

Ark Kaynağında Soğuma Süresi ve Sıcaklık Çevrimleri

Selâhaddin ANIK *
Oktay BODUR **

1 — Giriş

Bir kaynak bağlantısının mekanik özelliklerine, kaynak sırasında ortaya çıkan sıcaklık çevrimlerinin (Sıcaklık - Zama - Gidişatı) etkisi çok büyüktür. Bu çevrimler sıcaklık koşullarının bir fonksiyonudur. Kaynak koşullarından, kaynak bağlantısının özelliklerine etkileyen bütün büyüklükler anlaşılır, (Kaynak enerjisi, ön tavlama sıcaklığı, parça kalınlığı, kaynak yöntemi ve dikiş türü... gibi). İlâveten, bunların mekanik özelliklere etkileri $t_{8/5}$ soğuma süresi ile karakterize edilir. Bu, soğuma sırasında 800°C den 500°C ye kadar soğuma için geçen süredir.

Kaynak dikişinin belirli bir yerinden bir arkın geçişi sırasında ortaya çıkan Sıcaklık - Zaman - Gidişatı kısa bir ısınma süresi ile oldukça uzun bir soğuma fazının toplamından oluşmuştur. Arkın yaklaşması ile sıcaklık hızla yükselir, ark geçtikten sonra ise yeniden düşer. Soğuma sırasında soğuma hızı muntazaman azalır. Kaynak metalinin her yerinde aynı tepe sıcaklıkları ortaya çıkarırken, ısının tesiri altında kalan bölgenin çeşitli yerleri farklı tepe sıcaklıklarına kadar ısınır. Tepe sıcaklıklarının yüksekliği eriyen bölgeden uzaklaştıkça azalır.

2 — Kaynak koşulları ile soğuma süresi arasındaki bağıntı

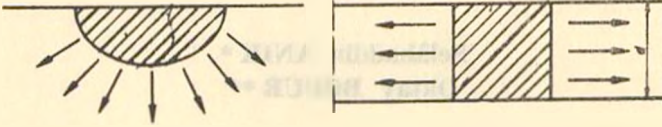
Soğuma süresinin hesaplanmasında ısı dağılımı iki ve üç boyutlu olarak ikiye ayrılır. Her iki duruma ait modeller Şekil 1'de verilmiştir. Kalın parçaların kaynak işleminde ısı iletimi üç boyutludur. Arkın verdiği ısı hem parça düzleminde hem de parçanın kalınlığı doğrultusunda akar. Parça kalınlığı soğuma süresine etki etmez. Buna karşın iki boyutlu ısı

* İ.T.Ü. Makina Fakültesi, Profesör.

** İ.T.Ü. Maçka Makina Fakültesi, Asistan.

iletiminde, ısı akışı sadece parça düzleminde olur. Bu durumda, mevcut kesitteki ısı iletimi için kalınlık ölçektir ve böylece soğuma süresine görünür bir şekilde etki eder.

üç boyutlu ısı iletimi iki boyutlu ısı iletimi
Kaynak dikişi



parça kalınlığı soğuma
süresine etkimez

parça kalınlığı soğuma
süresine etkir

$$t_{8/5} - E$$

$$t_{8/5} - E^2/d^2$$

Şekil. 1. — Kaynak işlemi sırasındaki ısı iletimi (şematik)

Sol taraf : üç boyutlu ısı iletimi

Sağ taraf : iki boyutlu ısı iletimi.

Üç boyutlu ısı iletiminde $t_{8/5}$ soğuma süresinin, kaynak enerjisi E (J/cm) ve ön tavlama sıcaklığı (çalışma sıcaklığı) T_0 ($^{\circ}C$) arasındaki bağıntı (1) numaralı denklemden görmektediriz (1, 2.)

$$t_{8/5} = (0,67 - 5 \cdot 10^{-4} \cdot T_0) \eta' \cdot E \cdot \frac{1}{500 - T_0} - \frac{1}{800 - T_0} \cdot F_3 \quad (1)$$

Burada (η') kaynak yönteminin izafi ısı etkenlik derecesi ve (F_3) de dikiş faktörüdür. Çeşitli kaynak yöntemlerindeki (η') değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo. 1. — Çeşitli kaynak yöntemlerinde (η') izafi ısı etkenlik dereceleri.

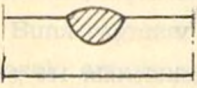
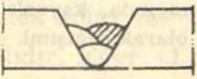

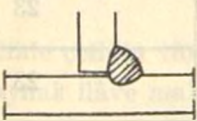
Kaynak Yöntemi	η'
Tozaltı kaynağı	1,0
Rutil karakterli elektrotla elektrik ark kaynağı	0,9
Bazik karakterli elektrotla elektrik ark kaynağı	0,8
MAG - kaynağı	0,8 ... 0,9
MIG - kaynağı	0,7 ... 0,8
TIG - kaynağı	0,6 ... 0,7

İki boyutlu ısı iletimi durumunda soğuma süresi ve kaynak koşulları arasında şu bağıntı geçerlidir. (1, 2) :

