, karbon içeriği ve süneklik oranları arasında da bağıntılar mevcuttur. Alaşımsız çelikler için:

$$C_{\max} = 0,10 + 0,3.t \quad \text{için } \% 50 \text{ süneklik,}$$

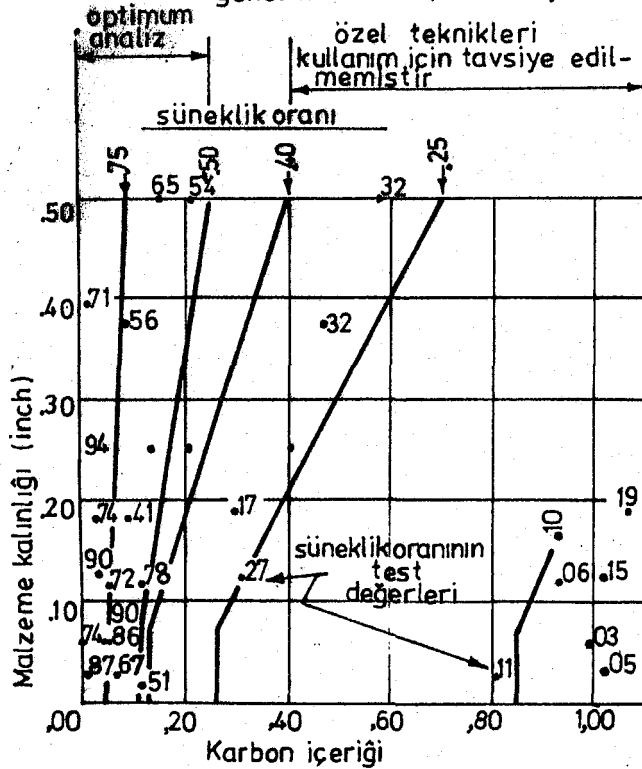
C = % Karbon içeriği.

t = levha kalınlığı. (inch)

$$C_{\max} = 0,10 + 0,6.t \quad \text{için süneklik oranı üst sınırı } \% 40.$$

Şekil IV.20. - de süneklik bağıntıları gösterilmiştir.

sıcak haddelenmiş malzemelerde
genel kullanım için tavsiye edilmiştir

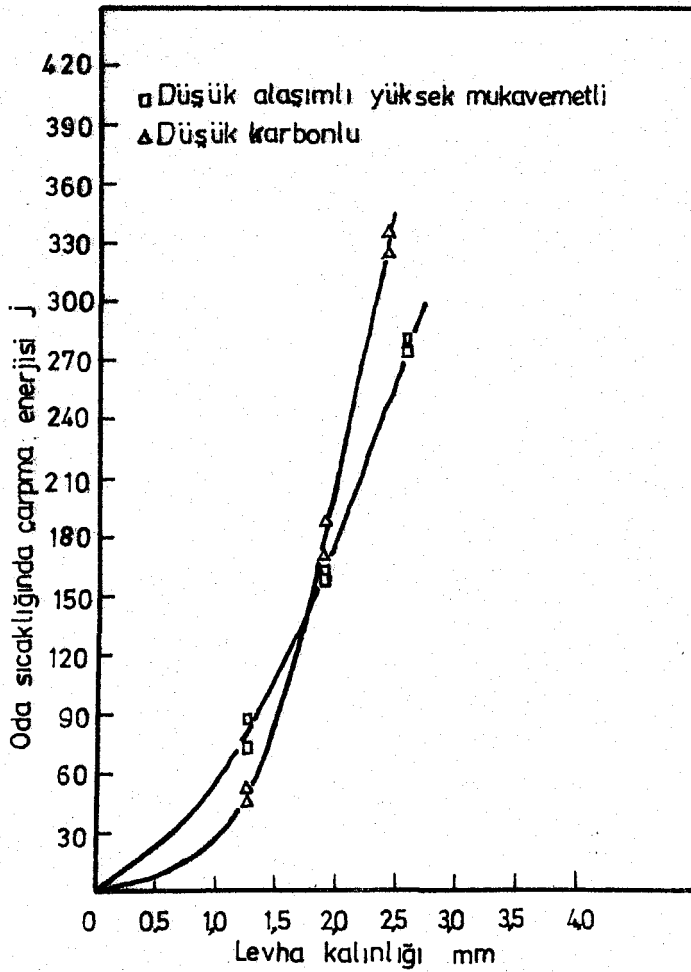


Şekil IV.20. - Sıcak haddelenmiş alaşımsız çelikler için; levha kalınlığı, karbon içeriği ve süneklik oranları arasındaki bağıntılar. (25)

4.1.6. - Darbe Deneyi

Darbe mukavemeti esas olarak çarpışma hali için geçerlidir. Nokta kaynağında darbe deneyi; Çarpma makaslaması ve çapraz gerilim çarpması olmak üzere iki şekilde uygulanmaktadır. (Şekil IV.1.)

