

5. İmalat

Alaşımsız ve Düşük Alaşımlı Çeliklerin Ark Kaynağı İçin Tavsiyeler

5.1. Alaşımsız ve Düşük Alaşımlı Çeliklerin Ark Kaynağı İçin Genel Kavramlar ve Tavsiyeler

5.1.1. Kapsam

Bu bölümde, EN 1011-1'e göre genel kavramlar ve EN 1011-2'ye göre alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerin elle, yarı-mekanize ve otomatik ark kaynağı için tavsiyeler verilmiştir.

5.1.2. Atıf Yapılan Standartlar

Bu bölümde atıf yapılan standartlar EN 288-2:1997 “Metalik Malzemelerin Kaynak Prosedür Şartnameleri ve Onayı – Kısım 2: Ark Kaynağı için Kaynak Prosedür Şartnameleri”, EN 1011-1:1998 “Kaynak-Ark Kaynağı için Genel Kılavuz”, EN 29692 “Çelikler için Ağız Hazırlığı, EN ISO 13916 “Kaynak-Ön Tavlama Sıcaklığı, Pasolararası Sıcaklık ve Ön Tavlama Sıcaklığının Korunması”, CR ISO / TR 15608 - Kaynak-Metalik Malzeme Gruplama Sistemi” standartlarıdır.

Bu bölümde verilenler, ferritik paslanmaz çelikler hariç, tüm ferritik çeliklere uygulanabilir. Bu, CR ISO / TR 15608'in 1.den 7.ye kadar olan gruplarında verilen çelikleri kapsar.

5.1.3. Tanımlar

5.1.3.1. Ark Kaynak Akımı I

Elektroddan geçen akım (A).

5.1.3.2. Ark Gerilimi U

Kontak borusu veya elektrod pensesi ile parça arasındaki elektriksel potansiyel (V).

5.1.3.3. Pasolararası Sıcaklık T_i

Çok pasolu bir kaynakta veya bitişikteki esas metalde, bir sonraki pasonun uygulanmasından hemen önceki sıcaklık (°C).

5.1.3.4. Isı Girdisi Q

Kaynak sırasında birim paso uzunluğunda kaynak bölgesine verilen enerji (kJ/mm).

5.1.3.5. Ön Tavlama Sıcaklığı (T_p)

Herhangi bir kaynak işleminden hemen önce, kaynak bölgesindeki parça sıcaklığı (°C).

5.1.3.6. Isıl Verim (k)

Kaynak dikişine verilen ısı enerjisinin ark tarafından tüketilen elektrik enerjisine oranı.

5.1.3.7. Kaynak Hızı (v)

Kaynak banyosunun ilerleme hızı.

5.1.3.8. Bozucu Etki

Kaynak bölgesindeki süreksizlikler veya zararlı etkiler.

5.1.3.9. Başlangıç Plakası

Bir birleşimin başlangıcında tam kesitli kaynak metali elde edilmesini sağlamak üzere yerleştirilen metal parçası.

5.1.3.10. Bitiş Plakası

Bir birleşimin sonunda tam kesitli kaynak metali elde edilmesini sağlamak üzere yerleştirilen metal parçası.

5.1.3.11. Tel Besleme Hızı (w_p)

Birim zamanda tüketilen tel uzunluğu.

5.1.3.12. Sözleşme

Bir sözleşme:

- ya bir müşteri tarafından sipariş edilen konstrüksiyonlar hakkında uzlaşılan koşullardır.
- ya da, bir imalatçının değişik müşteriler için seri halde imal ettiği konstrüksiyonlar için temel şartnamesidir.

Sözleşmenin, her iki durumda da, tüm mevcut bağlayıcı koşullara atıfları içerdiği varsayılır.

5.1.3.13. Kaynak Sarf Malzemeleri

İlave metaller, tozlar ve gazlar dahil, bir kaynağın yapılışında tüketilen malzemeler.

5.1.4. Kısaltma ve Semboller (bkz. Tablo 5.1)**5.1.5. Kalite Koşullarının Sağlanması**

Sözleşme, kaynağın gerçekleştirilmesi için gerekli bilgileri vermelidir. Eğer imalatçının bir kalite sistemi kurması tavsiye edilmişse, bununla ilgili bilgi EN 729 'un uygun bir kısmı ile uyumlu olmalıdır.

5.1.6. Esas Metaller ile Bunların Depolanması ve Taşınması**5.1.6.1. Esas Metalin Kaynak Kabiliyetini (Kaynaklanabilirliğini) Etkileyen Faktörler**

Kaynakların özellikleri ve kalitesi, kaynak koşullarından önemli oranda etkilenir. Bu nedenle, aşağıdaki faktörlerin dikkate alınması gerekir:

- Birleşimin tasarımı
- Hidrojenin yarattığı çatlama
- ITAB'ın tokluğu ve sertliği
- Katılama çatlakları
- Lameler yırtılma
- Korozyon.

Tablo 5.1. Semboller ve kısaltmalar.

Sembol Kısaltma	Tanımı	Açıklama	Birimi
I	Ark kaynak akımı		A
l	Bir pasonun uzunluğu		mm
k	Isıl verim faktörü		-
Q	Isı girdisi		kJ/mm
d	Malzeme kalınlığı		mm
U	Ark gerilimi		V
v	Kaynak hızı		mm/dak
w _f	Tel besleme hızı		mm/dak veya m/dak
CE	Karbon eşdeğeri (bkz. Madde 5.3.2.1)		%
CET	Karbon eşdeğeri (bkz. Madde 5.3.3.2.1)		%
D	Çap		mm
D	Levha kalınlığı		mm
d _t	Geçiş kalınlığı	Üç boyutludan iki boyutlu ısı akışının meydana geldiği bölgedeki levha kalınlığı	mm
F _x	Form faktörü	Kaynağın formunun soğuma süresine (t _{8/5}) etkisi.	-
F ₂	İki boyutlu ısı iletimi için form faktörü	Kaynak sırasında girilen ve sadece levha yüzeyine paralel akan ısı	-
F ₃	Üç boyutlu ısı iletimi için form faktörü	Kaynak sırasında girilen ve levha yüzeyine paralel ve dik akan ısı	-
ITAB	Isının Tesiri Altındaki Bölge	Kaynak banyosundan esas metale ısı iletimi sırasında, yapı ve özellikleri değişen kaynak dikişine bitişik esas metal bölgesi	-
HD	Yayınabilir hidrojen miktarı		ml / 100g yığılan kaynak metali
R _r	Yığılma oranı	Tüketilen elektrodun uzunluğunun yığılma uzunluğuna oranı	-
t _{8/5}	Soğuma süresi (800 °C'den 500 °C'ye)	Bir kaynak pasosu ve bunun ITAB'ı için 800°C'den 500°C'ye soğuması sırasında geçen süre	s
t	Bir elektrodun erime süresi		s
T _m	Pasolararası korunan sıcaklık	Kaynağın kesintiye uğraması durumunda, kaynak bölgesindeki korunması gereken minimum sıcaklık	°C
T _o	Başlangıç levha sıcaklığı		°C
T _t	Darbe geçiş sıcaklığı		°C
UCS	Çatlak hassaslık birimi		-
λ	Isıl iletkenlik		J/cm K s
ρ	Yoğunluk		g/cm ³
c	Özgül ısı kapasitesi		J/kg K

Mekanik ve teknolojik özellikler, özellikle de dar bir alan oluşturan ITAB'ın sertlik ve tokluğu, esas metalin özellikleriyle kıyaslandığında az yada çok etkilenir ve bu durum, kaynak koşullarına bağlıdır. Çeliğin seçimini etkileyebildiğinden deneyimler ve testler göstermektedir ki, kaynaklı birleşimlerin kırılmaya karşı emniyet ve sünekliği gözönüne alınırken, sadece düşük mukavemet ve daha iyi sünekliğe sahip dar ITAB'ın özellikleri değil, aynı zamanda ITAB'a bitişik daha tok bölgelerin yük dağılım etkisi de dikkate alınmalıdır.

5.6.1.2. Esas Metallerin Depolanması ve Taşınması

Depolama ve taşıma, esas metalin olumsuz etkilenmeyeceği şekilde yapılmalıdır.

5.1.7. Kaynak Sarf Malzemeleri

5.1.7.1. Genel

Kaynak sarf malzemeleri, ülkenin ulusal standartlarına uygun olarak işaretlenmiş olmalıdır. Sarf malzemeleri birleşimin tasarımı, kaynak pozisyonu ve servis koşullarını karşılayacak özellikler gibi, söz konusu uygulamaya uygun seçilmelidir. İmalatçı/tedarikçi tarafından belirtilen özel tavsiyelere uyulmalıdır.

Bazı durumlarda ilave metal kullanmadan kaynak yapmak mümkün olabilir.

5.1.7.2. Tedarik, Depolama ve Taşıma

Tüm sarf malzemeleri, ilgili standartlara ve/veya üreticinin/tedarikçinin tavsiyelerine uygun şekilde ve dikkatle depolanmalı ve taşınmalıdır.

Kendisi veya ambalajı bozulma belirtisi gösteren örtülü elektrodlar, tel elektrodlar, çubuklar ve tozlar, vb. kullanılmamalıdır.

Örtülü elektrodlardaki bozulma belirtilerinin örnekleri olarak örtünün çatlaması ve soyulması, paslanmış veya kirlenmiş tel elektrodlar ve koruyucu örtüleri soyulmuş veya hasarlanmış teller olabilir.

Depoya geri getirilen sarf malzemeleriyle ilgili şartlar, üreticinin/tedarikçinin tavsiyelerine uygun şekilde yeniden düzenlenmelidir. Sarf malzemesi üreticileri tarafından, depolama veya kullanımdan hemen önce özel koruma veya başka işlemler tavsiye edildiğinde, bu sarf malzemeleri üreticiler tarafından ayrıntıları verilen koşullarla uyumlu halde işlem görmelidir.

Kurutma veya pişirme sırasında sarf malzemeleri orijinal kutularından çıkarılmalıdır. Fırından çıkarıldıktan sonra, sarf malzemelerini nem absorpsiyonuna yolaçan koşullara maruz bırakmaktan kaçınılmalıdır. Vakum veya diğer neme dirençli ortamlar gibi, özel olarak paketlenmiş kaynak sarf malzemeleri durumunda ise ileri aşamada kurutma ve pişirme gerekeceğinden, sarf malzemesi üreticilerinin tavsiyeleri gözönünde bulundurulmalıdır.

Eğer kontrollü hidrojen seviyeleri gerekiyorsa, kaynakçıların elektrodları ısıtılmış dolaplarda veya sızdırmaz kaplarda tutmaları tavsiye edilir.

Örneğin elektrodlar için kurutma fırınları, fırın sıcaklığını ölçen ekipmanla donatılmış olmalıdır.

5.1.8. Ekipman

İmalatı gerçekleştiren imalatçı, kaynak atölyesinin ve kullanılan ekipmanın kapasitesinin, kullanılacak kaynak prosedürüne uygunluğundan sorumludur. Kaynak atölyesi düzenli olarak denetlenmeli ve korunmalıdır.

Kaynak işlemiyle bağlantılı olarak kullanılan tüm elektrik tesisatı uygun şekilde topraklanmalıdır. Parçaya bağlanan kaynak dönüş kablosu, uygun enkesite sahip olmalı ve kaynak noktasının mümkün olduğu kadar yakınına bağlanmalıdır.

Kaynak parametrelerinin ölçüm aletleri, ya kaynak ekipmanının parçası olmalı ya da taşınabilir aletlerle kaynak yerinde bulundurulmalıdır. Bu parametreler ark gerilimi, kaynak akımı, tel besleme hızı, kaynak hızı, koruyucu/kök koruma gaz debisi ve esas metal/kaynak metalinin sıcaklığı olabilir.

5.1.9. İmalat

5.1.9.1. Genel

İmalat ekipmanları rüzgar, yağmur, kar, hava cereyanı, vb. gibi olumsuz hava koşullarından korunmalı ve kuru tutulmalıdır. Ekipmanlar yapılan işe uygun olmalı ve diğer malzemeler nedeniyle kirlenmesini önleyecek önlemler alınmalıdır.

Yüzeyler, kuru ve kaynakların kalitesini olumsuz etkileyebilecek diğer malzemelerden arındırılmış olmalıdır. Eğer gerekirse şekillendirme takımları, kaynak fikstürleri, işkenceler ve manipulatörler kullanılmadan önce temizlenmelidir.

Gaz korumalı yöntemlerin kullanımı sırasında, kaynak bölgesinin hava cereyanı ve benzeri hava hareketlerinden korunması gerekir. Hava cereyanları düşük hızda bile olsa koruyucu gazı uzaklaştırabileceğinden, kaynak bölgesinin korunması gerekir.