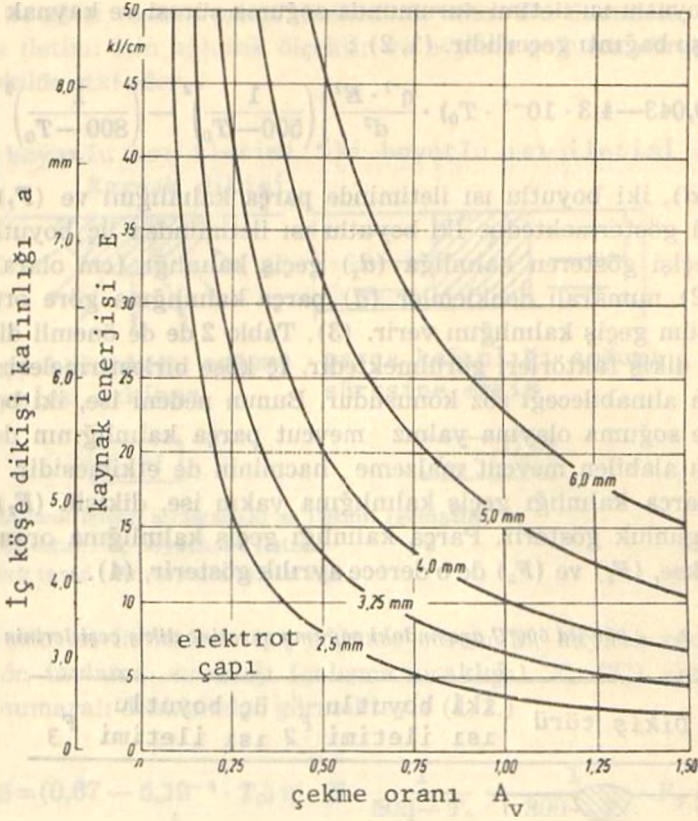
$$t_{8/5} = (0,043 - 4,3 \cdot 10^{-5} \cdot T_0) \cdot \frac{q'^2 \cdot E^2}{d^2} \left[\left(\frac{1}{500 - T_0} \right)^2 - \left(\frac{1}{800 - T_0} \right)^2 \right] F_2 \quad (2)$$

Burada (d), iki boyutlu ısı iletiminde parça kalınlığını ve (F_2) de dikiş faktörünü göstermektedir. İki boyutlu ısı iletiminden üç boyutlu ısı iletimine geçişi gösteren kalınlığa (d_g) geçiş kalınlığı (cm olarak) denir. (1) ve (2) numaralı denklemler (d) parça kalınlığına göre ortak çözümlerse, çözüm geçiş kalınlığını verir. (3). Tablo 2 de de önemli dikiş şekillerine ait dikiş faktörleri görülmektedir. İç köşe birleştirmelerinde farklı değerlerin alınabileceği söz konusudur. Bunun nedeni ise, iki boyutlu ısı iletiminde soğuma olayına yalnız mevcut parça kalınlığının değil, aynı anda ısıyı alabilen mevcut malzeme hacminin de etkimesidir. Eğer söz konusu parça kalınlığı geçiş kalınlığına yakın ise, dikişin (F_2) faktörü (F_3) e uygunluk gösterir. Parça kalınlığı geçiş kalınlığına oranla ne derece küçükse, (F_2) ve (F_3) de o derece ayrılık gösterir, (4).

Tablo. 2. — 800 ila 500°C arasındaki soğuma süresine dikiş çeşitlerinin etkisi.

Dikiş türü	iki boyutlu ısı iletimi F_2	üç boyutlu ısı iletimi F_3
	1	1
	0,9	0,9
	0,9 ... 0,67	0,67
	0,45 ... 0,67	0,67

(1) ve (2) denklemleri, soğuma süresinin kaynak koşullarından bulunmasına imkan sağlar. Yalnız burada, ısı iletiminin mevcut koşulları yerine getirmesi halinde güvenilir değerler vereceğine işaret etmek yerinde olur.



Şekil. 2. — Düşük alaşımlı yüksek mukavemetli yapı çeliklerinin 115 % randımanlı çeşitli çaplardaki elektrotlarla iç köşe kaynağında, kaynak enerjisi ve iç köşe dikış kalınlığının çekme oranına bağlı olarak değişimi.

Elektrot çapı (mm)	Akım şiddeti (amper)	Ark gerilimi (Volt)
2,5	85	23
3,25	135	23
4,0	170	23
5,0	220	24
6,0	280	25

3 — Soğuma sürelerinin hesabı

3.1. Genel bilgiler

El ile yapılan ark kaynağında kaynak hızını belirlemek oldukça zordur. Buna rağmen kaynak hızının bilinmesi, kaynak enerjisinin hesabı için gereklidir. Çekme oranı (cm kaynak dikişi başına kaç cm kaynak elektrodu harcandığını veren oran) ile ark enerjisi arasındaki ilişkiyi gösteren diyagramlarla bu tespit oldukça kolaylaşır. Şekil 2'de, düşük alaşımlı, yüksek mukavemetli çeliklerin kaynağında kullanılan alışılmış normal elektrotların çekme oranlarının kaynak enerjisine nasıl etkilediğini göstermektedir. Diyagram aynı zamanda, 115% randımanlı bir çubuk elektrotta kaynak enerjisi ile iç köşe dikişlerin (a) dikiş kalınlığı ölçüsü arasındaki bağıntıya ait bilgi de vermektedir. (1) ve (2) numaralı denklemlerin ayrı ayrı faktörlerini gösteren ön tavlama sıcaklıkları için düzenlenmiş tablolar yardımıyla, soğuma sürelerinin hesabı oldukça kolaylaşmıştır. Tablo 3'de buna bir örnek verilmiştir.