Deneyle charpy deney makinasında uygulanır. Deneyle kırılma kuvveti ölçülür. Sonuçta elde edilen çarpma enerjisi deney sıcaklığından büyük ölçüde etkilenmektedir. (Şekil IV.21.)

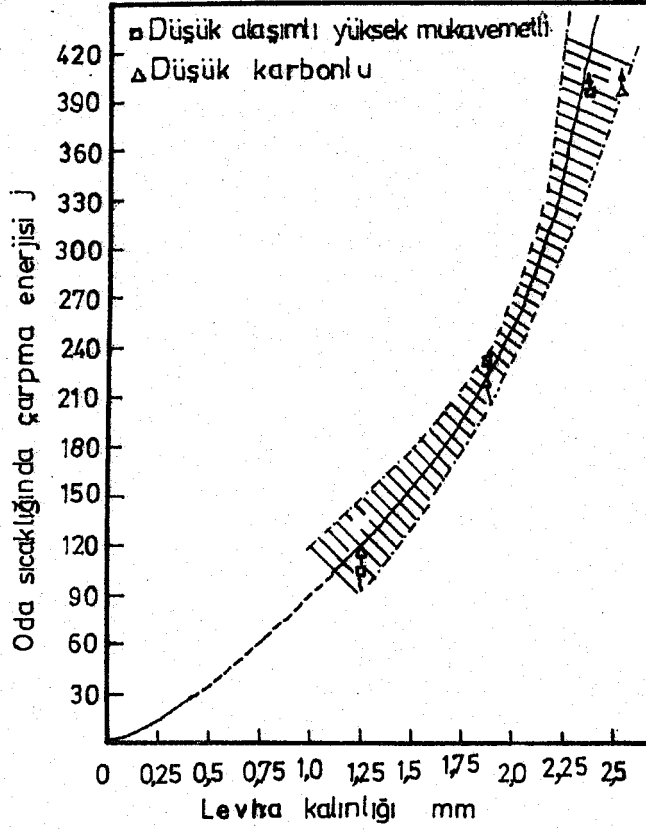


Şekil IV.21. - Farklı bileşime sahip iki çelik için, nokta kaynaklarının çapraz gerilim çarpma enerjilerinin oda sıcaklığında mukayesesi. (15)

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DARBE DENEYİ

Şekil IV.22. - de ise çarpma - makaslama enerjilerinin mukayesesi görülmektedir.



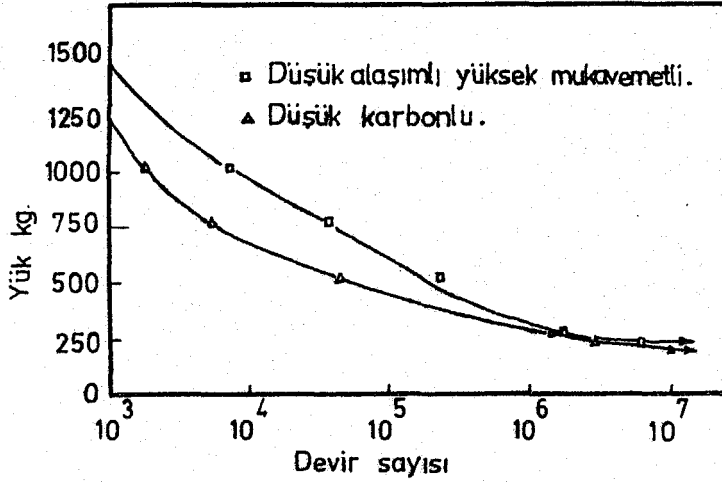
Şekil IV.22. - Farklı bileşime sahip iki çelik için nokta kaynaklarının çarpma - makaslama enerjilerinin oda sıcaklığında mukayesesi.(15)

4.1.7. - Yorulma Deneyi

Normal çalışma şartlarında kırılmalar yorulma ile meydana gelmektedir. Yorulma ise dinamik, değişken ve tekrarlı yüklerin etkisiyle oluşmaktadır. Yorulma deney numunesi Şekil IV.1. - de gösterilmiştir.

Nokta kaynağında yorulma kırılmasının tipini kaynak çekirdeğinin metalurjik özellikleri belirlemektedir. Kırılma sonucu düğmelenme meydana gelmiş ise bu yeterli bir kaynak göstergesidir.

Yorulma dayanımında ana metal bileşiminin etkisi büyüktür. Şekil IV.23. - de iki ayrı çelik için yorulma mukavemetleri gösterilmiştir.