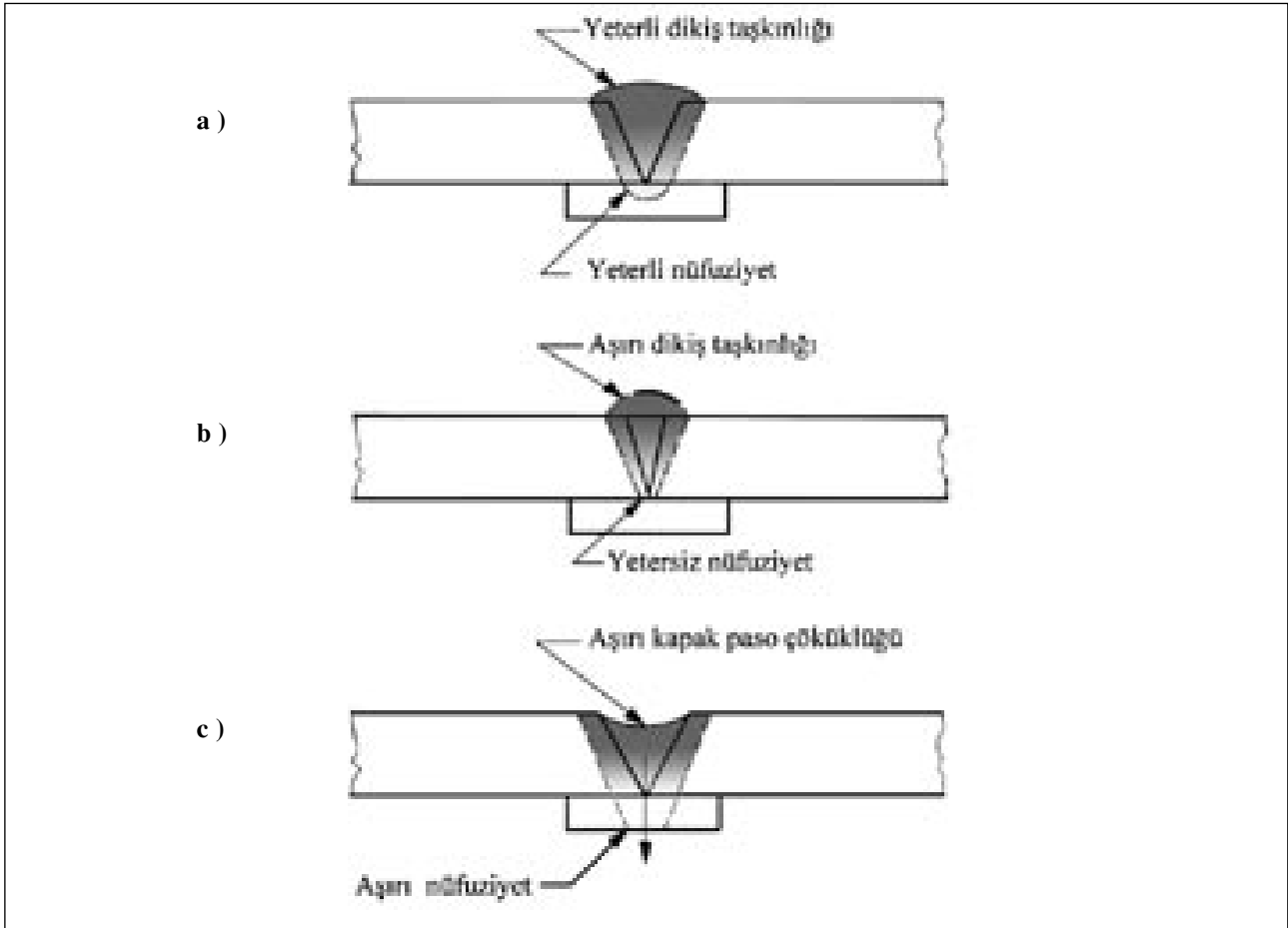
Kaynağın arka tarafını oksitlenmekten korumak için soy kök koruma gazı gerekirse, EN 439'la uyumlu bir süpürme gazı kullanarak süpürme gerçekleştirilmelidir.

5.1.9.2. Küt Kaynaklar

Birleşim türü gibi, kısmi nüfuziyetli birleşim (KBN), dahili aç ve parçalar arasında kök aralığı gibi tüm küt kaynak dikişi detayları, tatminkar bir kaynak tekniğinin ve kaynak detaylarının kombinasyonunun kullanımına izin verecek şekilde düzenlenmelidir ve sonuçta teşkil edilen birleşim, tasarımda öngörülen koşulları sağlamalıdır.

Küt kaynaklı birleşimlerin uçları, tam kaynak kalınlığını sağlayacak şekilde kaynak yapılmalıdır. Bu sonuca kaynak başlangıç ve kaynak bitiş levhaları kullanımıyla ulaşılabilir. (bkz. Şekil 5.7)

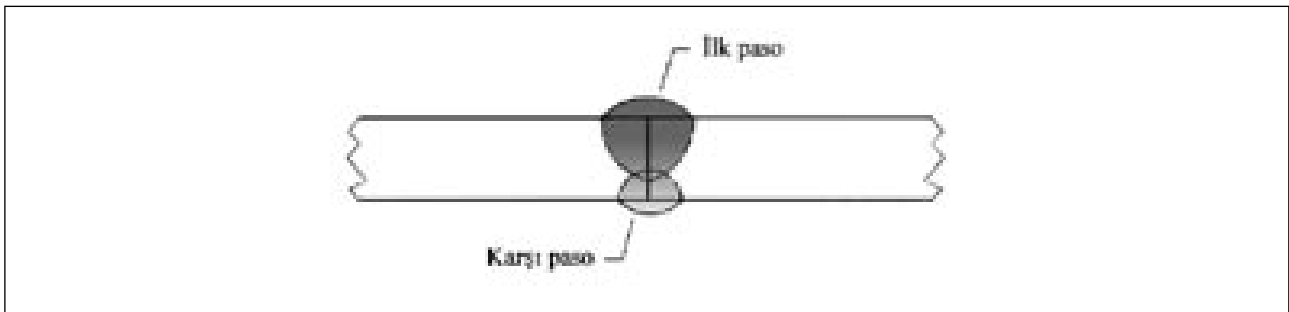
Kalıcı kaynak banyo altlığının (karşılama parçasının) malzemesi, metalurjik olarak ilave metalle ve esas metalle uyumlu olmalıdır. Altlık (karşılama parçası), kesitin bütünleyici bir parçası veya ayrı bir bileşen olabilir. Altlık malzemesinin kalınlığı, tüm kesiti erimeden kaynağı destekleyecek kadar olmalıdır (bkz. Şekil 5.1).



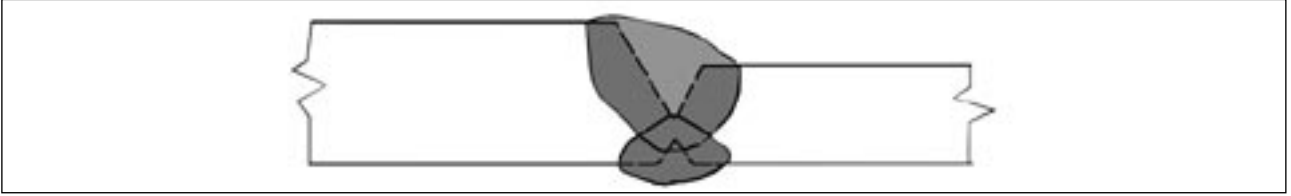
Şekil 5.1. Küt kaynak dikişlerinde altlık (karşılama parçası) ve hatalar

Geçici kaynak banyo altlık malzemesi (karşılama parçası), esas / kaynak metalini kirletmeyecek şekilde seçilmelidir. Bununla ilgili olarak bu bölümün ilgili kısımlarına bakınız.

Çift taraftan kaynak yapılması gereken tüm tam nüfuziyetli küt kaynak dikişlerinde (TBN) bu işlem, kaynak altlığı, taşlama ve traşlama uygulanmadan gerçekleştirilmesini sağlayacak belirli kaynak prosedürleri ile yapılabilir; ancak tam bir kök nüfuziyetine ulaşamayan bir ilk pasonun arkası, arka taraf üzerine kaynak yapılmadan önce, uygun ekipmanlarla sağlam kaynak dikişine ulaşılan kadar taşlanabilir (bkz. Şekil 5.2)



Şekil 5.2. Çift taraftan küt kaynak dikişininin yapılması



Şekil 5.3. Farklı enkesite sahip parçalar arasında küt kaynak dikişi

Bazı durumlarda, uygun bir tahribatsız çatlak tespit yönteminin uygulanmasıyla, temiz sağlam metalin varlığını kontrol etmek istenebilir.

Farklı enkesite sahip parçalar arasındaki küt kaynak dikişleri, birleşim bölgesinde aşırı gerilme yığılmasından kaçınacak tarzda şekillendirilmelidir (bkz. Şekil 5.3).

Örtülü çubuk elektrodlarla yapılan elektrik ark kaynağı ve MIG/MAG kaynağı için bazı kaynak ağız açma hazırlığı örnekleri EN 29692’de verilmiştir.

Tasarım standardına bağlı olarak KBN (Kısmi birleşim nüfuziyetli) küt kaynak dikişlerine izin verilebilir. Bu durumda belirtilen dikiş kalınlığına ulaşabilmek için, ağız açma hazırlığının ve kaynak sarf malzemesinin seçimine özel önem verilmelidir.

Yorulma koşulları altında, KBN birleşimler veya kalıcı altlık malzemeleri istenmeyebilir.

Uygun olduğunda, altlık malzemesi (karşılama parçası) yapının başka çelik kısmından yapılmış olabilir.

Yapının bir kısmını altlık malzemesi olarak kullanmak mümkün olamadığında, kullanılacak malzeme yapı üzerine olumsuz etki yapmamalı ve tasarım standardında yer almış olmalıdır.

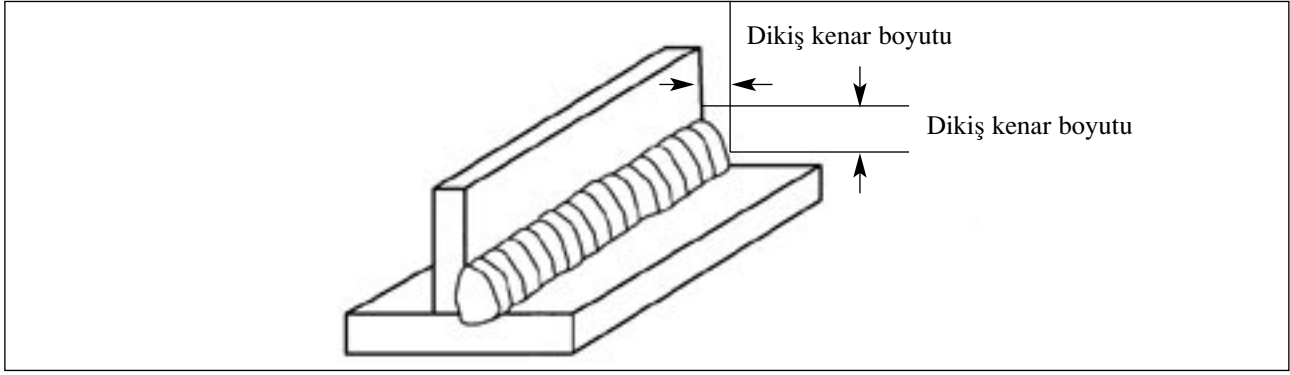
Geçici ve sabit altlık malzemesi kullanıldığında, birleştirilen parçalarda tam nüfuziyete ulaşılacak tarzda birleşim düzenlenmelidir (bkz. Şekil 5.1a).

İmalat sırasının izin verdiği her yerde, sabit altlığı tutturan punta kaynaklarının, sonraki kaynak içinde kalacak şekilde yerleştirilmesi gerekir.

5.1.9.3. Köşe Kaynaklar

Aksi belirtilmedikçe, köşe kaynağıyla birleştirilecek olan parçaların (esas metallerin) kaynak işlemine maruz erime yüzeyleri mümkün olduğunca boşluksuz olmalıdır (bkz. Şekil 5.4). Aksi belirtilmedikçe, aralığın **3 mm**’yi geçmemesi gerekir (bkz. Şekil 1.5b ve Şekil 1.8c). Dikiş kalınlığının büyük bir aralığı dengeleyecek derecede artırılmasına özel önem verilmelidir. Çekilen köşe kaynak dikişi, derin nüfuziyet işlemlerinin veya kısmi ağız açma hazırlıklarının kullanımı gözönünde tutularak, kenar boyutu ve/veya dikiş kalınlığı olarak açıkça belirtilmesi gereken boyutlardan daha küçük olmamalıdır.

Aksi belirtilmedikçe, kaynak dikişleri köşelerde başlayıp bitirilmemeli; bunun yerine, köşelerin çevresinde sürekli olmalıdır (bkz. Şekil 2.9).



Şekil 5.4. Köşe kaynak dikişi

5.1.10. Kaynak Ağız Hazırlığı

Kaynak erime yüzeylerinin hazırlığı, uygun kaynak prosedürünün gerektirdiği tolerans limitlerini aşmayacak şekilde olmalıdır.

Yüzeyler ve kenarlar, çatlaksız ve çentiksiz olmalıdır. Birleşim geometrisinde oluşabilecek herhangi büyük çentikler veya diğer hatalar, onaylanmış bir kaynak prosedürüne göre bir kaynak dolgusu uygulayarak düzeltilmelidir. Bunun peşinden kabul edilebilir bir sonuca ulaşmak için, düzgünce taşlanmalı ve bitişindeki yüzeyle aynı hizaya getirilmelidir. Bu durum, sözleşme yapan taraflarca uzlaşılan yöntemlerle düzeltilebilir.