Genel olarak daha önceden ısı iletiminin ne tür olduğu bilinemez. Fakat, hesaplamanın (1) veya (2) numaralı denkleme göre yapılacağına karar vermek için bunun bilinmesi gerekir. Mevcut parça kalınlığı geçiş kalınlığı ile karşılaştırarak ısı iletiminin ne tür olduğuna karar verilebilir, (3). Buna rağmen, soğuma süresini (1) ve (2) numaralı denklemlerden bularak, ortaya çıkan değere göre ısı iletiminin ne tür olduğuna karar vermek kolay bir yoldur. Her iki değerden büyük olanı fiziksel olarak anlamlıdır. Eğer (1) numaralı denklemden bulunursa, ısı iletimi üç boyutludur; aksi takdirde iki boyutludur. Kaynak enerjisinin hesabında da aynı şey söz konusudur; fakat bu durumda bulunan değerlerden küçük olanının fiziksel bir önemi olduğuna dikkat etmek gerekir.

Genellikle çeliğin türü, parçanın kalınlığı, dikişin şekli, kaynak yönemi ve kaynak ilâve malzemesi bilinir. Soğuk çatlamaya karşı seçilen ön tavlama sıcaklığı bu büyüklüklere göre yönlendiği gibi ayrıca buna bağlı olarak verilir. Ekseriya belirli kaynak koşullarında ya soğuma süresi ya da verilen bir soğuma süresi için maksimum müsaade edilebilen kaynak enerjisi aranır. Şimdi buna ait bazı örnekler görelim.

Tablo. 3. — Düz bir parça üzerine çekilen (körpaso) Tozaltı kaynağında 800 ila 500°C arasındaki soğuma süresinin hesaplanması.

Üç boyutlu ısı iletimi: $[E (J/cm), d (cm), T_0 (°C)]$

$$t_{8/5} = K_3 E \left(\frac{1}{500 - T_0} - \frac{1}{800 - T_0} \right); K_3 = 0,67 - 5,10 \cdot 10^{-4} \cdot T_0$$

İki boyutlu ısı iletimi: $[E (J/cm), d (cm), T_0 (°C)]$

$$t_{8/5} = K_2 E^2 \frac{1}{d^2} \left[\left(\frac{1}{500 - T_0} \right)^2 - \left(\frac{1}{800 - T_0} \right)^2 \right]; K_2 = 0,043 - 4,3 \cdot 10^{-5} \cdot T_0$$

Çalışma sıcaklığı (ön tav sıcaklığı) [°C]	$K_3 \left(\frac{1}{500 - T_0} - \frac{1}{800 - T_0} \right)$ [J ⁻¹ cm s]	$K_2 \left[\left(\frac{1}{500 - T_0} \right)^2 - \left(\frac{1}{800 - T_0} \right)^2 \right]$ [J ⁻² s cm ⁴]
20	5,29.10 ⁻⁴	0,114.10 ⁻⁶
25	5,37.10 ⁻⁴	0,116.10 ⁻⁶
50	5,73.10 ⁻⁴	0,129.10 ⁻⁶
75	6,15.10 ⁻⁴	0,145.10 ⁻⁶
100	6,63.10 ⁻⁴	0,163.10 ⁻⁶
125	7,20.10 ⁻⁴	0,185.10 ⁻⁶
150	7,84.10 ⁻⁴	0,212.10 ⁻⁶
175	8,60.10 ⁻⁴	0,245.10 ⁻⁶
200	9,52.10 ⁻⁴	0,287.10 ⁻⁶
225	10,58.10 ⁻⁴	0,340.10 ⁻⁶
250	11,90.10 ⁻⁴	0,409.10 ⁻⁶
275	13,53.10 ⁻⁴	0,503.10 ⁻⁶
300	15,60.10 ⁻⁴	0,632.10 ⁻⁶

3.2. — Örnekler

3.2.1. Tozaltı kaynağında, sac üzerine tek paso ile çekilen kaynak dikişi

a — Verilenler

Saç kalınlığı : $d = 4,0 \text{ cm.}$ Ön tavlama sıcaklığı : $T_0 = 100^\circ\text{C}$ Ark gerilimi : $U = 30 \text{ V}$ Akım şiddeti : $I = 600 \text{ A.}$ Kaynak hızı : $v = 50 \text{ cm/dak.}$ b — Aranılan : $t_{8/5}$ saniye olarak

c — Çözüm :

Önce Tablo 1'den (η') izafi ısı etkenlik derecesi alınır. Tablo 2'den dikiş faktörleri $F_3 = 1$, $F_2 = 1$ seçilir. Buna bağlı olarak kaynak enerjisi, kaynak parametrelerinden hesaplanır, şöyle ki :

$$E = \frac{U \cdot I \cdot 60}{v} = \frac{30 \cdot 600 \cdot 60}{50} = 21600 \text{ J/cm}$$

(1) numaralı denkleme göre, üç boyutlu ısı iletimi ve Tablo 3'de $T_0 = 100^\circ\text{C}$ için :

$$t_{8/5} = 6,63 \cdot 10^{-4} \cdot \eta' \cdot E \cdot F_3$$

$$t_{8/5} = 6,63 \cdot 10^{-4} \cdot 1 \cdot 21600 \cdot 1 = 14,3 \text{ s}$$

İki boyutlu ısı iletimi durumunda (2) numaralı denkleme ve Tablo 3'e uygun olarak :

$$t_{8/5} = 0,163 \cdot 10^{-6} \cdot \eta'^2 \cdot E^2 \cdot \frac{1}{d^2} \cdot F_2$$

$$t_{8/5} = 0,163 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 21600^2 \cdot \frac{1}{4^2} \cdot 1 = 4,7 \text{ s}$$

bulunur.

d — Sonuç :

İki boyutlu ısı iletimi durumu vardır ve soğuma süresi $t_{8/5} = 14,3$ saniyedir.

3.2.2. — MAG - Kaynağında, çok pasolu alın kaynağı**a — Verilenler :**

Sac kalınlığı : $d = 2,4$ cm.