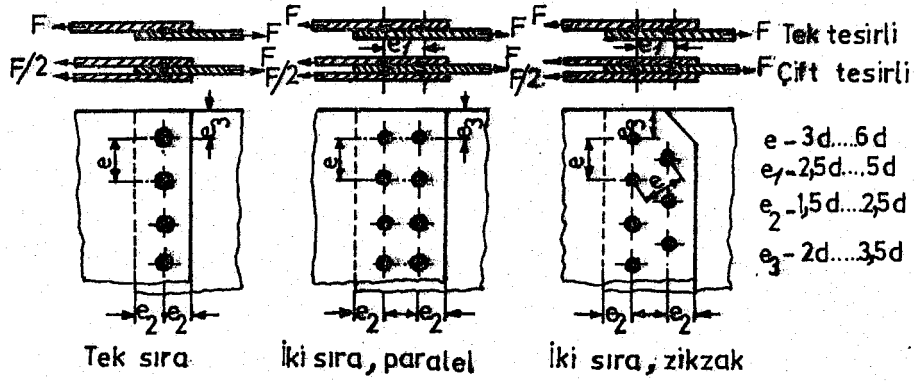


Şekil IV.23. - Nokta kaynağında farklı bileşime sahip iki çelik için yorulma mukavemetlerinin mukayesesi. (15)

4.2. - Nokta Kaynağının Mukavemeti

Nokta kaynağı cihaz yapımı ve makina imalâtında genellikle ince saçların bağlantısında kullanılır. Mukavemet bakımından çok defa büyük zorlanmalar yoktur. Kaynağın bir bağlantı görevi yapması yeterlidir. Nokta kaynağı çapının 4 mm civarında olduğu zaman kayma mukavemeti, yapı elemanının çekme mukavemetine yaklaşık olarak eşittir. Çap büyüdükçe mukavemet azalmaktadır.

Nokta kaynağında kullanılan kaynak dikişleri Şekil IV.24. - de gösterilmiştir.



Şekil IV.24. - Nokta kaynağında dikiş şekilleri.(4)

Nokta kaynağı zorlanma yönünden makaslama kuvvetleri için uygundur. Bu halde kaynak edilen kısımlar kesmeye çalışarak dış kuvveti karşılarlar. Oluşan kesme gerilmesi,

$$k = \frac{F}{f} \ll \tau_{\text{kem}}$$

dir. Formülde F = kuvvet ve f ise kaynak noktalarının toplam kesit alanını göstermektedir.

Tablo IV.1. - de $\varnothing 1020$ için bir kaynak noktasının emniyetle taşıyabileceği F_{em} yük değerleri verilmiştir. F toplam yük belli olduğuna göre F / F_{em} - den nokta adedi hesaplanabilir.

Tabloda verilmiş bulunan değerler yaklaşık değerlerdir. Kaynak sırasında veya kaynaktan sonra iş parçaları üzerinde yapılan (Isıl işlem vb.) bir takım işlemler, mukavemet değerleri üzerinde azda olsa farklılıklara sebep olmaktadır.

s (mm)	d (mm)	Fem (N)	
		Tek tesirli	Çift tesirli
0,5	2,5	500	700
1	4	1500	1700
1,5	6	2500	3100
2	7	3400	4800
2,5	8	4400	7000
3	9	5300	9200
3,5	9,5	6200	11600
4	10	7000	14000
4,5	10.5	7900	16000
5	11	8500	17000

Tablo IV.1. - Nokta kaynağında Ç 1020 malzemesi için bir kaynak noktasının d çapı ve emniyetle taşıyabileceği Fem yükü.(4)

4.3. - Nokta Kaynağının Tahribatsız Muayeneleri

AWS kaynak el kitabı oldukça genel olarak, ekonomik olmayan yada muayene edilebilir nokta kaynaklarının pratik tahribatsız muayenesinin uygun olduğunu belirtir.

Kaynakların diğer tiplerinin uygulaması için kullanılmış olan tahribatsız muayeneler aynı zamanda nokta kaynakları için de kullanılabilir. Ultrasonik muayene bilhassa meydana gelen çatlaklar, erime hataları, boşluklar ve inklüzyonları tespit eder. Fakat kaynak üzerindeki düz olmayan metal yüzeyine güç çevrimini bağlamak zordur. Aynı zamanda onların kaynak mukavemeti üzerine olan etkilerinden terimlerdeki işaretlerin manâsını açıklamak görülür bir beceri gerektirir. X ışını muayenesi noktanın düzleminde normal olarak pratik değildir ve nokta düzlemine dik kullanıl-

diği zaman nokta kaynak çatlaklarının birisini, erime hatasını göstermede çok zayıftır.