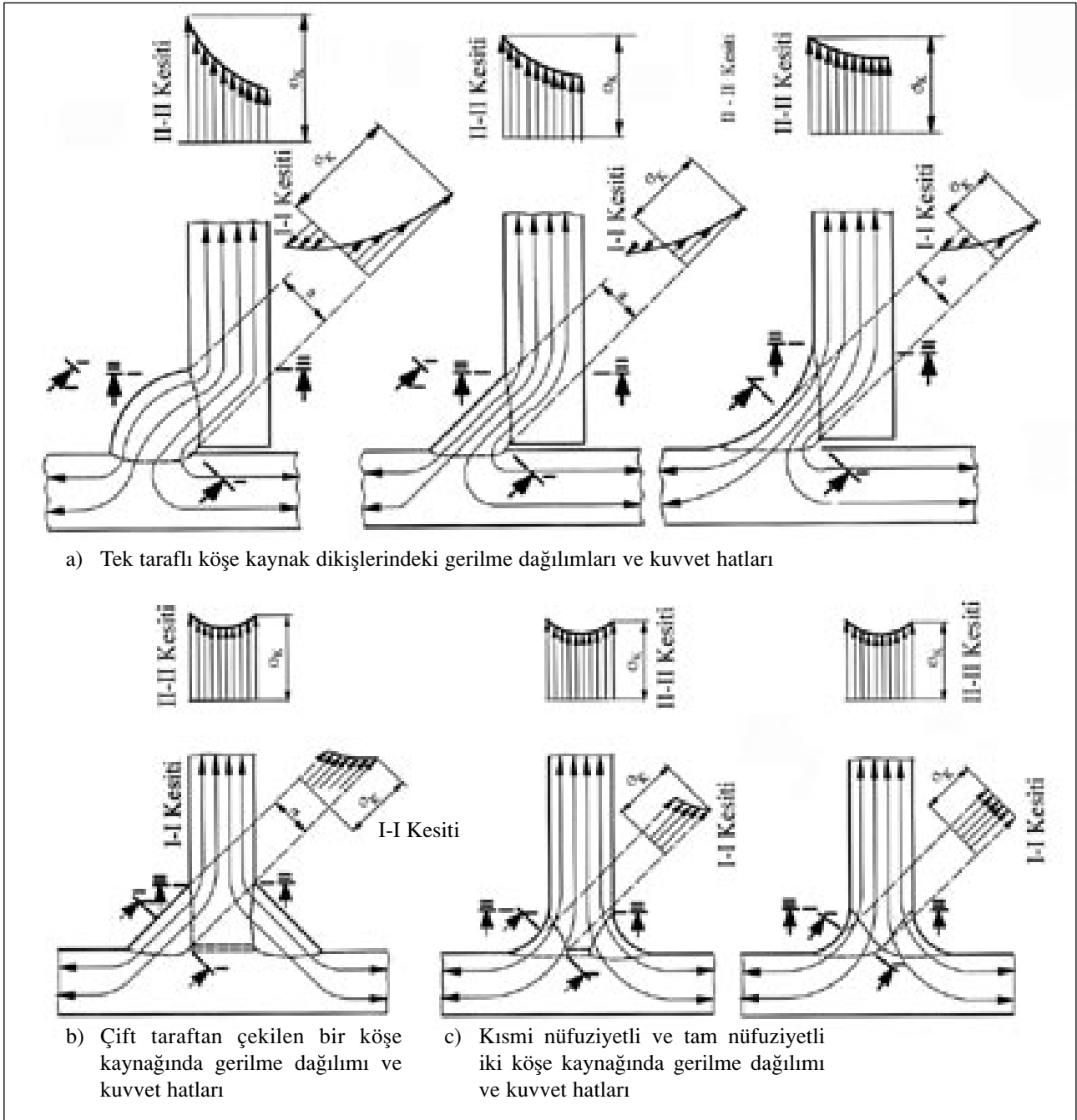
Yetersiz bir kaynak dikişi ağız hazırlığı, kaynaklı çelik yapıların imalatında çoğu kez zor giderilebilecek hataların nedenini oluşturur; sadece dikişin kalitesini düşürmekle kalmaz, aynı zamanda oluşan çekme ve çarpılmalar, imalatın maliyetini de artırır.

5.1.10.1. Köşe Kaynak Dikişleri

Köşe kaynak dikişleri, genel olarak özel bir kaynak ağız açma hazırlığını gerektirmez. Kaynak dikişinde büzülme (kendini çekme) ve iç gerilmeler nisbeten küçüktür. Ancak küt kaynak dikişlerine göre köşe kaynak dikişlerinde kuvvetin iletimi, bozulmuş kuvvet akışından (çentik) dolayı daha kötüdür. Şekil 5.5’de verilen tek ve çift taraflı köşe kaynak dikişlerinin I-I ve II-II kesitlerindeki gerilme dağılımlarının karşılaştırılmasından açıkça görüldüğü gibi, uygulanabildiği takdirde daha üniform gerilme dağılımı veren dikişler tercih edilmelidir. Bu nedenle T-birleşimlerde mümkün olduğu kadar çift köşe kaynak dikişi şeklinde düzenleme yapılmalıdır.

5.1.10.2. Küt Kaynak Dikişleri

Küt kaynak dikişi, çoğu kez bozulmamış kuvvet akışı oluşumunu sağlar ve bu sayede imalat ve muayenelerin özenli yapılması durumunda, esas metalin mukavemet değerlerine ulaşılabilir. Dezavantajı ise, çoğu kez ağız formunun yüksek maliyetle yapılmasıdır. Ayrıca aşağıdaki faktörlerin de hesaba katılması gerekir : esas metal; parça kalınlığı; birleşim türü; kaynak yöntemi; kaynak pozisyonu; imalat olanakları, vb.



Şekil 5.5. Tek ve çift taraflı köşe kaynaklarında gerilme dağılımları ve kuvvet hatları

5.1.10.3. Kaynak Ağız Hazırlığı Standartları

TS 3473 - EN 29692 (Elle elektrik ark kaynağı, gazaltı kaynağı ve gaz-eritme kaynağı; Çelikler için ağız açma hazırlığı), kaynak yöntemine bağlı olarak çeliklerde ağız formlarının oluşturulması için çerçeve kuralları içerir.

Tablo 5.2’de TS 3473 - EN 29692’ye göre kaynak yöntemlerine bağlı olarak seçilmiş ağız formları verilmiştir.

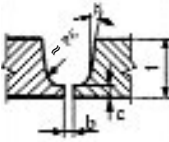
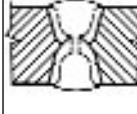
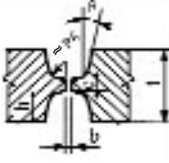
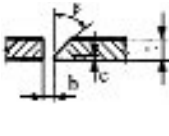
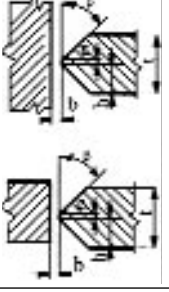
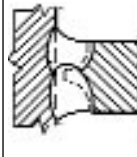
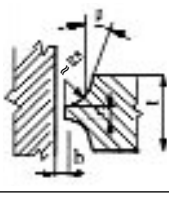
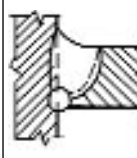
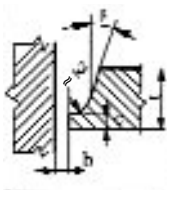
Tablo 5.2. TS 3473 - EN 29692' ye göre kaynak ağzıları

Kaynak					Kaynak ağzı					Tavsiye edilen kaynak işlemi (ISO 4063'e göre referans numarası)	Notlar		
Referans No	İş parçası kalınlığı t (mm)	Tipi	Sembol (ISO 2553'e göre)	Şekille izahı	Enine kesiti	Boyutlar							
						Açı ¹⁾ α, β	Aralık ²⁾ b	Kök yüzeyi kalınlığı c	Kaynak ağzı derinliği h				
1.1	$t_1 \leq 2$	Kıvrık alın kaynağı				-	-	-	-	3 111 131 135 141	Genellikle ilave metallsiz		
1.2	$t \leq 4$	Küt alın kaynağı				-	$b = t$	-	-	3 111 141	-		
	$3 \leq t \leq 8$					-	$6 \leq b \leq 8$	-	131 135 141 ³⁾	Şerit atıklı			
1.3	$3 \leq t \leq 10$	Tek taraftan V alın kaynağı				$40^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$	$b \leq 4$	$c \leq 2$	-	3 ⁴⁾	Uygulanabildiği yerlerde şerit atıklı		
1.14	$t > 15$	Tek taraftan V alın kaynağı				$5^\circ \leq \beta \leq 20^\circ$	$5 \leq b \leq 15$	-	-	111 131 135	Şerit atıklı		
1.5	$5 \leq t \leq 40$	Küt kök yüzeyi tek taraftan V alın dikişi				$\alpha \approx 60^\circ$	$1 \leq b \leq 4$	$2 \leq c \leq 4$	-	111 131 135 141	-		
1.3.7	$t > 12$	V kök tek taraftan U alın kaynağı				$60^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ $8^\circ \leq \beta \leq 12^\circ$	$1 \leq b \leq 3$	-	$h > 4$	111 131 135 141	$R \approx 6 - 9 \text{ mm}$		
2.5.5	$t > 10$	Küt kök yüzeyli çift taraftan V alın kaynağı				$\alpha \approx 60^\circ$	$1 \leq b \leq 3$	$2 \leq c \leq 6$	$h_1 = h_2$ $\frac{1-c}{2}$	-	-	111 141	-
						$40^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$						131 135	
2.3.3	$t > 10$	Çift taraftan V alın kaynağı				$\alpha \approx 60^\circ$	$1 \leq b \leq 3$	$c \leq 2$	$h = \frac{t}{2}$	-	-	111 141	-
						$40^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$						131 135	
2.2.3	$t > 10$	Çift taraftan asimetrik V alın kaynağı				$\alpha_1 \approx 60^\circ$ $\alpha_2 \approx 60^\circ$	$1 \leq b \leq 3$	$c \leq 2$	$h = \frac{t}{3}$	-	-	111 141	-
						$40^\circ \leq \alpha_1 \leq 60^\circ$						131	
						$40^\circ \leq \alpha_2 \leq 60^\circ$						135	

¹⁾ Açılar da ISO 6947'ye göre PC konumundaki (yatay konumdaki) kaynaklar için daha büyük ve / veya asimetriktir.²⁾ Verilen ölçüler puntalanmış duruma uygulanır.³⁾ Kaynak işleminin gösterimi iş parçasının bütün kalınlık aralıkları için uygulanabilir olduğu anlamına gelmez.⁴⁾ Özel durumlarda da 111, 131, 135, 141 için uygulanabilir.

(NOT : Orijinal standartta "alın kaynağı" olarak bahsedilen birleştirme şekli, bu standartta "küt kaynak" ve "iç köşe kaynak" ise sadece "köşe kaynak" olarak geçmekte dir.

Tablo 5.2 TS 3473 - EN 29692'ye göre kaynak ağzları (Devam)

Kaynak					Kaynak ağzı					Tavsiye edilen ³⁾ kaynak işlemi (ISO 4063'e göre referans numarası)	Notlar
Referans No	İş parçası kalınlığı t (mm)	Tipi	Sembol (ISO 2553'e göre)	Şekille izahı	Enine kesiti	Boyutlar (mm)					
						Açı ¹⁾ α , β	Aralık ²⁾ b	Kök yüzeyi kalınlığı c	Kaynak ağzı derinliği h		
2.7.9.	t > 12	Altlık pasolu tek taraftan V alın kaynağı				$8^{\circ} \leq \beta \leq 12^{\circ}$	$1^{\circ} \leq b \leq 3^{\circ}$	c = 5		111 131 135 141	-
2.7.7.	t > 30	Çift taraftan U alın kaynağı				$8^{\circ} \leq \beta \leq 12^{\circ}$	b ≤ 3	c = 3	$h = \frac{t - c}{2}$	111 131 135 141	Bu tip kaynak ağzı, çift taraftan asimetrik V alın kaynağına benzer bir biçimde imal edilmiş olabilir.
2.4.9.	3 < t < 30	Altlık pasolu tek taraftan eğimli alın kaynağı				$35^{\circ} \leq \beta \leq 60^{\circ}$	1 ≤ b ≤ 4	c ≤ 2		111 131 135 141	-
2.4.4.	t > 10	Çift taraftan eğimli alın kaynağı				$35^{\circ} \leq \beta \leq 60^{\circ}$	1 ≤ b ≤ 4	c ≤ 2	$h = \frac{t}{2}$ veya $h = \frac{t}{3}$	111 131 135 141	Bu tip kaynak ağzı, çift taraftan asimetrik V alın kaynağına benzer bir biçimde imal edilmiş olabilir.
2.8.8.	t > 30	Çift taraftan J alın kaynağı				$10^{\circ} \leq \beta \leq 20^{\circ}$	b ≤ 3	c ≥ 2	-	111 131 135 141 ³⁾	Bu tip kaynak ağzı, çift taraftan asimetrik V alın kaynağına benzer bir biçimde imal edilmiş olabilir.
2.8.9.	t > 16	Altlık pasolu tek taraftan J alın kaynağı				$10^{\circ} \leq \beta \leq 20^{\circ}$	1 ≤ b ≤ 3	c ≥ 2	-	111 131 135 141 ³⁾	-

1) Açılar da ISO 6947'ye göre PC konumundaki (yatay konumdaki) kaynaklar için daha büyük ve/veya asimetrikliktir.