Çalışma sıcaklığı : $T_0 = 20$ ilâ 100 °C

Kaynak enerjisi : $E = 30\,000$ J/cm

b — Aranana : $t_{8/5}$ saniye olarak

c — Çözüm :

Tablo 1'e göre MAG - kaynağında ısı etkinlik derecesi için $\eta' = 0,85$ alınabilir. Tablo 2'den $F_3 = 0,9$ ve $F_2 = 0,9$ alınarak üç boyutlu ısı iletiminde (1) numaralı denklem ve Tablo 3'e göre $T_0 = 20$ °C için :

$$t_{8/5} = 5,29 \cdot 10^{-4} \cdot \eta' \cdot E \cdot F_3$$

$$t_{8/5} = 5,29 \cdot 10^{-4} \cdot 0,85 \cdot 30\,000 \cdot 0,9 = 12,1 \text{ s}$$

ve $T_0 = 100$ °C içinde :

$$t_{8/5} = 15,2 \text{ s. bulunur.}$$

İki boyutlu ısı iletimi durumunda Denklem (2) ve Tablo 3'e göre $T_0 = 20$ °C için :

$$t_{8/5} = 0,114 \cdot 10^{-6} \cdot \eta'^2 \cdot E^2 \cdot \frac{1}{d^2} \cdot F_2$$

$$t_{8/5} = 0,114 \cdot 10^{-6} \cdot 0,85^2 \cdot 30\,000^2 \cdot \frac{1}{2,4^2} \cdot 0,9 = 11,6 \text{ s}$$

ve $T_0 = 100$ °C içinde benzer şekilde $t_{8/5} = 16,6$ s. bulunur.

d — Sonuç :

$T_0 = 20$ °C de üç boyutlu ısı iletimi, $T_0 = 100$ °C de de iki boyutlu ısı iletimi durumu vardır. 12,1 ve 16,6 saniyeler arasında soğuma süreleri hasil olur.

3.2.3. — MAG Kaynağında, çok pasolu alın kaynağı

a — Verilenler :

Sac kalınlığı : $d = 6,0$ cmÖn tavlama sıcaklığı : $T_0 = 150^\circ\text{C}$ Soğuma süresi : $t_{g/s} = 20$ s.

b — Aranılan :

Müsaade edilebilen maksimum kaynak enerjisi E (J/cm) olarak.

c — Çözüm :

Tablo 1'den önce izafi ısı etkinlik derecesi alınır. Eğer maksimum müsaade edilebilen kaynak enerjisi aranıyorsa, verilen band genişliğinin üst sınırı göz önüne alınmalıdır, $\eta' = 0,9$. Tablo 2'den iki ve üç boyutlu ısı iletimi için dikiş faktörleri alınır : $F_1 = 0,9$ ve $F_2 = 0,9$

Üç boyutlu ısı iletimi durumu için denklem (I) ve Tablo 3 den :

$$E = t_{g/s} / 7,84 \cdot 10^{-4} \cdot \eta' \cdot F_1$$

$$E = \frac{20 \cdot 10^4}{7,84 \cdot 0,9 \cdot 0,9} = 31\,494 \text{ J/cm}$$

bulunur.

İki boyutlu ısı iletimi durumunda Denklem (2) ve Tablo 3'e göre :

$$E = \sqrt{\frac{t_{g/s} \cdot d^2}{0,212 \cdot 10^{-6} \cdot \eta'^2 \cdot F_2}}$$

$$E = \sqrt{\frac{20 \cdot 6^2 \cdot 10^6}{0,212 \cdot 0,9^2 \cdot 0,9}} = 68\,255 \text{ J/cm}$$

çıkarak.

d — Sonuç :

Üç boyutlu ısı iletimi durumu vardır. Maksimum müsaade edilebilen enerji 31494 J/cm dir. Şimdi, imalât tekniği ve ekonomikliğin de göz önüne alınmasıyla kaynak parametreleri düzenlenmelidir.

3.2.4. — El ile yapılan çok pasolu alın kaynağı

a — Verilenler :

- Sac kalınlığı : $d = 1,5 \text{ cm}$
 Çalışma sıcaklığı : $T_0 = 20 \text{ ilâ } 100^\circ\text{C}$
 Soğuma süresi : $t_{8/5} \leq 30 \text{ s}$
 Elektrot cinsi : Bazik karakterli

b — Aranılan :

3^{25} ve 4^{00} mm çekirdek çapında minimum çekme oranları

c — Çözüm :

Önce Tablo 1'den izafi ısı etkenlik derecesi alınır, $\eta' = 0,8$. Tablo 2'den dikiş faktörleri bulunur; $F_1 = 0,9$, $F_2 = 0,9$. Minimum çekme oranının bulunmasında (maksimum müsaade edilebilen kaynak enerjisi) çalışma sıcaklığının üst sınırına dikkat edilmelidir, yani $T_0 = 100^\circ\text{C}$ dir. Üç boyutlu ısı iletimi durumunda Denklem (1) ve Tablo 3'e göre :

$$E = \frac{t_{8/5}}{6,64 \cdot 10^{-4} \cdot \eta' \cdot F_3}$$

$$E = \frac{30 \cdot 10^4}{6,64 \cdot 0,8 \cdot 0,9} = 62751 \text{ J/cm}$$

bulunur.