Bu zorluklar sebebiyle çok geniş hacimli üretim uygulamalarındaki gayretin çoğu kaynak işleminin kendi kendisinin dinamik kontrolünü değiştirmiştir. Otomatik kaynak kontrol edicileri ; kaynağın dinamik direncini, kaynakta akustik emisyonları yada kaynağa giren toplam enerjiyi simule etmek için kaynak akımının toplam karesinin basitçe hesaplanmasını ekrana yansıtır. Bu tekniklerin tümü özellikle, malzeme hacmi ve yüzey özelliklerinin çok iyi kontrol edildiğini farzeder. Elektrod geometrisindeki değişmeler, nokta uygunluğu ve diğer kaynak şartları ; bu otomatik kontrol vasıtasıyla meydana çıkarılamayan mukavemetsizliğe sebep olabilir.

Son yıllarda direnç kaynağının çalışma sırasında kontroluna ilgi artmış ve sistemin geliştirilmesi üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bu maksatla farklı metodlar geliştirilmiştir. Kaynak sırasında şekil değişimi, güç, dinamik direnç ve akustik emisyonlardan faydalanılarak kaynak yapılırken kontrol yapılmaktadır. Bu metodların içinde en yaygın olanı dinamik direnç ölçüm metodudur.

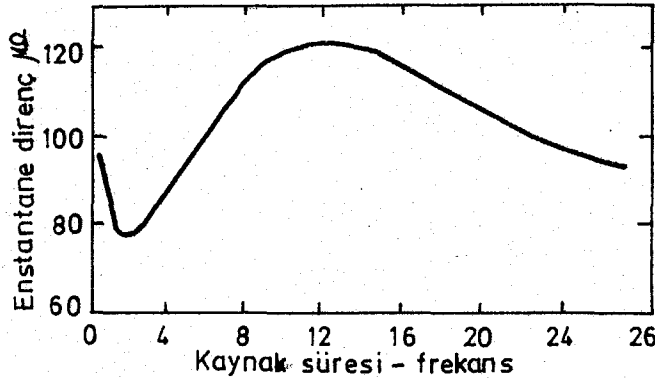
4.3.1. - Çalışma Sırasında Nokta Kaynak Kontrolü

Nokta kaynağının çalışma sırasında kontrolü için bir çok metodlar geliştirilmiştir. Bu metodlardan dinamik direncin ekrana yansıtılması çok geniş ölçüde uygulanmaktadır. Bu kontrol sistemi bir kaç üretimden elde edilir. Böyle cihazların tesis edilmesi için motivasyon değişir. Kritik bileşenlerin güvenliği üzerine kaynak kalitesini elde etmek için ihtiyaç duyulur ve bu usulün maliyetinin azaltılması gerekir. Pratik bir atelye için maalesef kullanışlı değildir ve çalışma sırasında sistemler sadece; fazla elektrod aşınması ve fakir bileşenlerin eklenmesini normal olarak içermeyen kaynak parametreleri içinde yerleşmiş sınırlı değişkenleri etkiler.

Nokta kaynağının kontrolü için uygun, nokta kaynağına bağlı bir voltaj sistemi İngiltere Kaynak Enstitüsünde geliştirilmiştir. Bu metod dinamik direnç sistemleri için benzerdir. Ancak elektrod- lar arası voltaj ölçümü ile kaynak kontrol altında tutulmaktadır. Elektrodlardan geçen kaynak voltajındaki ön bir azalmaya kadar oto- matik olarak genişleyen kaynak zamanı kaynak işlemi boyunca meydana çıkarılır.

4.3.1.1. - İşlemin Prensipleri

Yumuşak çelikte kaynak işlemi boyunca enstantane direnç ve kaynak süresi - frekans arasındaki bağıntı Şekil IV.25. -de gös- terilmiştir.

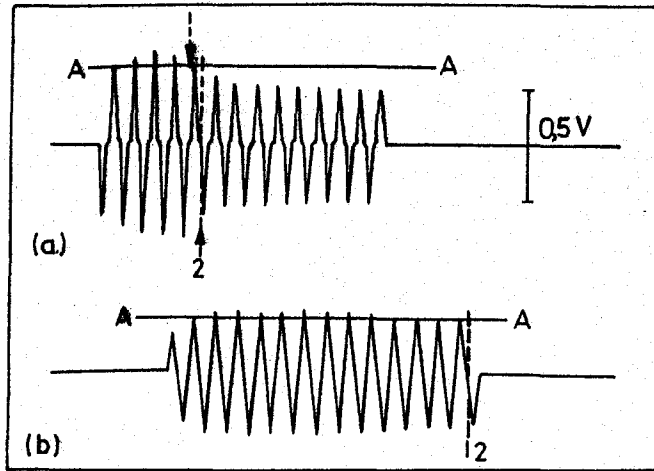


Şekil IV.25. - 1,6 mm kalınlığındaki yumuşak çelik için dinamik direnç eğrisi.(11)

Başlangıçta mikro temas sebebiyle yüksek olan direnç mikro temasın kesilmesiyle bir parça azalır. Daha sonra direnç bir maksimum değere kadar artar, ardından sürekli olarak azalır.