2) Verilen ölçüler doğrultulmuş duruma uygulanır.

3) Kaynak işleminin gösterimi, iş parçasının bütün kalınlık aralıkları için uygulanabilir olduğu anlamına gelmez.

Tablo 5.2 TS 3473 - EN 29692'ye göre kaynak ağızları (Devam)

Kaynak					Kaynak ağızı		Tavsiye edilen ¹⁾ kaynak işlemi (ISO 4063'e göre referans numarası)
Referans No	İş parçası kalınlığı t (mm)	Tipi	Sembol (ISO 2553'e göre)	Şekille izahı	Enine kesiti	Boyutlar Açı α, β Aralık b (mm)	
3.10A	$t_1 > 2$ $t_2 > 2$	Köşe kaynağı, T-birleşim				$70^\circ \leq \alpha \leq 100^\circ$ $b \leq 2$	3 111 131 135 141
3.10B	$t_1 > 2$ $t_2 > 2$	Köşe kaynağı, bindirme birleşim				- $b \leq 2$	3 111 131 135 141
3.10C	$t_1 > 2$ $t_2 > 2$	Köşe kaynağı, köşe birleşim				$60^\circ \leq \alpha \leq 120^\circ$ $b \leq 2$	3 111 131 135 141
4.10.10A	$t_1 > 3$ $t_2 > 3$	Çift taraftan köşe kaynağı, köşe birleşim (aralıklı)				$70^\circ \leq \alpha \leq 110^\circ$ $b \leq 2$	3 111 131 135 141
4.10.10B	$t_1 > 3$ $t_2 > 5$	Çift taraftan köşe kaynağı, köşe birleşim (aralıksız)				$60^\circ \leq \alpha \leq 120^\circ$ -	3 111 131 135 141
4.10.10C	$2 \leq t_1 \leq 4$ $2 \leq t_2 \leq 4$ $t_1 > 4$ $t_2 > 4$	Çift taraftan köşe kaynağı				- $b \leq 2$	3 111 131 135 141

¹⁾ Kaynak işleminin gösterimi iş parçasının bütün kalınlık aralıkları için uygulanabilir olduğu anlamına gelmez.

5.1.10.4. Ağızların Hazırlanması

5.1.10.4.1. Ağız Açma Hazırlığına Etki Eden Faktörler

Ağızların hazırlanmasında aşağıdaki faktörler gözönüne alınmalıdır :

- (a) Esas metal
- (b) Parça kalınlığı
- (c) Ağız formu
- (d) Kesimin düzgünlüğü
- (e) Isı etkisi

5.1.10.4.2. Ağız Hazırlama Yöntemleri (bkz Tablo 5.3)

- (a) Termik yöntemler : Alevle kesme, alevle oyuk açma, plazma ile kesme
- (b) Mekanik yöntemler: Makasla kesme, giyotin bıçakla kesme, planyalama, frezeleme, kaynak kenarlarının şekillendirilmesi, testere ile kesme, tornalama

5.1.10.5. Birleşim Ağız Yüzeylerinin Hazırlanması

5.1.10.5.1. Genel

Prefabrike primerler (atölye primerleri), kaynağa olumsuz etki yapmıyorlarsa, birleşim yüzeyinde bırakılabilirler.

5.1.10.5.2. Kaynak Sırasında Eriyen Ağız Yüzeyleri

Mekanik kesme kullanıldığında, soğuk sertleşmenin etkisi gözönünde bulundurulmalı ve kenarlarda çatlak olmadığı garanti edilmelidir.

Tek ve çift U ve tek J kaynak ağız hazırlıkları genellikle makinede hazırlanabilir. Ağız hazırlama yöntemi ve birleşim tipinin seçiminde, seçilen kaynak yönteminin koşulları da gözönünde bulundurulmalıdır.

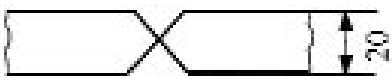
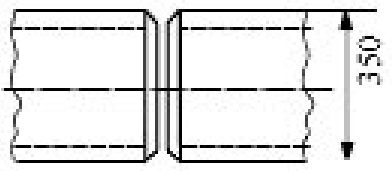
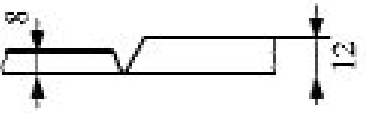
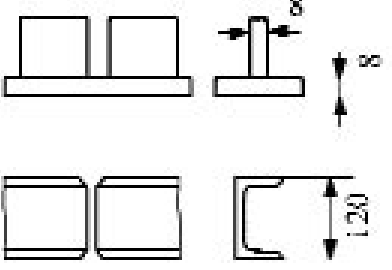
5.1.10.5.3. Kaynak Edilmemiş Ağız Yüzeyleri

Kesilen bir kenarın, kaynak ağzının erimiş kenarı olmaması durumunda mekanik kesmeden, termik kesmeden veya oyuk açmadan ileri gelen gevrekleşmenin etkisi, parçayı olumsuz etkilememelidir.

Kesme yüzeyindeki yerel sertleşme, uygun bir ısıl işlemle veya mekanik işlemle uzaklaştırılabilir. Kesilen yüzeyden 1-2 mm'lik kalınlığın kaldırılması, normal olarak sertleşmiş tabakayı ortadan kaldırır. Termik kesme kullanıldığında yerel sertleşme, normal kesme hızının azaltılmasıyla veya kesme işleminden önceki bir ön tavlama ile azaltılabilir. Eğer gerekirse, sertliğin azaltılmasına yönelik olarak çelik üreticisinin tavsiyelerine başvurulmalıdır.

V ve yarım -V kaynak ağızlarına oranla U ve J kaynak ağızları, gerekli kaynak metali miktarını azalttıklarından distorsiyonun da azaltılmasına yardımcı olurlar. Benzer şekilde kaynak metalinin, kaynak ağzının her iki tarafına değişimli pasolarla yığılabildiğini sağladığından, çift taraftan açılmış kaynak ağızları, tek tarafa açılmış kaynak ağzından daha iyidir. Distorsiyonun kontrolü bakımından, kaynak ağzının doğruluğu ve parçaların iyi uyumlu hazırlanması ve de dikkatli şekilde planlanmış ve kontrol edilmiş kaynak prosedürü de önemli faktörlerdir.

Tablo 5.3. Dikiş türü ve ağız formuna göre tavsiye edilen kaynak ağız açma yöntemleri

Dikiş türü ve ağız formu	Malzeme (bkz. Tablo E.3.5)	10 mm levha kalınlığına kadar makasla kesme	Alevle kesme		Taşla	Tornayla	Plazma ile kesme	400 mm çapa kadar testere ile kesme
			Elle	Makinayla (sadece düz kesim)				
	S355 (St 52)	X						
	S235 (St 37)			X				
	S235 Cr-Ni-Si (St 37)					X	X	
					X	X		X
	Cu						X	
	S235 (St 37)		X					
	Al						X	
	S355 (St 52)	X						
	S235 (St 37)				X			X

5.1.10.5.4. Küt Birleşimlerde Kaynak İşleminde Önce Parçaların Hizalanması

Aksi belirtilmedikçe (örneğin KPŞ Kaynak Prosedür Şartnamesi'nde veya bir uygulama standardında) küt kaynak dikişlerinin kök uçları veya kök yüzeyleri arasındaki kaçıklık, parça kalınlığı $\leq 12 \text{ mm}$ olması durumunda, ince parça kalınlıklarında kalınlığın % 25'inden ve parça kalınlığı $> 12 \text{ mm}$ olması durumunda ise, 3 mm 'den daha büyük olmamalıdır.

Belirli uygulamalarda ve kaynak işlemlerinde, daha dar toleranslar gerekebilir.

5.1.11. Kaynak İçin Montaj

Kaynak yapılacak parçalar, kaynak yerlerine ulaşılabilecek ve kaynakçı ve/veya operatör tarafından rahatça görülebilecek şekilde biraraya getirilmelidir. Uygulanabilecek her yerde, jigler ve manipulatorler kullanılarak, kaynak işleminin en uygun kaynak pozisyonunda yapılması sağlanmalıdır.

Montaj ve kaynak sırası, tüm kaynakların mevcut koşullarla uyumlu olarak muayene edilebileceği şekilde olmalıdır (bkz. EK 1 – Madde E1.2).

Distorsiyonu ve artık gerilmeleri en aza indirmek için, önceden sıkı geçmeli birleşimler veya önceden eğilmiş, bükülerek şekil verilmiş parçalar; veya distorsiyon ve büzülmenin kontrolünde yardımcı olacak olan kaynak sırasını belirlemek gerekli olabilir (bkz. EK 2).

5.1.12. Ön Tavlama ve Pasolararası Sıcaklık

Sıcaklık ölçümü ve ilave bilgiler için EN ISO 13916'ya başvurulmalıdır. Tüm kalınlıklar için ölçüm aralığının, kaynak merkez ekseninden en az 75 mm olması dışında, sıcaklık ölçümleri EN ISO 13916 ile uyumlu olmalıdır.

Ön tavlama ve pasolararası sıcaklıkların ayrıntıları, malzeme özelliklerine bağlıdır ve bu bölümün uygun yerlerinde belirtilmişlerdir. Punta kaynakları gibi düşük ısı girdili kaynaklar yapılırken, ön tavlama ihtiyacına özel önem verilmelidir.

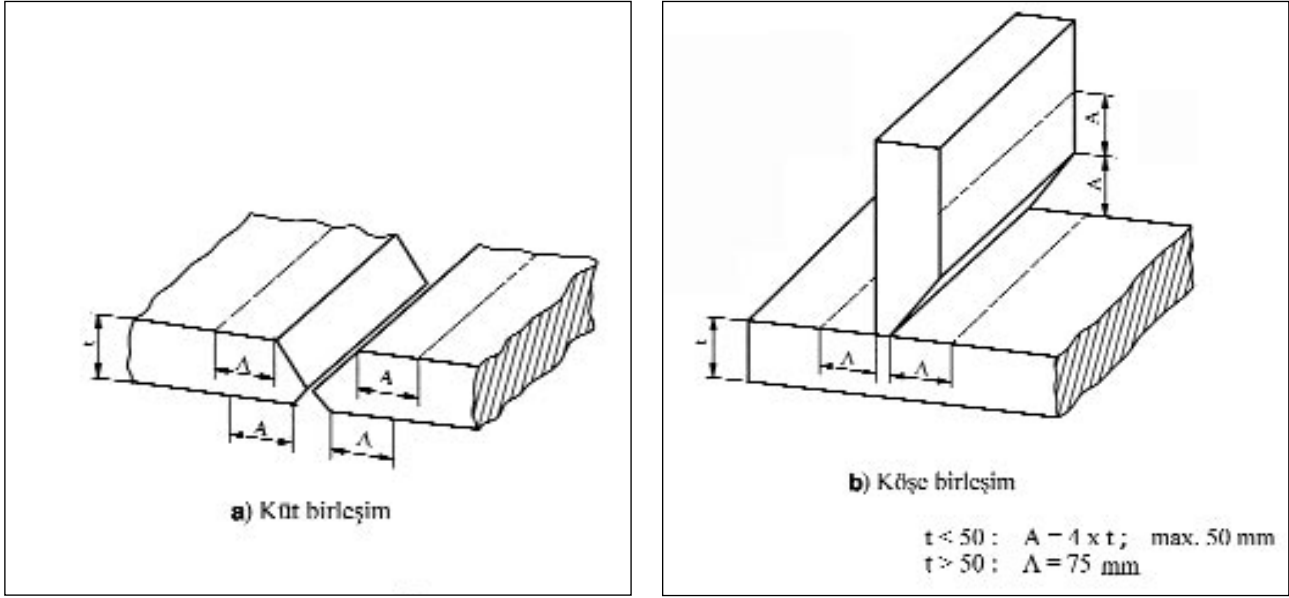
5.1.12.1. EN ISO 13916'ya Göre Ön Tavlama ve Pasolararası Sıcaklıkların Ölçümü

5.1.12.1.1. Ölçüm Noktası

Sıcaklık ölçümleri normal olarak parçanın, kaynakçının çalıştığı taraftaki yüzeyinde, $(A = 4 \times t)$ 'lik bir mesafede, ancak kaynak ağzının uzunlamasına kenarından en çok 50 mm 'de yapılmalıdır (bkz. Şekil 5.6). Bu durum, kaynak bölgesindeki "t" kalınlığı 50 mm 'yi aşmayan parçalara uygulanmalıdır.

Parça kalınlığı 50 mm 'yi aşarsa, gerekli sıcaklık kaynak ağzından herhangi bir doğrultuda en az 75 mm 'lik mesafedeki esas metal yüzeyinde mevcut olmalıdır. Uygulanabildiği takdirde, sıcaklık malzemenin ısıtılan yüzeyinde değil, arka yüzeyinde ölçülmelidir. Aksi halde sıcaklık, parça kalınlığına uygun bir süre beklenerek kalınlık doğrultusunda sıcaklık eşitlendikten sonra ölçülmelidir. Sıcaklık eşitlenmesi için gerekli süre, her 25 mm 'lik esas metal kalınlığı için **2 dakika** dır.

Pasolararası sıcaklık, kaynak metali üzerinde veya kaynak metalinin hemen bitişiğindeki esas metal üzerinde ölçülmelidir.