İki boyutlu ısı iletimi durumunda ise, Denklem (2) ve Tablo 3 den :

$$E = \sqrt{\frac{t_{8/5} \cdot d^2}{0,163 \cdot 10^{-6} \cdot \eta'^2 \cdot F_2}}$$

$$E = \sqrt{\frac{30 \cdot 1,5^2 \cdot 10^6}{0,163 \cdot 0,8^2 \cdot 0,9}} = 26813 \text{ J/cm}$$

çıkar. İki boyutlu ısı iletimi durumu vardır. Müsaade edilebilen maksimum kaynak enerjisi 26813 J/cm dir. Şekil 2'den de çekme oranı bulunur.

d — Sonuç :

3,25 mm çapta çekme oranı en az 0,27 ve 4,0 mm çapta ise en az 0,42 olmalıdır.

3.2.5. — Bir T- birleştirmesinde, el ile yapılan tek pasolu iç köşe ark kaynağı**a — Verilenler :**

Sac kalınlığı : $d = 1,2$ cm

İç köşe dikiş kalınlığı : $a = 5$ mm

Çalışma sıcaklığı : $T_0 = 20^\circ\text{C}$

Elektrot cinsi : Bazik karakterli

b — Aranana :

4,00 ve 5,00 mm çekirdek çapında çekme oranları ve soğuma süresi $t_{8/5}$ s.

c — Çözüm :

El ile yapılan ark kaynağında ve bazik elektrot kullanılması halinde ısı etkinlik derecesi $\eta' = 0,8$ mir. Tablo 2 den $F_3 = 0,67$ ve $F_2 = 0,45 - 0,67$ bulunur. Şekil 2'den (a) ölçüsü 5 mm olursa 4 mm çap için çekme oranı 0,6 ve 5 mm çap için 0,95 alınmalıdır. Bu sırada kaynak enerjisi 16500 J/cm dir.

Üç boyutlu ısı iletiminde Denklem (1) ve Tablo 3'e göre :

$$t_{8/5} = 5,29 \cdot 10^{-4} \cdot \eta' \cdot E \cdot F_3$$

$$t_{8/5} = 5,29 \cdot 10^{-4} \cdot 0,8 \cdot 16500 \cdot 0,67 = 4,68 \text{ s.}$$

bulunur.

İki boyutlu ısı iletimi durumu için ise, Denklem (2) ve Tablo 3'den :

$$t_{8/5} = 0,114 \cdot 10^{-6} \cdot \eta'^2 \cdot E^2 \cdot \frac{1}{d^2} \cdot F_2$$

$$t_{8/5} = 0,114 \cdot 10^{-6} \cdot 0,8^2 \cdot 16500^2 \cdot \frac{1}{1,2^2} \cdot 0,67$$

$$t_{8/5} = 9,24 \text{ s.}$$

çıkar.

d — Sonuç :

4,0 mm çapındaki elektrotlarda 0,6 lık bir çekme oranı ile kaynak yapılmalıdır. 5 mm lik durumda ise, buna karşın eriyen elektrodun cm'si başına 0,95 cm uzunluğunda kaynak dikişi elde edilmelidir. Isı iletimi iki boyutludur. $F_2 = 0,67$ için soğuma süresi 9,2 s ve $F_2 = 0,45$ için 6,2 s. dir. Önceden tam olarak tespit edebilmek için (F_2) değerinin, gerçek değeri baştan bilinmelidir.

Kör pasolar halinde çekilen kaynak dikişlerinde, üç boyutlu ısı iletiminden iki boyutluya geçiş bütün (d) sac kalınlıklarında (E/d^2) nin belirli bir oranında meydana gelir. (F_2) faktörü, (E/d^2) oranı ile değiştiğine göre, mevcut durum için $F_2 = 0,55$ olarak alınmalıdır, (4). Buradan da soğuma süresi için $t_s/s = 7,6$ s. bulunur.

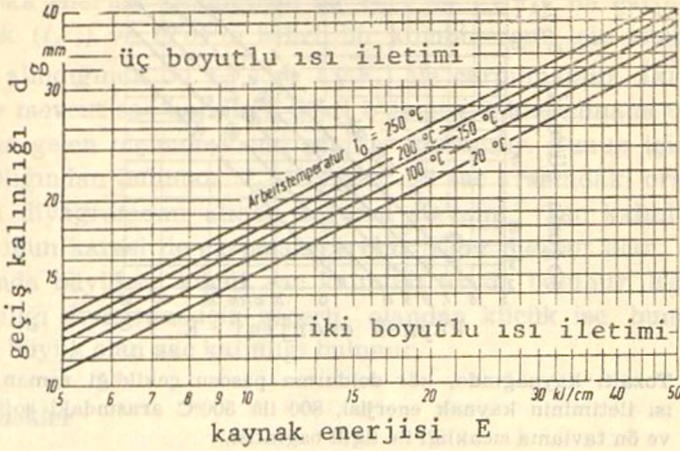
4 — Soğuma sürelerinin grafik olarak bulunması

4.1. — Genel Bilgiler

(1) ve (2) numaralı denklemlerden soğuma süresini hesapla bulmak yerine, grafik yol ile bulmak daha hızlı bir işlemdir, (Şekil 3, 4 ve 5). Diyagramlar özellikle soğuma sürelerinin bulunmasına yarıyacak şekilde düzenlenmiştir. Parça kalınlığının, kaynak enerjisinin ve ön tavlama sıcaklığının verilen bir kombinezonu için soğuma süresini aramak yerine, verilen bir soğuma süresi için maksimum müsaade edilebilen kaynak enerjisini aramak söz konusu ise, bunu hesapla bulmak daha uygundur. Çünkü bu durumda, mevcut diyagramlardan ısı iletiminin türünü belirlemek çok zordur. Bu nedenle, burada yalnız soğuma sürelerinin arandığı örnekler işlenmiştir.

Şekil 3'de belirli bir dikiş şekli için tozaltı kaynağında, kaynak enerjisinin ön tavlama sıcaklığı ve geçiş kalınlığı arasındaki bağıntı verilmiştir.