Zirveden sonra dirençteki azalma; elektrod levha temas alanında bir artmaya, elektrodlar arasındaki mesafenin azalmasına ve kaynak formasyonlu levha levha temasındaki bir artmaya atfedilir.

Çalışma sırasında düzeltilmiş sistemler, dirençte bir ön azalma meydana geldiği zaman kaynak akımının akışını durduran dirençle bağlıdır. Farklı bir yaklaşım; kaynak boyunca monitöre yansıtılan, sadece kaynak esnasında geçen voltaj İngiltere Kaynak Enstitüsünde geliştirilmiştir. Bu sistem bundan dolayı daha basittir, akım ve voltajın her ikisinin de ekrana yansıtan dinamik direnç sistemlerinden daha ucuzdur. Şekil IV.26. - da iki farklı akımda elde edilmiş, tipik elektrodlar arası voltajın izleri görülmektedir.



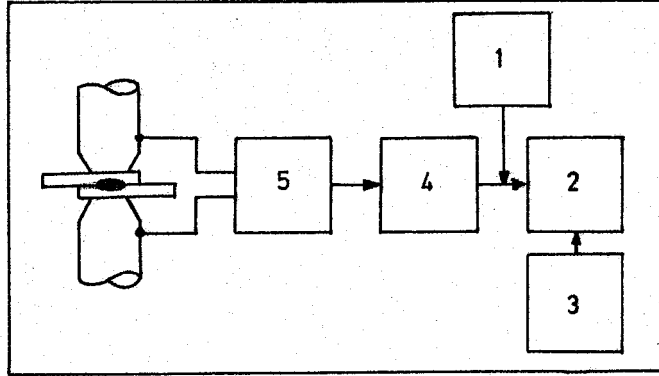
Şekil IV.26. - Tipik elektrodlar arası voltaj kaydı.(11)
a) Yüksek ısı şartında yapılmış su soğutmalı kaynak , b) Daha düşük ısı şartında yapılmış, tam gelişmiş su soğutmasız kaynak.
1 - Soğutma başlangıcı, 2 - Soğutmanın son noktası.

Şekil IV.26.a. - yüksek akımda yapılan, su soğutmalı bir kaynak için tipik elektrodlar arası voltajın izini gösterir. Şekil IV.26.b. - ise daha düşük akımda yapılan, tam gelişmiş su soğutmasız kaynak için izi gösterir.

Kaynağın soğutulması esnasında voltajdaki ani bir azalma a - daki şekilde görüldüğü gibidir. Fakat daha fazla düzenli bir

azalma daha sonra belirginleşir. Kontrol sistemleri; voltajda ön bir azalma meydana gelene kadar, otomatik olarak kaynak zamanını genişletir. Böylece eğer yüksek bir kaynak akımı kullanılır ve kesilirse a - daki AA hattı oluşur. Bu su soğutmalı bir kaynak içindir. Şayet daha düşük bir akım kullanılır ve akım kesilirse b - deki gibi süreklilik gösteren AA hattı oluşur. Bununla su soğutmasız tam gelişmiş kaynak elde edilecektir. Fakat kaynak için gereken zaman uzayacaktır. (5 ~ 13 frekans)

Voltaja dayalı kontrol sisteminin prensip elemanları Şekil IV.27. - de gösterilmiştir.



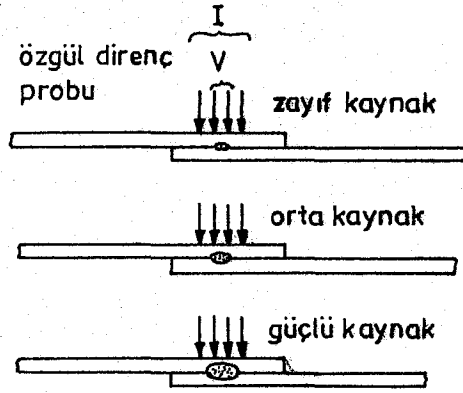
Şekil IV.27. - Voltaja dayanan kontrol sistemlerinin prensip elemanları. 1 - Ana voltaj kontrol, 2 - Kaynak akımı kesici, 3 - Zamanlayıcı, 4 - Voltaj karşılaştırıcısı, 5 - Düzenleyici.(11)

4.3.2. - Nokta Kaynağı Mukavemetinin Basit Elektrik Ölçümleriyle Tayini

Son bir Fransız patenti tamamlanmış nokta kaynağı muayenesi için bir elektrik tekniğini açıklamıştı. Cihaz nokta kaynağı mukavemetini tespit etmek için, kullanılan metallerin elektrik direncini tespit etmek için geliştirilmiştir.