Şekil 5.6. Ölçüm noktaları arasındaki uzaklıklar

5.1.12.1.2. Ölçüm Süresi

Pasolararası sıcaklık, kaynak bölgesinde arkın geçişinden hemen önce ölçülmelidir. Eğer ön tavlama sıcaklığı belirlenmişse, kaynağın kesintiye uğraması süresince de sürdürülmelidir.

5.1.12.1.3. Test Ekipmanı

Sıcaklık ölçümü için kullanılacak ekipman, Kaynak Prosedür Şartnamesi'nde (KPŞ) belirtilmelidir; Örneğin:

- a) Sıcaklığa hassas malzemeler (örneğin pastel boyalar veya boyalar) (TS)
- b) Temas termometresi (CT)
- c) Temassız ölçüm için optik veya elektriksel cihazlar (TE).

5.1.12.1.4. Gösterim

Gösterim için aşağıdaki yöntemler kullanılabilir:

T_p : Ön tavlama sıcaklığı; T_i : Pasolararası sıcaklık

Sıcaklık : EN ISO 13916 – T_p 155 – CT

Sıcaklık : EN ISO 13916 – T_i 130/160 – TE

5.1.13. Puntalama Kaynakları

Gerektiğinde kaynak sırasında parçaların istenen konumda durmasını sağlamak üzere, puntalama kaynakları uygulanabilir. Her bir punta kaynağının uzunluğu ve bu kaynakların sıklığı, ilgili Kaynak Prosedür Şartnamesi'nde (KPŞ) veya uygun başka bir yerde belirtilmelidir. Tam mekanize ve otomatik işlemlerle kaynak yapılmış birleşimlerde, punta kaynaklarının yığılma koşullarının KPŞ'de belirtilmiş olması gerekir. Punta kaynakları, distorsiyon riskini en aza indirmek ve montajın iyi bir şekilde yapılmasını sağlamak üzere dengeli bir sırada uygulanmalıdır.

Bir *punta kaynağının minimum uzunluğunun 50 mm* olması tavsiye edilir; ancak **12 mm**'den daha ince malzeme kalınlıklarında, kalın parçanın en az **4** (dört) katı uzunluğunda bir punta kaynağı yapılmalıdır. **50 mm**'den daha kalın veya *akma mukavemeti 500 N/mm²* (= 5,0 t/cm²)' den daha büyük olan malzemeler için, iki paso tekniğinin kullanımını da içerebilecek şekilde, punta kaynaklarının kalınlığı ve boyu uzatılmalıdır. Yüksek alaşımlı çelikleri kaynak yaparken, düşük mukavemetli ve / veya yüksek süneklikli sarf malzemelerinin kullanılması düşünülmelidir.

Bir kaynaklı birleşimde punta kaynağı yapılmışsa, punta kaynağının şekli bitmiş kaynak içinde kaldığında, bu kaynakla uyumlu olmalıdır ve sadece onaylanmış kaynakçılar tarafından gerçekleştirilmelidir. Punta kaynağı, kaynak metali içinde çatlak veya diğer izin verilmeyen süreksizlikleri içermemeli ve son kaynaktan önce tamamen temizlenmiş olmalıdır. Çatlamış veya soğuk yapışma ve krater çatlağı gibi diğer süreksizlikleri içeren punta kaynakları, kaynak işleminden önce uzaklaştırılmalıdır. Çekilecek son kaynak dikişi içinde kalması öngörülmemen tüm punta kaynaklarının uzaklaştırılması gerekir.

5.1.14. Geçici Tutturma Parçaları

Montaj veya imalat prosedürünün, geçici kaynak tutturma parçalarının kullanımını gerektirdiği yerlerde, bu parçalar esas yapıya zarar vermeden kolayca sökülebilmelidir. Geçici tutturma parçalarının yerleşimine özel önem verilmelidir. Kullanılan tutturma parçalarının malzemesi ve sarf malzemeleri, esas metalle uyumlu olmalıdır.

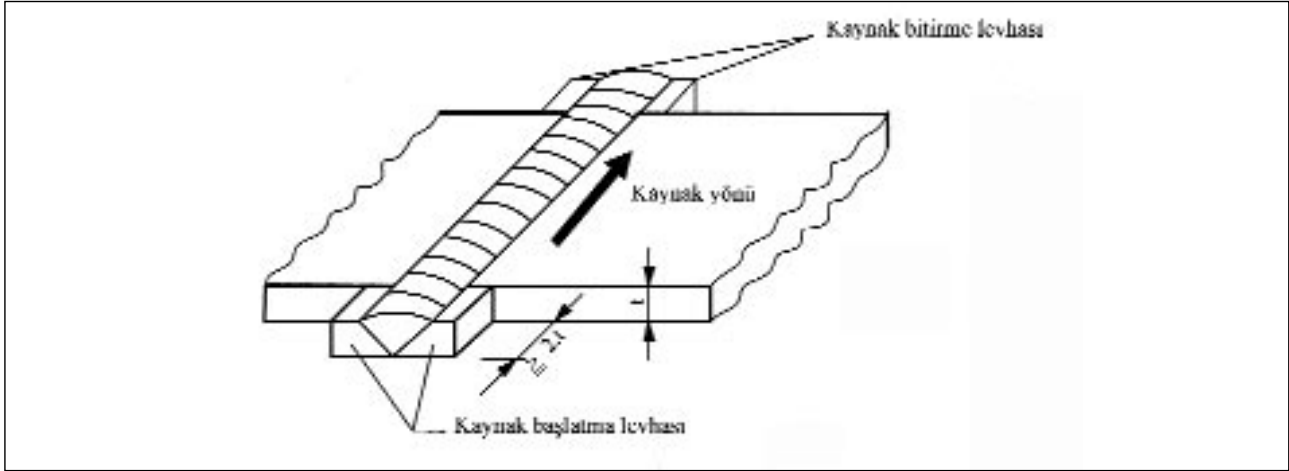
Yazılı Kaynak Prosedür Şartnameleri'nin gerektirdiği zaman, geçici tutturma parçalarının tüm kaynakları şartnamelerle uyumlu yapılmalıdır. Bu kaynakların, sadece sözleşmede izin verilmişse yapılabileceğine ve gerilme artırma ve/veya büzülme kuvvetleri oluşturma gibi planlanmamış bozucu etkilerden kaçınmaya özel önem verilmelidir.

Esas metalin yüzeyi, geçici tutturma parçalarının sökülmesinden sonra pürüzsüz yüzey elde edecek şekilde dikkatle taşlanmalıdır. Eğer kaynaktan sonra, bir geçici tutturma parçasını veya kaynak başlatma ve bitirme parçalarını sökmek için ısıtım işlemi kullanılacaksa, dikkatlice taşlanarak ısıdan etkilenen malzemenin sonraki sökme işlemi için, bu parçalarda yeterli pay bırakılmalıdır.

Gerekirse, malzemenin planlanmamış süreksizlikleri içermediğini göstermek üzere, esas metalin yüzeyi muayene edilebilir.

5.1.15. Kaynak Başlatma ve Kaynak Bitirme Levhaları

Gerektiğinde, kaynak başlatma ve kaynak bitirme levhaları imalatla kullanılanla uyumlu bir metal cinsinden imal edilmeli ve birleşim için kullanılanlarla benzer kalınlığa ve kaynak ağzına sahip olmalıdır. Kaynak başlatma ve kaynak bitirme levhalarının uzunlukları, esas metalin kalınlığına ve kaynak prosedürüne bağlıdır. Kaynak başlatma ve kaynak bitirme levhaları, başlangıç ve bitiş süreksizlikleri kendi üzerlerinde kalacak uzunlukta olmalıdır (bkz. Şekil 5.7).



Şekil 5.7. Kaynak başlatma ve bitirme levhaları

5.1.16. Arkın Tutuşturulması

Arkın tüm başlangıç tutuşturmaları, kaynak ağzının erime yüzeylerinde veya kaynak başlatma parçaları (bkz. Şekil 5.7) üzerinde olmalıdır. Hatalı ark tutuşturmadan kaçınmayı sağlayacak önlemler alınmalıdır.

Parça ile kaynak dönüş kablosu arasında istenmeyen ark oluşumundan, kaynaklı birleşime yakın yerleştirilmiş, sıkı bir parça dönüş kısıracının kullanımı ile kaçınılabılır. Kablonun ve kablo bağlantılarının iyi bir şekilde izolasyonunun yapılmış olması şarttır. Arkın parça üzerinde kazara tutuşturulması halinde, metal yüzeyi hafifçe taşlanmalı ve eğer gerekliyse, gözle ve/veya bir çatlak tespit yöntemiyle muayene edilmelidir.

5.1.17. Pasolararası Temizleme ve İşlem

Bir kaynak yöntemi, kaynak metalini korumak için bir curuf ürettiğinde, KPŞ' de aksi belirtilmedikçe bu curuf, üzerine başka bir paso yığılmadan önce temizlenmelidir. Kaynak metalini ile esas metal arasındaki birleşmeye de özellikle dikkat edilmelidir. Çatlak, boşluk ve diğer izin verilmeyen süreksizlikler gibi gözle görülebilen bu tür hatalar, üzerine başka kaynak metalini yığılmadan (paso geçilmeden) önce uzaklaştırılmalıdır.

Koruyucu gaz kullanan kaynak yöntemleri için, ilave pasoların yığılmasından önce yapışmış oksitlerin temizlenmesi gerekebilir.

Pasolararası temizleme için uygun aletler kullanılmalıdır.

5.1.18. Isı Girdisi

Kaynak sırasında ısı girdisi, kaynakların özellikleri üzerine etki eden temel bir faktör olabilir. Kaynak sırasında sıcaklık - zaman çevrimlerini de etkiler.

Tablo 5.4. Kaynak yöntemlerinin k ısıt etkinlik faktörü

Yöntem No:	Yöntem	k-faktörü ^{*)}
121	Tel elektrodla tozaltı ark kaynağı	1,0
111	Örtülü elektrodla elektrik ark kaynağı	0,8
131	MIG kaynağı	0,8
135	MAG kaynağı	0,8
114	Gaz korumasız özlü telle ark kaynağı	0,8
136	Aktif gaz korumalı özlü telle ark kaynağı	0,8
137	Soy gaz korumalı özlü telle ark kaynağı	0,8
141	TIG kaynağı	0,6
15	Plazma ark kaynağı	0,6
*) “k” faktörünün burada gösterilenden farklı olduğu durumlarda, bu standardın ilgili kısmında bilgi verilmelidir.		

Uygulanabilen durumlarda Q ısı girdisi aşağıdaki gibi hesaplanabilir. Bu ifadede U (Volt) cinsinden ark gerilimi, I (Amper) cinsinden akım şiddeti, v ise (mm/s) cinsinden kaynak ilerleme hızı ve k ise ısıt etkinlik faktörüdür (bkz. Tablo 5.4).

$$Q = k \cdot \frac{U \cdot I}{v} \cdot 10^{-3} \quad (\text{kJ/mm}) \quad (5.1)$$

Isı girdisi, kaynak ilerleme hızından hesaplanır. Elle elektrik ark kaynağı salınım yaptırılırken, salınım genişliği elektrodun metal çubuğunun çapının üç katıyla sınırlanmalıdır.

Çok telli ark kaynaklarında ısı girdisi, herbir tele uygulanan akım ve gerilim parametrelerinden saptanan ısı girdilerinin toplamı olarak hesaplanır.

5.1.19. Kaynak Prosedürü

EN 288 ile uyumlu olması gereken Kaynak Prosedür Şartnamesi KPŞ aşağıdakileri kapsamalıdır (bkz. Bölüm 4) :

- Atölye veya şantiye (saha) kaynağı olup olmadığı
- Maksimum etkin kalınlık (bkz. Şekil 5.19)
- Isı girdisi
- Hidrojen ölçüğü
- Punta kaynakları

Yazılı Kaynak Prosedür Şartnamesi (KPŞ) gerekli olduğunda, bunların geçici tutturma parçaları ve düzgünsüzlükleri düzeltme dahil olmak üzere, tüm kaynak işlemlerini kapsamaları gerekir. Prosedürlerin içerikleri EN 288-2 ile uyumlu olmalıdır. Eğer uygulanabiliyorsa, kaynak prosedürünün onayı uygun diğer ulusal standartlarla uyumlu olmalıdır.

Kaynakçılar/kaynak operatörleri şartlarla uyumlu gerçekleştirilecek kaynak prosedürlerini uygulayabilecek bilgiyle donatılmış olmalıdır. Eğer uygulanabiliyorsa, EN 287, EN ISO 9606 ve EN 1418'in tanımladığı uygun sınav parçasına göre kaynakçılar/kaynak operatörleri kalifiye edilmiş olmalıdırlar.

5.1.20. İzlenebilirlik

Belirtildiği takdirde her bir kaynağın, kendisini oluşturan kaynakçı/kaynakçılar veya kaynak operatörü/ operatörleri tarafından ya bir tanımlama işareti, ya da benzer yöntemler kullanarak uygun bir tanımlama aracı ile izlenebilirliği sağlanmalıdır. Keskin işaretlemelerden kaçınılmalıdır; ancak kullanılmışsa, bunların yüksek gerilme değerlerine veya korozyona hassas alanlardan uzakta olması gerekir.

Sözleşmeye göre sert ıstampa işaretlerinin kullanımı gerekli olduğunda, bunların konumlarına dair bir kılavuz ve boyutları verilmelidir. Radyografik muayenedeki işaretlemelere de aynı özen gerekir.