Böylece kaynak enerjisi ile ön tavlama sıcaklığının her kombinezonu için ısı iletimi türü belirlenebilir. Dolayısıyla söz konusu kaynak enerjisi ve ön tavlama sıcaklığı için geçiş kalınlığı bulunur ve bu değer kaynak yapılan parça kalınlığı ile karşılaştırılır. O, bundan büyükse iki boyutlu ısı iletimi vardır. Aksi takdirde ısı iletimi üç boyutludur. Şekil 3'ün başka kaynak yöntemlerinde kullanılmasında, kaynak enerjisi (E) uygun izafi ısı etkinlik derecesi ile çarpılmalıdır.

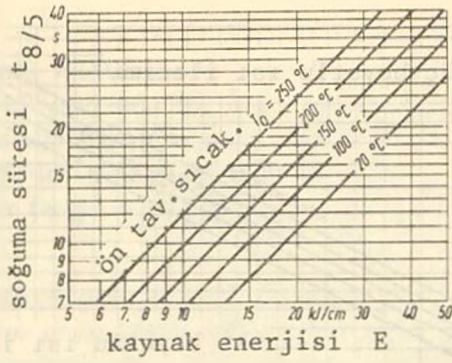


Şekil. 3. — Tozaltı kaynağında kaynak enerjisi, ön tavlama sıcaklığı ve geçiş kalınlığı arasındaki bağıntı.

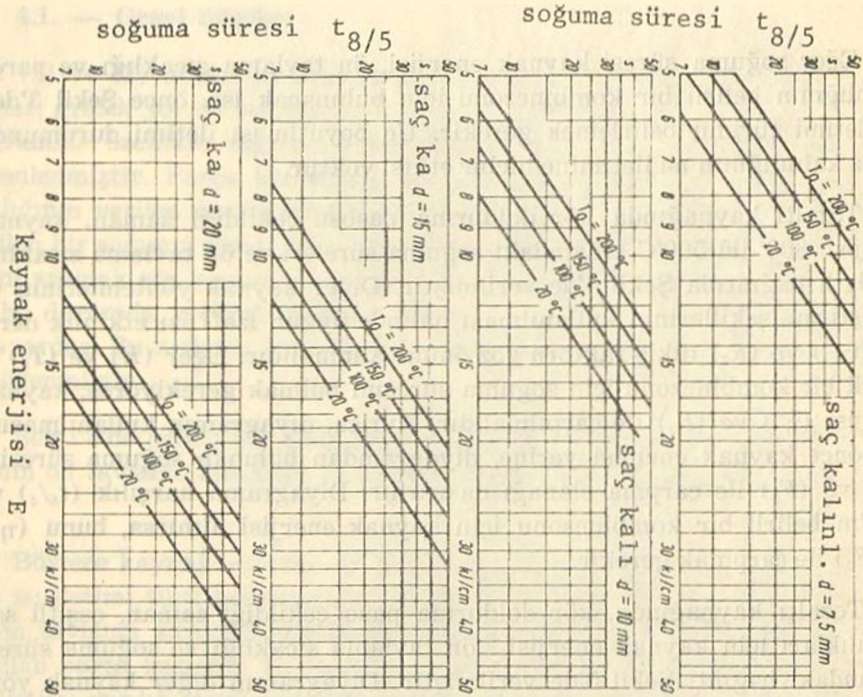
Eğer soğuma süresi kaynak enerjisi, ön tavlama sıcaklığı ve parça kalınlığının belirli bir kombinezonu için bulunacak ise, önce Şekil 3'den ısı iletimi türünü belirlemek gerekir. Üç boyutlu ısı iletimi durumunda parça kalınlığının ısı iletimine hiçbir etkisi yoktur.

Tozaltı kaynağında kör doldurma pasosu çekildiği zaman, kaynak enerjisi, 800° ilâ 500°C arasındaki soğuma süreleri ve ön tavlama sıcaklığı ile ilgili bağıntıda Şekil 4'de verilmiştir. Diğer kaynak yöntemlerinin ve birleştirme şekillerinin kullanılması halinde uygun izafi ısı etkinlik derecesi (η') ve (F_3) dikiş faktörü göz önüne alınmalıdır. Eğer (E) ve (T_0)'ın belirli bir kombinezonu için soğuma süresini bulmak gerekiyorsa, kaynak enerjisi (η') ve (F_3) ile çarpılmalıdır. Ayrıca, diyagramın kullanılmasından önce kaynak enerjisi yerine, diyagramdan bulunan soğuma süresini (η') ve (F_3) ile çarpma olanağı da vardır. Diyagrama karşılık (t_s/s) ve (T_0)'ın belirli bir kombinezonu için kaynak enerjisi alınırsa, bunu (η') ve (F_3) ile çarpmak gerekir.

Tozaltı kaynağında, kör doldurma paso çekildiği zaman, çeşitli sac kalınlıkları için kaynak enerjisi, ön tavlama sıcaklığı ve soğuma süresi arasındaki bağıntı Şekil 5'de verilmiştir. Diyagramın diğer kaynak yöntemleri ve dikiş şekilleri için kullanılması söz konusu ise, kaynak yönteminin izafi ısı etkinlik derecesi (η') ve dikiş şekli faktörü (F_2) göz önünde bulundurulmalıdır. Eğer (E) ve (T_0) in belirli bir kombinezonu için



Şekil 4. — Tozaltı kaynağında, kör doldurma pasosu çekildiği zaman, üç boyutlu ısı iletiminin kaynak enerjisi, 800 ilâ 500°C arasındaki soğuma süreleri ve ön tavlama sıcaklığı ile ilgili bağıntısı.