4.3.2.1. - Esas Ölçme Teorisi

Burada anlatılan teknik; kaynaklanmış levhalardan birinin içindeki elektrik akımının akışı üzerine, onun etkisinden kaynak erime bölgesinin efektif alanının tespit edilmesini sağlar. Şekil IV.28. - de esas ölçme tekniği gösterilmiştir.



Kaynak erime bölgesi-

Şekil IV.28. - Arayüzey içinde, iki levha arasında siperlenmiş bulunan kaynak erime bölgesinin dört noktalı prob ile elektrik ölçümleri için gösterilmesi.(3)

Akım dış temas yüzeyinden geçirildiği zaman, (kalınlığa ve özgül dirence bağlı) voltaj levha içinde oluşur. Bu voltaj; voltaj problemleri, iç temas edicilerle bulunur ve özel bir voltmetre ile ölçülür. Burada levhalar birleştirilmiş durumdadır ve problemlerden geçen voltaj, bir levha için tam olmayan erime voltajından daha küçüktür. Voltajdaki bu değişimler kaynak erime bölgesinin boyutunun bir göstergesidir. Bu ölçmenin kaynağın gerçek mukavemetinin tam bir gösterimini verdiği aşağıda açıklanmıştır.

İdeal olarak ölçülmüş voltajı, prob boşluğunu (s) ve malzeme kalınlığı t - yi erime bölgesinin boyutunu tespit etmek için

bağlamak istiyoruz. Sonra kaynak mukavemetini hesaplamak için bilinen malzemenin mekanik mukavemeti ile birleşiminde bu kaynak geometrisini kullanmak istiyoruz. Fakat elektrik (potansiyel teo-ri) denklemlerinin çözümleri ve mekanik mukavemet formülü oldukça karışıktır.

Gözlenebilen etkilerin, boyuttan biraz fikir almak için basit bir halini analiz etmek kullanışlıdır. Bu parça kalınlığından çok daha geniş prob boşluğu ve iç problardan geçen voltaj için yapılan Uhlir analizini gösterir.

$$V = Ip / 4,53 \cdot t$$

Burada I dış probdan geçen amper olarak akımdır. p da ohm. cm olarak malzemenin direnci ve t cm olarak parça kalınlığıdır. Şayet üst ve alt levhalar aynı ise ve geniş bir alan üzerinde birbirlerine birleştirilirse kaynaklanmış levha 2t kalınlığında tek bir levhaya eşit olacaktır. Böylece Şekil IV.28. - deki gibi ölçülmüş olan voltaj tek bir levha olduğu için yarıya azaltılabilecektir. Prob boşluğunun yaklaşık boyutunun nokta kaynakları için daha küçük bir etkisi gözlenebilecektir.

Aşağıdaki analiz için V_w - yi kaynaktaki prob ile ölçülmüş voltaj olarak ve V_m - yi kaynaklanmamış malzeme için ölçülen voltaj olarak ifade etmek uygundur. V_w / V_m oranı 1'den daha az olmalıdır ve daha geniş erime bölgeleri için daha küçüktür. VRF 'yi aşağıdaki voltaj azalma faktörü diye ifade etmek uygundur.

$$VRF = 1 - (V_w / V_m)$$

Eğer erime bölgesi önemsizse böylece VRF sıfırdır ve erime bölgesi genişlerken oda artar ve ince levhalar için ortalama prob boşluğu ile karşılaştırıldığında daha geniş olan bir erime bölgesi için $0,5 <$ yaklaşır. VRF 'nin bu izahı oldukça kullanışlıdır. Çünkü aşağıda görüldüğü gibi gerçek kaynak mukavemeti şartlardaki büyük bir değişme için basitçe VRF 'ye orantılıdır.