5.1.21. Kumlama

Kaynakların kumlanması, sadece sözleşme veya tasarım standardına uyumlu olarak yapılmalıdır.

5.1.22. Muayene ve Deney

Muayene ve deneyin yöntemi ve uzatılması, sözleşme veya tasarım standardıyla uyumlu olarak yapılmalıdır.

Gecikmiş (soğuk) çatlama riskinden dolayı, kaynaklı halde kullanılacak imalatların son muayenesi yapılmadan önce, en az **16 saat**' lik bir süre gerekir. Minimum süre, *akma sınırı 500 N/mm²* (= 5,0 t/cm²)' den düşük olan ince malzemeler için azaltılabileceği gibi, *akma sınırı 500 N/mm²* (= 5,0 t/cm²)' den daha yüksek veya **50 mm**'den daha kalın olan malzemeler için arttırılabilir.

Hangi periyodun kullanıldığı, muayene raporlarına kaydedilmelidir.

Hidrojen içeriğini düşürmek veya gerilmeleri azaltmak için ısıtılma işlemi uygulanan kaynaklarda, son muayene yapılmadan önce ısıtılma işlemi izleyen ilave bir zaman aralığına gerek yoktur.

Tungsten Inert Gaz (TIG) kaynağı ve diğer yeniden eritme yöntemleri, eğer kaynaktan sonra bir ısıtılma işlemi gerekiyorsa, son muayeneden önce yapılabilir.

Muayene edilmesi ve onaylanması gereken kaynaklar, kabul edilmeden önce boyanmamalı veya benzer işlemler uygulanmamalıdır.

5.1.23. Kalite Koşulları

Kaynaklı birleşimler, yapının kullanım performansını kötü etkileyebileceğinden, izin verilmeyen süreksizlikleri içermemelidir. Kabul seviyeleri, tasarım standardıyla uyumlu olmalıdır.

5.1.24. Düzgünsüzlüklerin Giderilmesi

Kaynakların, kabul seviyesiyle uyumlu olmaması durumunda, orijinal kaynak prosedürü veya üzerinde uzlaşmış bir prosedüre uygun şekilde, sözleşme ile onaylanmış bir onarım yöntemi ve ardından yeniden muayene işlemi uygulanmalıdır.

Eğer yanma olukları veya diğer hatalar, taşlanarak veya diğer mekanik yöntemlerle oyulmuşsa, esas metalin tasarım kalınlığının azaltılmamış olduğuna özellikle dikkat edilmelidir.

Bazı durumlarda bu standardın ilgili bir kısmıyla uyumlu olacak şekilde, köşe kaynak dikişlerindeki kabul edilemeyecek derecedeki yanma olukları veya aşırı kök açıklıklarına, ilave kaynak metali yığılması kabul edilebilir.

NOT: Düzgünsüzlük içeren bir kaynağın düzeltilmesinin gerekip gerekmediğinin tesbitinde, kırılma mekanizması veya benzer teknikler kullanılabilir.

5.1.25. Distorsiyon ve Büzülmenin Kontrolü

Uygun yöntemlerle ölçülen ısıtılmış alanların sıcaklığı, malzeme tedarikçisinin veya tasarım standardının tavsiyeleriyle uyumlu olmalıdır.

5.1.25.1 Prosedür (Kaynak Planı) ve Kaynak Sırası Planı

Kaynak planı ve kaynak sırası planı, bir yapının veya yapı grubunun parçalarını birbirine veya takviyeleri elemanlara birleştirmede distorsiyon ve büzülmeleri en düşük seviyede tutacak şekilde olmalıdır.

5.1.25.1.1. Kaynak Planı

Kaynak planı, hem küçük parçalar için, hem de büyük parçalar için hazırlanabilir. İçeriği, imalat içeriğinin kurallaştırılacağı meslek alanına bağlıdır. Kaynak planı KPŞ, kaynak sırası planı, muayene planı vb. belgelerle desteklenebilir. Kural olarak kaynak planı, sadece teknik olarak problemsiz bir imalat yapılmasını sağlamakla kalmaz, aynı zamanda imalatın ekonomik olmasını da sağlar. Her iki amaç da imalata başlamadan önce bir dokümantasyon oluşturulmasına hizmet eder.

Bir kaynak planının oluşturulması için basit bir kılavuz bulunmamaktadır. Esas olarak her bir meslek alanının gerekliliklerinden etkilenir. Ancak günümüzde kaynak planı A4 boyutunda (yatay olarak da kullanılabilir) hazırlanmaktadır. Bir kaynak planının ayrıntılarının tamamlanması, genel olarak imalat atölyesinin mevcut kaynak denetim personeli tarafından yapılır.

Aşağıda Bölüm 5.1.25.1.1.1'den Bölüm 5.1.25.1.1.15'e kadar olan kısımların başlıkları altında genel kuralları verilmiştir:

5.1.25.1.1.1. Kullanılacak Malzemelerin Kaynağa Uygunluğu (Kaynaklanabilirlik)

Bu bölümde, mesleki standartlar kullanılmalıdır. İmalatta malzeme sertifikaları temin edilebilen malzemeler kullanılmalıdır. Konstrüksiyon aşamasında, kullanılan malzemelerin kalite grupları dikkate alınmalıdır. Tablo 5.5'de çelik seçiminde dikkate alınması gereken faktörler verilmiştir.

Tablo 5.5. Çelik cinsinin seçimini etkileyen faktörler

Zorlama türü		Isıl zorlama		Yüzeyin zorlanması	
Statik	Dinamik	Yüksek	Düşük	Kimyasal	Mekanik
Kullanılacak Çelik Cinsi					
Alaşımsız yapı çelikleri İnce taneli yapı çelikleri İslah çelikleri		ısıya dayanıklı çelikler	soğukta tok çelikler	yüksek alaşımlı paslanmaz çelikler	feritik kromlu çelikler

5.1.25.1.1.2. Montaj Sırası ve Kaynak Dikişlerinin Düzeni

İmalatın akışının tesbitinde montaj sırası ve dolayısıyla, yapı gruplarının alt elemanları önemli rol oynar. Atölye dikişlerinin ve gerektiğinde montaj dikişlerinin de gruplandırılması, imalatın ilk aşamalarında düşünülmelidir. Daha sonra ise yapı gruplarının büyüklüğü, nakil olanaklarına göre planlanmalıdır.

Eğer karayolu ile taşınacaksa, yol ve taşıt gabarileri ve genel trafik kuralları gözönüne alınmalıdır.

5.1.25.1.1.3. Kaynak Dikiş Kalitesi – Değerlendirme Grupları

Gerekli kaynak dikiş kalitesinin tespitinde hassasiyet gösterilmelidir. Burada gerekli standartlara ve hesap kurallarına dikkat edilmelidir. Özellikle kaynak dikişlerine gelen zorlamalar ve mevcut çentik etkileri gözönüne alınmalıdır.

Ayrıca kullanılacak tahribatsız (hasarsız) muayene yöntemleri (NDT) ve bunların uygulanabilirliği önemlidir. Ayrıca muhtemel iyileştirme çalışmaları da tesbit edilmelidir.

5.1.25.1.1.4. Kaynak Pozisyonları

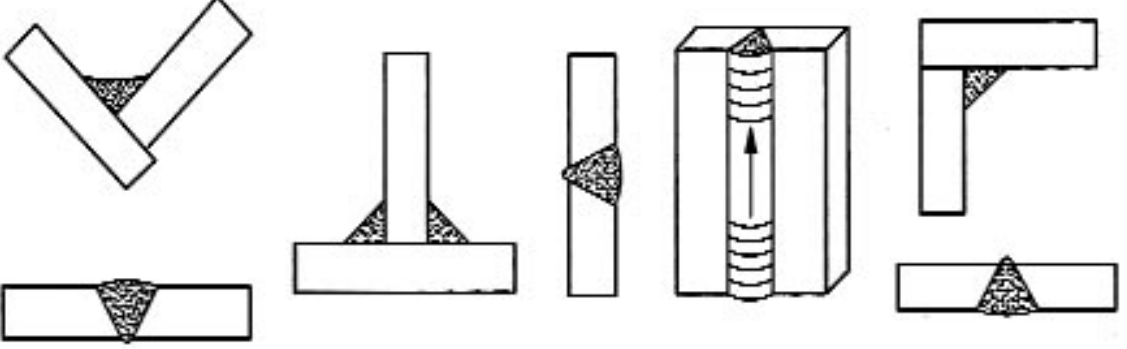
Kaynak dikişlerinin uygun şekilde yapılması ve eritme gücü ile kalitenin sağlanması, en iyi şekilde yatay pozisyonda (PA) yapılır.

Tablo 5.6’da bazı dikiş enkesitlerinin yapılış süreleri, karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir.

Bu karşılaştırma, belirtilen kaynak pozisyonlarında elle yapılan kaynak işlemleri içindir.

Yüksek eritme güçlü bazı mekanize kaynak yöntemlerinde sadece belirli kaynak pozisyonlarında kaynak yapılabilir.

Tablo 5.6. Kaynak pozisyonuna göre bazı dikiş enkesitlerinin yapılış sürelerinin karşılaştırılması

					
ISO 9647'ye göre kaynak pozisyonu *)	w PA	h PB	q PC	s PF	hü/ü PD/PE
Yapılış süresi %' si	100	130	180	220	200...250
*) bkz. Madde 4.9.6 ve Tablo 4.19					

5.1.25.1.1.5. Kaynak Yöntemleri

Uygulama amacına uygun bir veya daha fazla sayıda kaynak yöntemi belirlenmelidir. Kaynak yönteminin ekonomikliği sadece eritme gücüne değil, imalatın çevre koşullarına da bağlıdır. Kabul prosedürü uygulanacak yapı elemanlarında tam mekanize kaynak yöntemlerinin kullanımında, daima bir kaynak prosedür testinin yapılması gerekir. Ancak bazı malzemelerin kullanımında da bir prosedür testi yapılmalıdır.

5.1.25.1.1.6. Tesbit, Döndürme ve Çevirme Tertibatları

Oluk pozisyonunda kaynağın avantajlarının kullanılabilmesi için, özellikle tam mekanize kaynakta döndürme ve çevirme işini hızlı ve güvenilir şekilde yapabilen tertibatların kullanılması zorunludur. Tesbit tertibatları kural olarak, sadece kaynaklı parçanın boyutlarının kesin olması gereken dar ve sınırlı kapsamlı imalat işlemlerinde kullanılır. Bu tür tertibatlarla distorsiyon da azaltılabilmektedir.

5.1.25.1.1.7. Kaynak Ağız Hazırlığı

Amaca uygun kaynak ağızlarının hazırlanmasında belirli faktörlerin gözönünde bulundurulması gerekir. Özellikle tesis ve boru hatları yapımında, ağız ölçüleri belirli toleranslara sahiptir. Bu konuda standartlara (TS 3473 EN 29692) başvurulmalıdır. (bkz. Tablo 5.2)

5.1.25.1.1.8. Kaynak İlave ve Sarf Malzemeleri

Eritme kaynak yöntemlerinde kaynak ilave malzemelerinin seçiminden, kaynak denetim personeli (kaynak mühendisi, kaynak teknikeri, kaynak uzmanı) sorumludur. Kaynak ilave malzemelerinin belirli bir uygulama için kullanılabilir olmasına dikkat edilmelidir. Örneğin belirli bir onarım işlemi için seçilen elektrodun, istenen sertliği sağlaması gerekir.

5.1.25.1.1.9. Isıl İşlem

Kullanılan malzemeye veya hem malzemeye, hem de kaynaklı yapı elemanına kaynaktan önce, kaynak sırasında veya kaynaktan sonra bir ısıtma işleminin uygulanması gerekiyorsa, bunların tam olarak tesbit edilmesi gerekir. Belirli durumlarda ön tavlama, sonradan yapılacak bir gerilme giderme ile etkin olabilir. Bu durum, özellikle kalın parçalarda lameler yırtılma tehlikesi açısından geçerlidir.

5.1.25.1.1.10. Soğuk Şekillendirilmiş Bölgede Kaynak

Soğuk şekillendirilmiş bölgede kaynak yapılması gerekiyorsa, EK1’de belirtilen kurallara uyulmalıdır. Bu işlemin, sadece statik zorlamaya maruz parçalar için yapılabildiği de gözönünde bulundurulmalıdır.

5.1.25.1.1.11. Kaynakçının Çalışması

Kabul prosedürü uygulanacak kaynak işlemlerinde, sertifikalı kaynakçı çalışması zorunludur. Bu sertifikalar yarı mamul üzerinde yapılan sınavlarla belirlenir.

Levha (P)	=	Levha kaynakçısı	veya
Boru (T)	=	Boru kaynakçısı.	

Farklı sınav gruplarına ayrılma kullanılan malzemeye, sınav parçasının kalınlığına ve borularda ise, boru çapına bağlıdır. Ayrıca aşağıdaki dikiş türleri de belirleyicidir.

BW		küt kaynak dikişi için
FW		köşe kaynak dikişi için.