Şekil 5. — Tozaltı kaynağında, kör doldurma pasosu çekildiği zaman, çeşitli sac kalınlıkları için, iki boyutlu ısı iletiminin 800 ilâ 500°C arasındaki soğuma süreleri ve ön tavlama sıcaklığı ile ilgili bağıntısı.

istenen kaynak enerjisi alındığında bu (η') ve $(\sqrt{F_2})$ ile çarpılmalıdır. Buna karşılık $(t_{s/s})$ ve (T_0) 'ın belirli bir kombinezonu için istenen kaynak enerjisi alındığında bu (η') ve $(\sqrt{F_2})$ ile çarpılmalıdır. İki boyutlu ısı iletiminde mevcut sac kalınlığı, Şekil 5'de göz önüne alınana uymadığı hallerde, alışı gelen biçimde kısmî şekiller kullanılır. Bunun için en yakın sac kalınlığından bulunan $(t_{s/s})$ değeri, iki sac arasındaki oranla çarpılır. Burada diyagramdan alınan soğuma süresini, sac kalınlıklarının bölüm sonucunun karesi ile çarpmak gerekir. Eğer mevcut olan, diyagrama esas oranda büyükse, küçük sac kalınlığı payda bulunur. Eğer mevcut sac kalınlığı diyagram için geçerli olandan küçük ise, buna uygun olarak payda büyük olan sac kalınlığı bulunur.

4.2. Örnekler

4.2.1. — Bir sac üzerine bir paso ile tozaltı kaynağı

a — Verilenler :

Sac kalınlığı	: $d = 5,0 \text{ cm}$
Ön tavlama sıcaklığı	: $T_0 = 20^\circ\text{C}$
Kaynak enerjisi	: $E = 3 \text{ kJ/cm}$

b — Aranana :

$t_{s/s}$ soğuma süresi saniye olarak

c — Çözüm :

Tablo 1'e göre tozaltı kaynağında $\eta' = 1$ dir. Tablo 2'ye göre de kör pasolarda $F_3 = 1$ ve $F_2 = 1$ dir. $T_0 = 20^\circ\text{C}$ ve $E = 30 \text{ kJ/cm}$ için Şekil 3'den geçiş kalınlığı 26 mm olarak bulunur. Bu değer, mevcut sac kalınlığından küçük olduğu için ısı iletimi üç boyutludur. Şekil 4, $T_0 = 20^\circ\text{C}$ ve $E = 30 \text{ kJ/cm}$ için 16 s lik bir soğuma süresi verir.

d — Sonuç :

İsi iletimi üç boyutludur. Soğuma süresi $t_{s/s} = 16$ dir.

4.2.2. — Bir sac üzerine bir paso ile MIG - Kaynağı

a — Verilenler :

Sac kalınlığı	: $d = 1,5 \text{ cm}$
Ön tavlama sıcaklığı	: 20°C
Kaynak enerjisi	: 20 kJ/cm

b — Aranana :

$t_{s/s}$ Soğuma süresi saniye olarak.

c — Çözüm :

Tablo 1'den önce kaynak yönteminin (η') izafi ısı etkinlik derecesi alınır. Bunun için genel olarak verilen değerlerin ortalaması alınmalıdır, ($\eta' = 0,75$). Arkasından Şekil 3'den ısı iletiminin türü bulunur. Burada ($\eta' \neq 1$) durumunda, diyagram ($\eta' = 1$) durumu için geçerli olduğundan, (E) değeri kullanılan kaynak yönteminin (η') değeri ile çarpılmalıdır. Önümüzdeki örnek için $\eta' \cdot E = 0,75 \cdot 20 = 15 \text{ kJ/cm}$ bulunur. $E = 15 \text{ kJ/cm}$ ve $T_0 = 20^\circ\text{C}$ için Şekil 3'den geçiş kalınlığı 1,8 cm bulunur. Bu değer mevcut sac kalınlığından büyük olduğundan ısı iletimini iki boyutludur. $d = 1,5 \text{ cm}$, $T_0 = 20^\circ\text{C}$ ve $E = 15 \text{ kJ/cm}$ için soğuma süresi 11,5 s. olarak bulunur.

d — Sonuç :

Isı iletimi iki boyutludur. Soğuma süresi $t_{s/s} = 11,5 \text{ s.}$ dir.

4.2.3. — T- bileştirmesinde tek paso ile yapılan iç köşe el kaynağı**a — Verilenler :**

Sac kalınlığı : $d = 2,2 \text{ cm}$

Ön tavlama sıcaklığı : $T_0 = 20^\circ$

İç köşe dikiş kalınlığı : $a = 5 \text{ cm}$

Elektrot cinsi : Rutil karakterli

b — Aranana :

Soğuma süresi saniye olarak.

c — Çözüm :

Tablo 1'e göre izafi ısı etkinlik derecesi $\eta' = 0,9$ dur. Tablo 2'den, $F_3 = 0,67$ ve $F_2 = 0,45 - 0,67$ bulunur. Şekil 2 ye uygun olarak 5 mm. lik (a) ölçüsü için kaynak enerjisi $E = 16,5 \text{ kJ/cm}$ olur. Şekil 3'deki diyagramdan ısı iletiminin hangi tür olduğunu belirlemek için önce kaynak enerjisi izafi ısı etkinlik derecesi çarpılmalıdır. $\eta' \cdot E = 14,85 \text{ kJ/cm}$. Şe-

kil 3'den $T_0 = 20^\circ\text{C}$ ve $E = 14,85 \text{ kJ/cm}$ için geçiş kalınlığı $d_g = 1,8 \text{ cm}$ bulunur. Burada ısı iletimi $dg < d$ olduğundan üç boyutludur. Şekil 4'e uygun olarak $E = 16,5 \text{ kJ/cm}$ lik, tozaltı kaynağında kör paso için soğuma süresi $t_{8/s} = 8,8 \text{ s.}$ bulunur. Aranana ise bunun η' ve F_3 ile çarpılmasıyla bulunur.

d — Sonuç :

Üç boyutlu ısı iletimi durumu vardır. Soğuma süresi $t_{8/s} = 5,3 \text{ s.}$ dir.