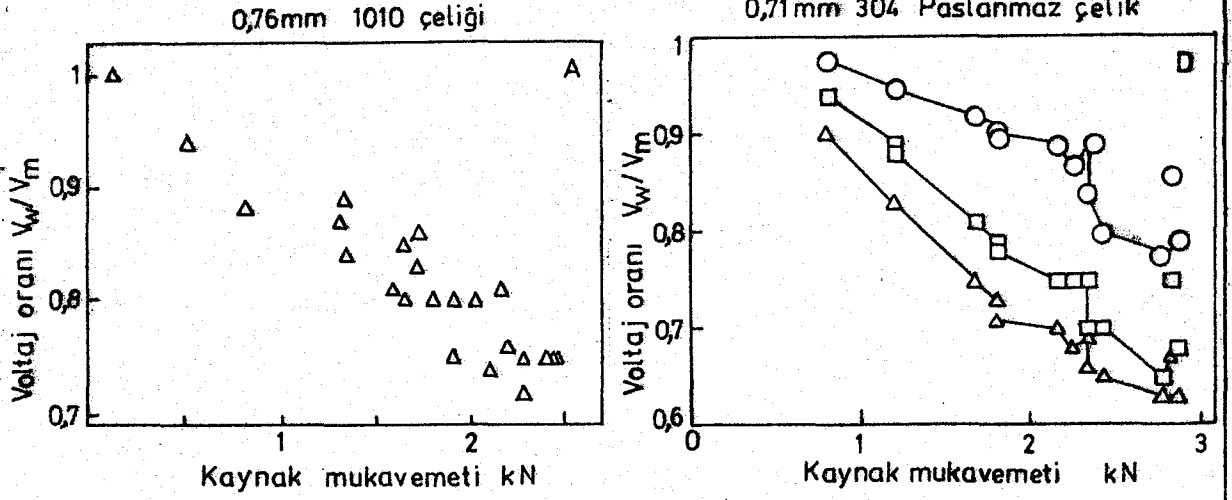
VRF değeri AT ve T mikrometresi ile ölçülür. Bu mikrometre metal levhaların direncini ölçmek için son zamanlarda geliştirilmiş bir cihazdır bu cihaz kullanılarak direnç kolaylıkla ölçülebilir.

Bu deney cihazı bir akım kaynağı ve voltajı ölçmek için duyarlı bir voltmetreyi ihtiva eder. Aşağıda izah edilmiş ölçmeleri yapmak için direkt olarak kullanılabilir.

Sadece orta akımlar kullanılırsa, prob küçük ve tam olabilir. Parça ısınması ihmâl edilebilir ve kıvılcımlarda tehlike yoktur.

Parçalarda ortaya çıkan voltaj tipik olarak, çoğu metallerin yüzeyi üzerindeki oksit tabakasını kırmak için uygun olmayan 10 - 100 V arasındadır. Böylece üst ve alt levhalar arasındaki mekanik temas voltaj ölçümünü önemli ölçüde etkilemez. Yüzey kirlenmesi yada iç yüzeyde iki levha arasındaki gerçek erimeyi engelleyen oksit kaynaktan etkilenen V_w - nin miktarını azaltır. Çatlaklar, boşluklar, cüruf ve inklüzyonların tümü elektrikî olarak iletici değillerdir ve böylece ölçülmüş V_w 'yi arttırmaya çalışırlar. Böylece bu yaygın çatlaklar kaynak mukavemetinde azalma, arttırılmış bir V_w ve azaltılmış VRF sebebiyle düşünülür. Şekil IV.29.- A ve B'de iki ayrı malzeme için denenmiş nokta kaynağının elektrik test sonuçları ve gerilim gösterilmiştir.

A, 1010 çeliğinde 1,6 mm prob ile yapılan tüm elektrik testlerinde ön kaynak yüzey işlemlerinin bir değişimini içerir. prob boşlukları $\Delta = 1,60$ mm , $\square = 2,54$ mm , $\circ = 4,32$ mm olarak işaretlenir. Çizgiler noktaları takip etmede göze yardımcı olmak için çizilmiştir. D'de 304 kalitedeki paslanmaz çeliğe uygulanmış kaynak, ısı etkisiyle tavlanmış bölgedeki ikinci bir kaynak çevrimine bağlı olarak mukavemetliydi.



Şekil. IV.29. - Nokta kaynağının iki ayrı malzeme için denenmiş elektrik test sonuçları ve gerilim.(3)

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAL TERCÜMESİ

HAL TERCÜMESİ

1962 yılında Sandıklı`da doğan Halil DEMİNER ilk öğrenimini Sandıklı Devrim İlkokulunda, orta öğrenimini Afyon Endüstri Meslek Lisesinde tamamlamıştır. 1979 - 1980 ders yılında kaydolduğu (İstanbul Yüksek Teknik Öğretmen Okulu) şimdiki Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesinden 1983 yılında mezun olmuştur. 1984 yılı Mart ayında M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsünde yüksek lisans yapmaya başlamıştır. Halen M.Ü. Teknik Eğitim Fakültesinde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEŞEKKÜR

TEŞEKKÜR

Beni bu konuda çalışmaya yönlendiren; tezin hazırlanmasında ikaz, yardım ve teşvikleriyle her zaman için destek olan tez yöneticim kıymetli Hocam Sayın Yard. Doç. Dr. A. İrfan YÜKLER'e sonsuz minnetlerimi sunarım.

Makalelerin çevrilmesi sırasında yardımlarını esirgemeyen Araştırma Görevlisi Nurullah ARSLAN'a, katalog ve bültenleri temin eden TOFAŞ Mekanik Atölye Sorumlularından Ahmet ÖRNEKAL'a teşekkürü bir borç bilirim.