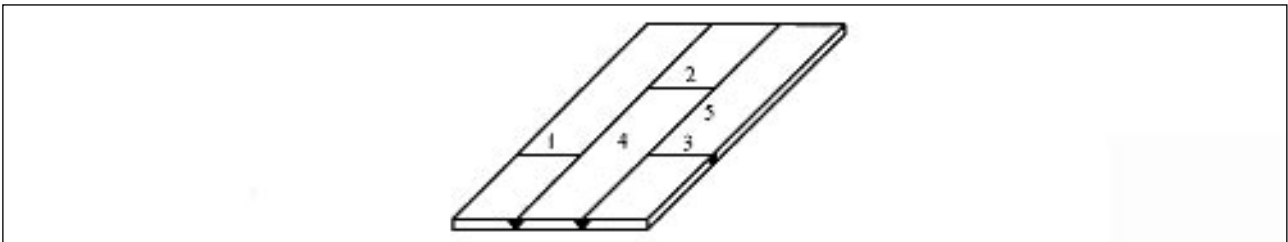
5.1.25.1.1.12. Distorsiyonların Oluşumuna Karşı Önlemler

Madde 5.1.25.1.1.6’da açıklandığı gibi, tertibatlar distorsiyonun kontrol altına alınması için de etkindir. Diğer önlemler puntalama, ön şekillendirme veya tavlama değildir. Ayrıca önlemler, kaynak denetim personelinin bilgisinden de etkilenir. Proje mühendisi eğer kaynak dikişlerini simetrik düzenlemişse ve hesap ile bulunan enkesitleri belirlemişse, bu durumda distorsiyonlar azalır.

5.1.25.1.1.13. Kaynak Sırası

Amaca uygun bir kaynak sırasının görevi hem kaynak yapılacak dikişlerin, hem de herbir parçanın gösterilmesidir. Genel bir kural olarak:

Çok sayıda kaynaklı parçalardan oluşan bir yapı grubunun kaynağından önce, herbir parçanın tek tek kaynakları yapılır. Burada önce enine, sonra boyuna kaynakların yapılmasına dikkat edilir (bkz.Şekil 5.8). Genel kural olarak, önce küt kaynaklar sonra köşe kaynakları yapılmalıdır.

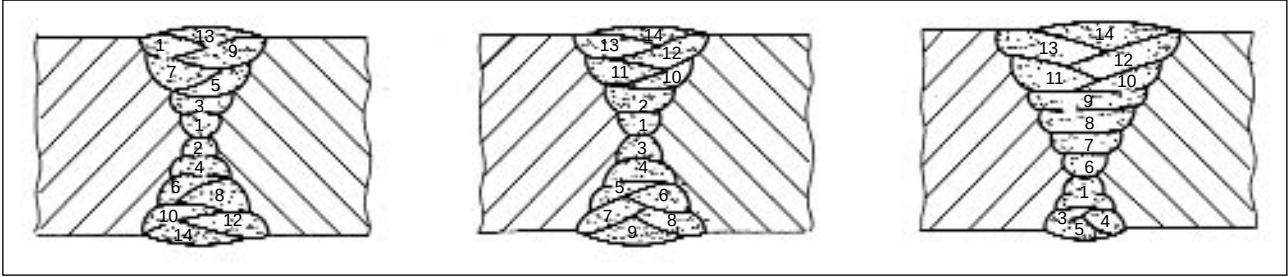


Şekil 5.8. Kaynak dikişlerinin yapılış sırası örneği

Lokal burkulmaya eğilimli ince levhadan oluşan konstrüksiyonlarda, takviyelerin veya rijitliği arttırıcı etki yapacak parçaların kaynağından önce, yardımcı parçalara puntalanması gerekir.

Şekil 5.9’de küt kaynak dikişi enkesitinde açışal büzülmenin artmasını önlemeye yönelik çift V - dikişlerin tek tek konumlarının kaynak sırası için farklı öneriler gösterilmiştir.

Şekil 5.10’da tank gövdelerinin imalatında kullanılan kaynak sırası örnek olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.9. Çift V - ağızların dikiş yapısı

5.1.25.1.1.14. Elle Kaynak

Elle kaynakta kural olarak dikiş düzeni ve paso sayısının belirlenmesi gerekir. Tablo 5.7’de köşe kaynak dikişlerinde paso sayıları verilmiştir.

Şekil 5.11 ve 5.12’de küt ve köşe kaynaklarda dikiş yapısının kaynak pozisyonuyla değişimi verilmiştir.

Tablo 5.7. Köşe kaynak dikişlerinde paso sayıları

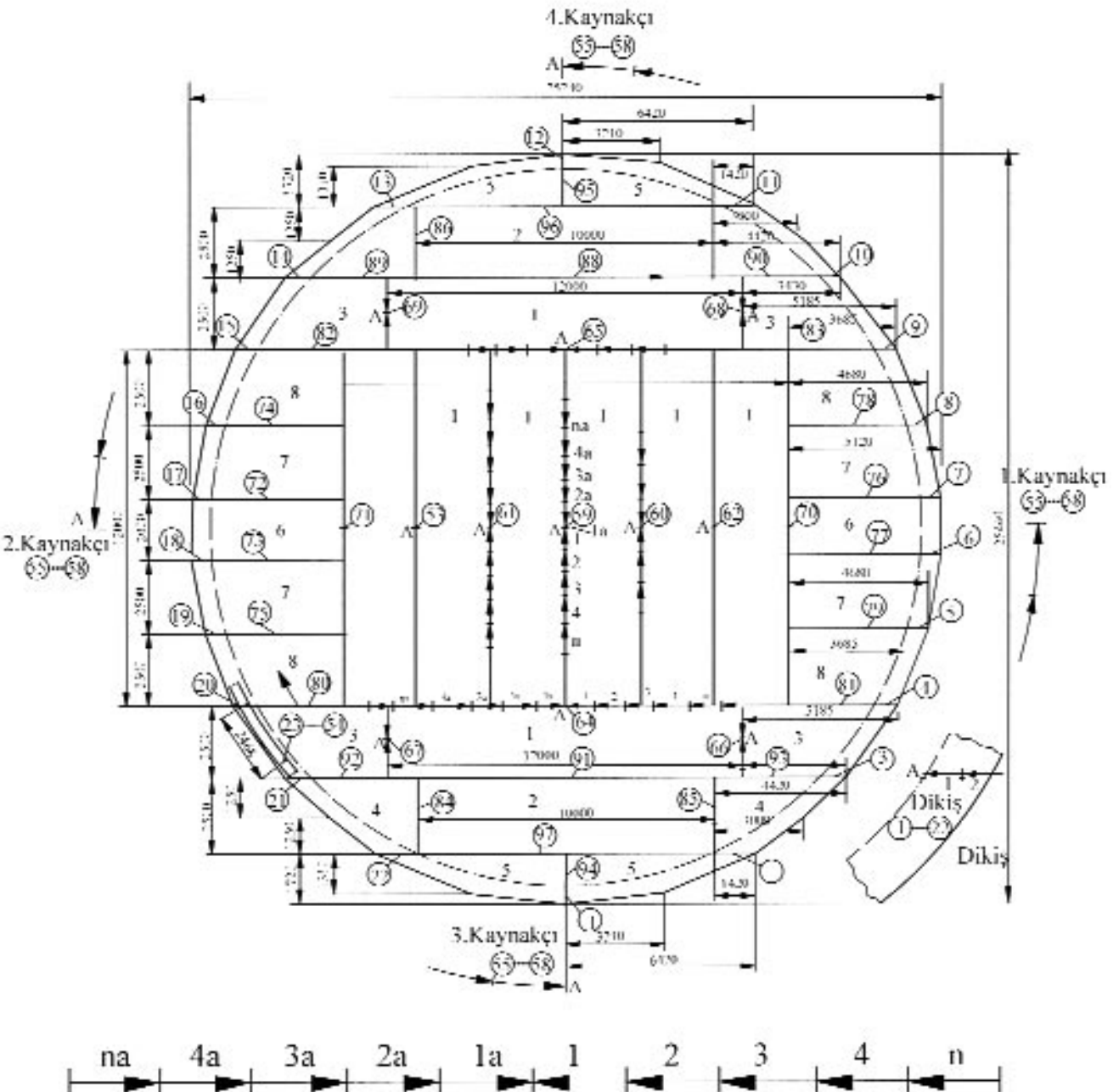
Köşe kaynak dikiş kalınlığı a [mm]	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12
Paso sayısı (kılavuz değeri)	1				2		3	4		5
	1			2	3		4			

5.1.25.1.1.15. Kaynak Dikiş Muayene Planı

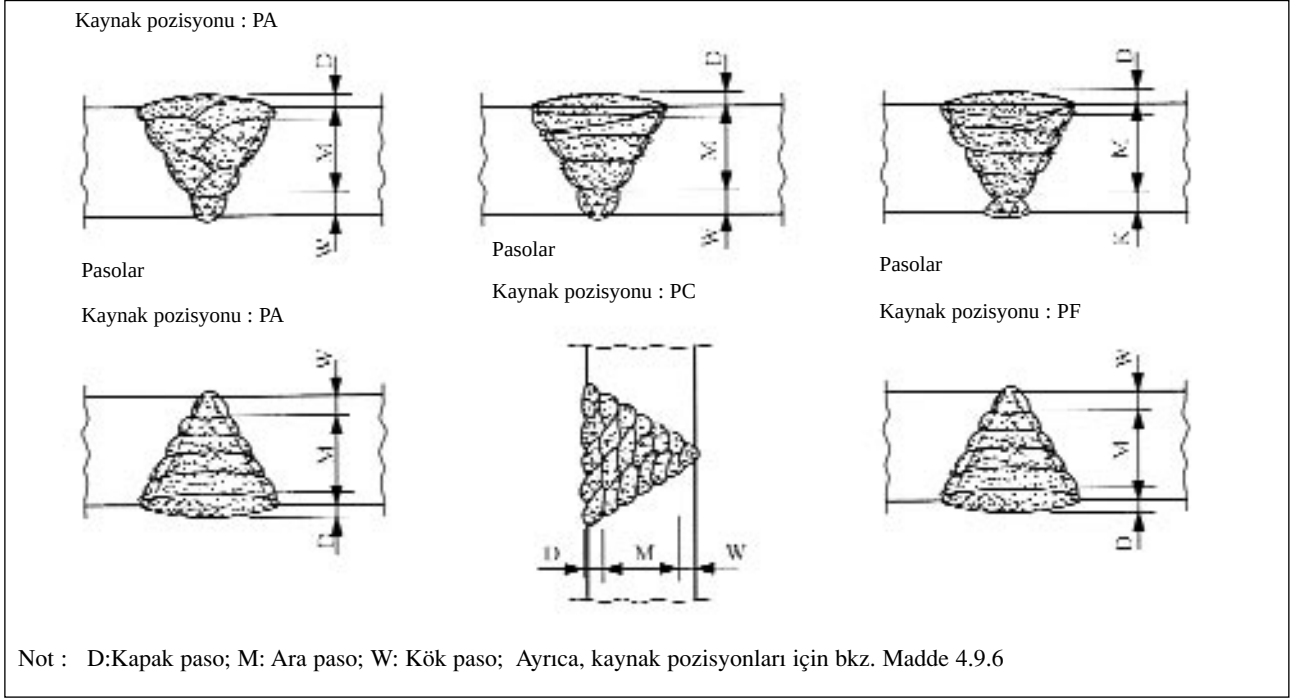
Geniş kapsamlı konstrüksiyon veya tesislerin ayrı bir muayene planının olması gerekir. Ancak genel olarak kaynaklı konstrüksiyonlar için kaynak dikiş muayene planı, kaynak planı içinde yer alabilir. Esas olarak bu muayenelerin, imalatın akışı içindeki yerleri tespit edilmelidir ve buna göre gerekli ulaşılabilirlikler sağlanmalı veya buna yönelik değişiklikler yapılmalıdır.