4.2.4. — Bir paso ile iç köşe el kaynağı

a — Verilenler :

Sac kaynağı : $d = 1,2 \text{ cm}$

Ön tavlama sıcaklığı : $T_0 = 100^\circ\text{C}$

İç köşe dikiş kalınlığı : $a = 6 \text{ mm}$

Elektrot cinsi : Bazik karakterli

b — Aranana :

$t_{8/s}$ Soğuma süresi saniye olarak.

c — Çözüm :

Tablo 1'e göre $\eta' = 0,9$ dur. Tablo 2'den $F_3 = 0,67$ ve $F_2 = 0,9 - 0,67$ alınır. Şekil 2'ye uygun olarak 6 mm. lik bir (a) ölçüsünde kaynak enerjisinin değeri $E = 25 \text{ kJ/cm}$ olur. Mevcut Şekil 3'den ısı iletimi türünü belirleyebilmek için kaynak enerjisi kaynak yönteminin izafî ısı etkinlik derecesi ile çarpılmalıdır. $\eta' \cdot E = 22,5 \text{ kJ/cm}$. $T_0 = 100^\circ\text{C}$ ve $\eta' \cdot E = 22,5 \text{ kJ/cm}$ için Şekil 3'den geçiş kalınlığı $d_g = 2,2 \text{ cm}$ bulunur. $dg > d$ olduğundan iki boyutlu ısı iletimi durumu vardır. $d = 1,5 \text{ cm}$, $\eta' \cdot E = 0,9 \cdot 25 = 22,5 \text{ kJ/cm}$ ve $T_0 = 100^\circ\text{C}$ için Şekil 5'den soğuma süresi $t_{8/s} = 35 \text{ s.}$ olarak bulunur. $d = 1,2 \text{ cm}$ lik sac kalınlığında beklenen soğuma süresi, bu değer sac kalınlıklarının karelerinin bölümü ile çarpılması sonucu elde edilir. $t_{8/s} = \left(\frac{1,5^2}{1,2^2} \right) \cdot 35 = 55 \text{ s.}$ Dikiş faktörünün de göz önüne alınması ile $F_2 = 0,9$ için soğuma süresi $t_{8/s} = 49 \text{ s.}$ ve $F_2 = 0,67$ için 37 s. bulunur.

Sonuç :

Isı iletimi iki boyutludur. Dikiş faktörüne göre soğuma süresi 37 ile 49 s. arasında değişir.

5. Netice :

Kaynak işlemi sırasında ortaya çıkan sıcaklık çevrimleri, kaynak koşullarının bir fonksiyonudur ve kaynak bağlantısının ısının tesiri altında kalan bölgenin mekanik - teknolojik özellikleri için bir ölçektir. Soğuma süresi ile kaynak enerjisi, ön tavlama sıcaklığı sac kalınlığı dikiş şekli arasındaki bağıntının sayısal açıklanması, soğuma süresinin kaynak koşullarından hesaplanmasına olanak sağlar. Böylelikle kaynak bağlantısının mekanik - teknolojik özellikleri için sayısız etki büyüklükleri bir tek büyüklük altında toplanabilir, Böylece kaynak bağlantılarının mekanik özelliklerine kaynak koşullarını etkisini araştırmadaki harcamalar oldukça azaltılabilir. Bir diğer avantajı da kaynak bağlantısının mekanik özellikleri ile kaynak koşulları arasındaki karmaşık ilişkinin görülebilir duruma gelmesidir.

REFERANSLAR :

- (1) Uwer, D.- Degenkoble, J. «Temperaturzyklen beim Lichtbogenschweissen - Berechnung von Abkühlzeiten» Schw.u.Schn. 24(1972). H. 12, S. 485/99.
- (2) Uwer, D.- Degenkolbe, J. «Temperaturzyklen beim Lichtbogenschweissen - Einfluss des Waermebehandlungszustandes und der Chemischen Zusammensetzung von Staehlen auf die Abkühlzeit» Schw. u. Schn. 27(1975), H. 8, S. 303/06.
- (3) Uwer, D.- Degenkolbe, J. «Kennzeichnung von Schweißtemperaturzyklen hinsichtlich ihrer Auswirkung auf die mechanischen Eigenschaften von Schweissverbindungen» Stahl. u. Eisen 97(1977), H. 24, S. 1201/08.
- (4) Uwer, D.- Wegmann, H. «Temperaturzyklen beim Lichtbogenschweissen - Einfluss von Schweißverfahren und Nahtart auf die Abkühlzeit» Schw. u. Schn. 28(1976), H. 4, S. 132/36.
- (5) Christensen, N. «Distribution of Temperatures in Arc Welding» Brit Wdg. J. 12 (1965), H. 3, S. 54/75.
- (6) Rykahn, N. N. «Les sources d'énergie utilisées en soudage» IIW - 465 - 74.
- (7) Degenkolbe, J.- Uwer, D. «Erfahrungen beim Schweißen wasservergüteter Stähle mit Streckengrenzen von 47 bis 90 kg/mm²» Schweißtechnik (Zurich), 63(1973), H. 5, S. 117/33.