KADIKÖY, Ağustos 1986

Halil DEMİRER

KAYNAKLAR

1. GÜLTEKİN, N.,
Kaynak Tekniği, Yıldız Üniversitesi yayınları,
Sayı 184, İstanbul, 1985
2. OĞUZ, B.,
Karbonlu ve Alaşımli Çeliklerin Kaynağı, Metalurji
Uygulama, Oerlikon A.Ş yayınları, İstanbul, 1985
3. COHEN, R.L., WEST, K.W.,
Spot Weld Strength Determined from Simple Electrical
Measurements, Welding Journal, december, 1984,
17 - 23
4. GEDİKTAŞ, M.,
Bağlama Elemanları Konstrüksiyon ve Hesap,
İ.T.Ü. Kütüphanesi yayınları, İstanbul, 1984
5. II. ULUSAL ALÜMİNYUM SANAYİİ KONGRESİ, 1984
6. YÜKLER, A.İ.,
Alaşımli Dual Fazlı Çeliklerin Mekanik ve Nokta
Kaynağı Özellikleri, İ.T.Ü. Doktora Tezi, 1983
7. ANIK, S.,
Kaynak Teknolojisi El Kitabı, İstanbul, 1983
8. KAİSER, J.G., DUNN, G.J., and EAGAR, T.W.,
The Effect of Electrical Resistance on Nugget
Formation During Spot Welding, Welding Journal,
June, 1982, 167 - 174
9. ERYÜREK, B.,
Mühendis ve Makina, Kaynak Özel Sayısı, Cilt 24,
Sayı 279, Temmuz - Aralık 1982, 1 - 38

10. IRIE, T., TAKAHASHI, I., SATOH, S., HASMIMOTO, O., and HASHIGUCHI, K.,
Characteristics of Formable Cold Rolled High Strength Steel Sheets for Automotive Use, Kawasaki Steel Technical Report, March, 1981, 14 - 22
11. RIVETT, R.M.,
In - Process Spot Weld Control, Metal Construction, May, 1980, 230 - 234
12. WILLIAMS, N.T.,
Metallurgical Aspects of Resistance Spot Welding of Mild Steel, Welsh Laboratory, British Steel Corporation, DOC. 111 - 656 - 80, 1 - 25
13. SAWHILL, J.M., and BAKER, J.C.,
Spot Weldability of High - Strength Sheet Steels, Welding Journal, Januar, 1980, 19 - 30
14. SAVAGE, W.F., NIPPES, E.F., and WASSEL, F.A.,
Dynamic Contact Resistance of Series Spot Welds, Welding Journal, February, 1979, 37 - 51
15. POLLARD, B., GOODENOV, R.H.,
Spot Weldability of Dual - Phase Steel, Congress and Exposition Cobo Hall, Detroit, February 26 - March 2, 1979, 1 - 13
16. WILLIAMS, N.T., JONES, T.B.,
Spot Weld Size and Fracture Mode in Low Carbon Mild Steel, Metal Construction, October, 1979, 541 - 546

17. CONNELL, L.D.,
Electrodes for Resistance Welding,
Metal Construction, January, 1977, 30 - 32
18. SAWHILL, J.M., WATANABE, H., and MITCHELL, J.W.,
Spot Weldability of Mn-Mo-Cb, V-N, and SAE 1008
Steels, Welding Journal, July, 1977, 217 -223
19. ERYÜREK, B.,
Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Temas Direncinin
Etüdü, İ.T.Ü. Doktora Tezi, 1976
20. POLLARD, B.,
Spot Welding Characteristics of HSLA Steel for
Automotive Applications, Welding Journal,
August, 1974, 343 - 350
21. GIACHINO, J.W., JOHNSON, G.S., and WEEKS, W.,
Welding Technology, American Technical Society,
Chikago, 1973
22. Metals Handbook,
8. Basım, 6. Cilt
Metal Park, Ohio, American Society for Metals,
1971
23. BEEVERS, A.,
Automatic Heat Treatment of Spot Welds in
Hardenable Steels, Welding Journal, October,
1966, 613 - 624

24. ROBERTS, W.L.,
Resistance Variations During Spot Welding,
Welding Journal, November, 1951, 1004 - 1019
25. HEUSCHKEL, J.,
Some Metallurgical Aspects of Carbon Steel Spot
Welding, Welding Journal, October, 1947,
560 - 582
26. Messer Griesheim,
Peco Widerstands Schweisstechnik, Mikro Welding,
München
27. Coşkunöz, A.Ş.,
Metal Form Makina Endüstrisi Katalogları, Bursa
28. Mistaş, A.Ş.,
Kaynak Makinaları Katalog ve Bültenleri, Bursa
29. Asa,
Kaynak Malzemeleri Sanayii Kataloğu, İstanbul