5.1.25.1.2. Kaynak Sırası Planı

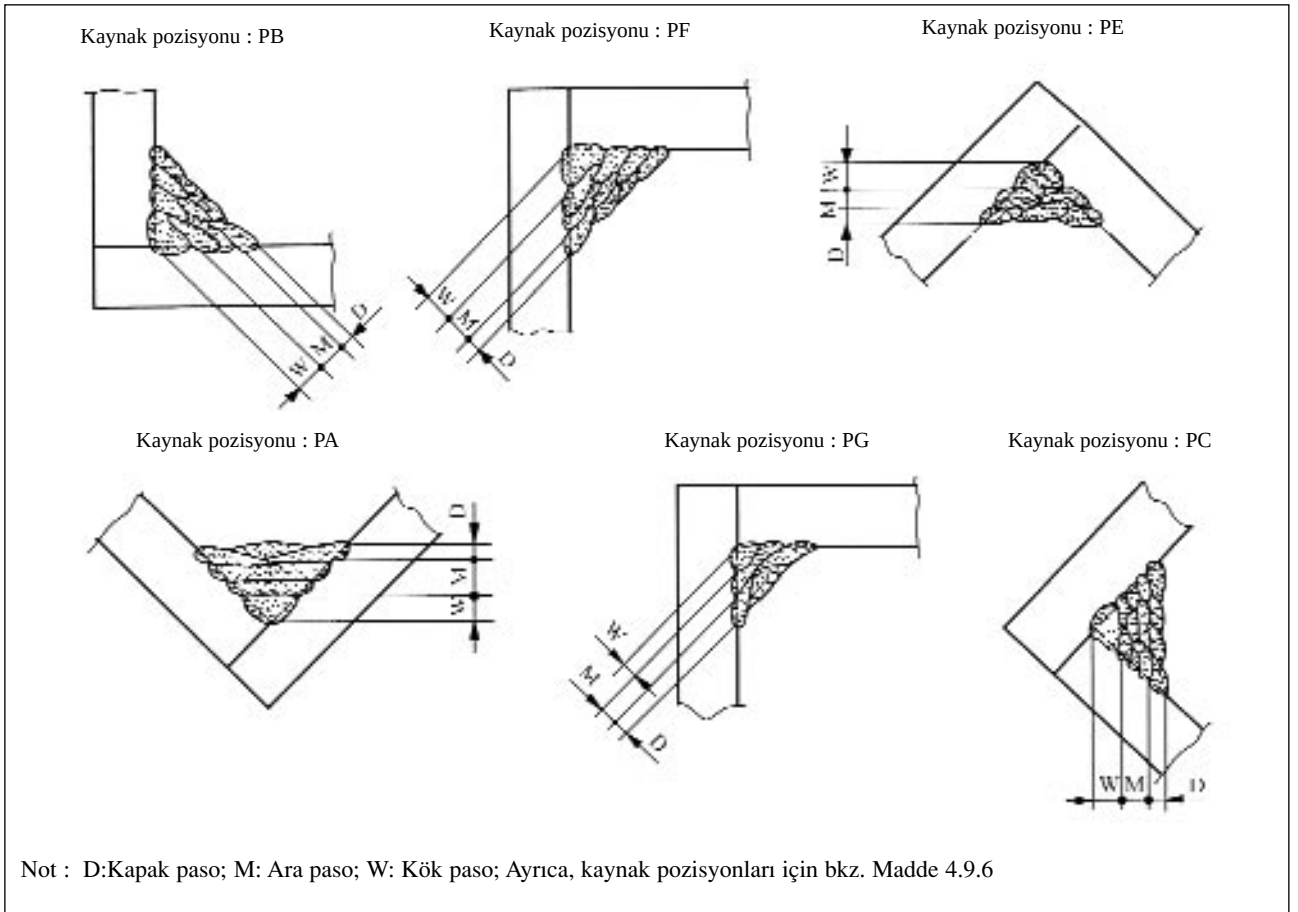
Uygulanabildiği ölçüde tüm kaynak dikişlerinin, kaynağın ilerleyişi sırasında uygulanan kaynak ısını dengeleyecek bir sırada yapılması gerekir.



Şekil 5.10. Bir tank gövdesinde kaynak sırası ve şaşırtmalı adım düzeni (A= kaynak başlangıcı)



Şekil 5.11. Kaynak pozisyonuna göre küt kaynak dikişlerinin yapılışı



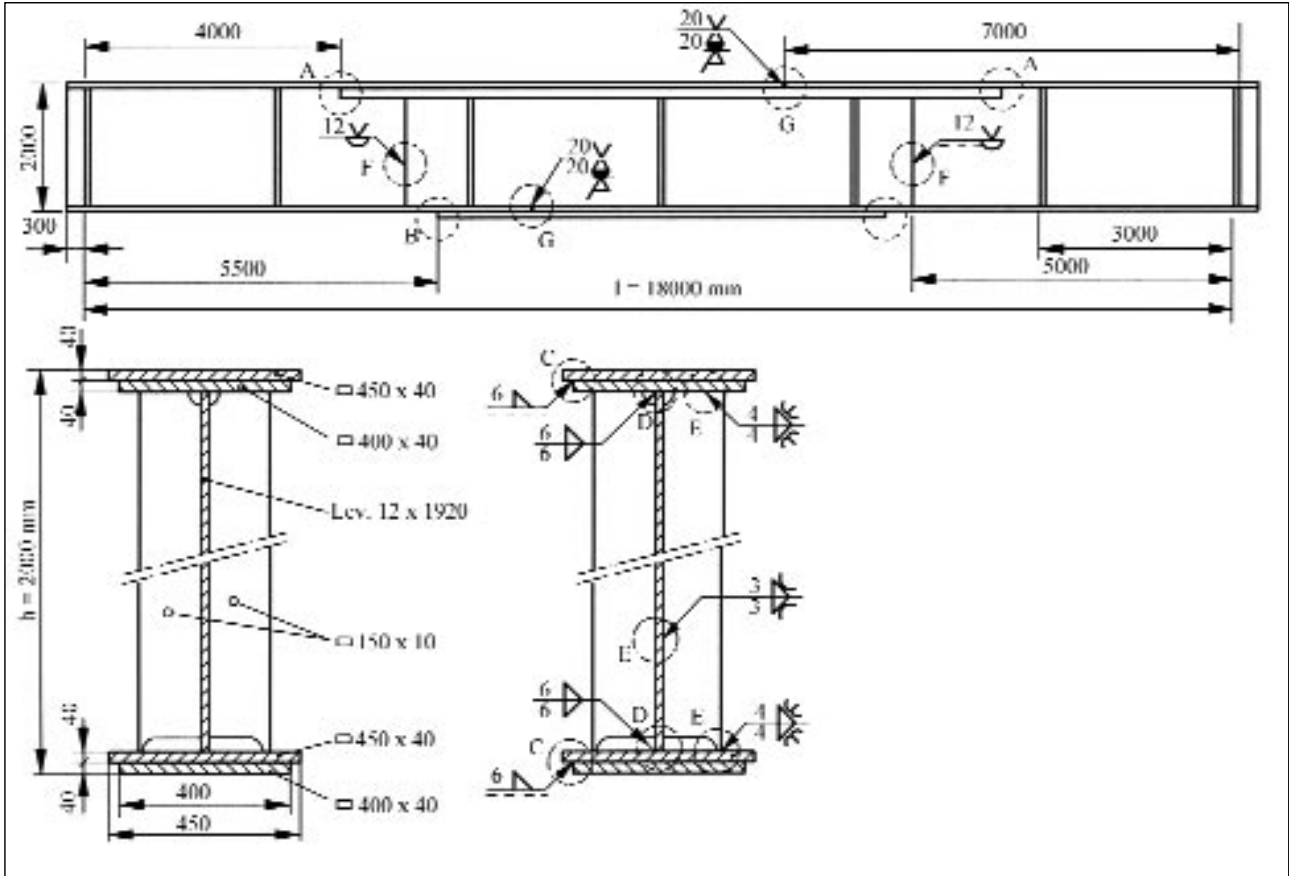
Şekil 5.12. Kaynak pozisyonuna göre köşe kaynak dikişlerinin yapılışı

5.1.25.1.3. Kaynak Planı Örneği-1

Tablo 5.8. Kaynak Planı

Örnek 1	
1. İşveren:	-
Yapı çalışması:	Köprülülü kren için kren yolu; Zorlanma grubu B4
Yapı elemanı:	Kren yolu kirişi
Ana ölçüler:	$l = 18,0 \text{ m}$; $h = 2,0 \text{ m}$
Ağırlık:	120 kN
Resim No:	-
Özel standartlar:	DIN 50 049'a göre malzeme uygunluk test sertifikası EN 10025'e göre kiriş lamelleri için kaynaklı eğme numuneleri IMO-01/2005'e göre hesaplama ve tasarım işlemi DIN 15018 ve DIN 4132 de dahil olmak üzere DIN 18800 - Kısım 7'ye göre büyük kaynağa uygunluk testi EN 10025'e göre S235JRG2 ve S235J2G3
2. Malzeme:	Elle elektrik ark kaynağı E (111)
Kaynak yöntemi:	Gazaltı ark kaynağı MAGM (135)
İlave malzeme:	TS 563 - EN 499'a göre çubuk elektrodlar: E 35 0 RR12 ($\phi 3,25$ ve $\phi 4 \text{ mm}$) E 35 0 RC11 ($\phi 4 \text{ mm}$)
Sarf malzemesi:	Tel elektrod: EN 440, G3Si1 ($\phi 1,2 \text{ mm}$) İzin verilen tüm ilave malzemeler
3. Ağız hazırlığı	TS 3473 - EN 29692'ye göre ve kaynak sırası planı (Şekil 5.13)
Tertibat:	Kaynak ve çevirme tertibatları, döndürülebilir
Kaynakçı sınavları:	EN 287-1 111 P BW 1.1 RR t12,5 PF ss nb EN 287-1 111 P BW 1.1 RC t12 PG ss nb EN 287-1 135 P BW 1.1 wm t12,5 PF ss nb
Atmosferik koruma:	Yağmura karşı koruma
Ön tavlama:	0°C'nin altındaki malzeme sıcaklıklarında yaklaşık 80°C'nin üzerinde + 5°C'nin altındaki malzeme sıcaklıklarında yaklaşık 50°C'nin üzerinde Termokrom kalemle kontrol.
Pasolararası sıcaklık:	Kontrol gerekmez
4. Kaynak sırası:	Kaynak sırası planına bakınız
5. Son tavlama	Yok
6. Kalite güvencesi:	 tarafından kontrol edilecektir.
Dikiş değerlendirme grubu:	Küt ve köşe kaynak dikişleri: TS 7830 - EN 25817-B
Dikiş muayenesi:	Küt kaynak dikişleri: % 100 radyografik muayene - kiriş başlıklarında % 50 radyografik muayene - kiriş gövdesinde Köşe kaynak dikişleri: gözle muayene dikiş boyunun yaklaşık % 5'inde yüzey çatlak muayenesi
Mekanik işleme:	DIN 15018 Kısım 1'e göre Küt kaynak dikişleri: Yapma kiriş başlık levhaları - tek taraftan işlenecek Gövde levhaları - normal kalite Ön ve yan dikişler - normal kalite Takviyeler - özel kalite
Köşe kaynak dikişleri:	
Ölçü kontrolü:	Bu iş için uygun toleranslar: Boylar, yükseklikler $\pm \% 0,5$ Doğrusallık (boyuna eksenler) $\pm \% 0,25$ Düzgünlük (levha yüzeyleri ve takviyeler) $f \leq h_{\text{Dikme}} / 500 = 1920 / 500 \leq 4 \text{ mm}$

Aşağıda örnek olarak bir kren yolu kirişinin kaynak planı verilmiştir.



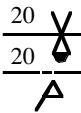
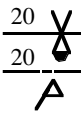
Şekil 5.13. Kren yolu kirişi (Kaynak sırası planı)

Yapım ve işleme ipuçları:

- A ve B Detayı - Takviye levhaları
Çentik durumu K2 (No.244)
- C ve D Detayı - Başlık yan ve boyun köşe kaynak dikişleri
Çentik durumu K1 (No.123)
- E Detayı - Kirişte basınç başlığı / çekme başlığı ve gövde takviye levhasını birleştiren köşe kaynak dikişleri
Çentik durumu K2 (No.231 ve 233)
- F Detayı - Gövde levhasının küt kaynaklı eki
Çentik durumu K1 (No.111)
- G Detayı - Başlık levhasının küt kaynaklı eki
Çentik durumu K1 (No.111)

Çentik durumları ve sıra numaraları bu standarda göre verilmiştir.

Tablo 5.9 Kaynak Planı

Kaynak sırası (Yapı elemanı eskizi)					Diğer talimatlar
1 ve 2 Kiriş gövde levhasının küt kaynaklı eki (bkz. F- detayı). Lev. 12 x 1920		PA	E MAGM	P 50	2 mm aralıkla ve ortadan dışa doğru, 3,25 mm'lik elektrodla puntalayın. 12 mm çaplı tel elektrodla ortadan dışa doğru kaynak yapın. Kaynak ön levhası kullanın! Gövde levhasını döndürün. Kökü oyun ve kaynak yapın. Kaynak ön levhasını kesin ve gerekirse doğrultun. Röntgen filmini çekin; son olarak kiriş levhasını teknik resme göre işleyin.
3 Kiriş başlık takviye levhasının küt kaynaklı eki (bkz. G - detayı) Lev. 40 x 450		PA	E MAGM	P 100	2 mm aralıkla ve 4 mm çaplı elektrodla puntalayın. Kapak paso çekmeden, 1,2 mm çaplı tel elektrodla kaynak yapın. Kaynak uzatma levhasını kullanın. Döndürün, kökü oyun ve kaynak yapın. Tekrar döndürün ve kapak pasosunu çekin. Kaynak ön levhasını kesin ve gerekirse doğrultun. Röntgen filmini çekin ve tek taraftan mekanik olarak işleyin.
4 Kiriş başlık levhasının küt kaynaklı eki (bkz. G - detayı) Lev. 40 x 450		PA	E MAGM	P 100	3 no.lu kaynak sırasındaki gibi.
5 Kiriş başlık ve takviye levhaları Lev. 40 x 450 + Lev. 40 x 400 (takviye)		PB	E MAGM	P 5	1. ve 2. üst başlık levhaları 4 mm çaplı elektrodla ortadan dışa doğru puntalayın. Paso sırasına göre her iki taraftan ortadan dışa doğru 12 mm çaplı tel elektrodla kaynak yapın. Toplam üç paso. Ön köşe kaynak dikişleri ve geçişler $a_w = 20$ mm. Çentiksiz işleyin. Gerekirse doğrultun.
6 Kiriş başlık ve takviye levhaları Lev. 40 x 450 + Lev. 40 x 400 (takviye)		PB	E MAGM	P 5	5 no.lu kaynak sırasındaki gibi.
7 Gövde levhası ile başlıkların montajı		PB	E MAGM	P 5	Gövde levhası, başlık ve takviye levhalarını tertibat içine monte edin ve 4 mm çaplı elektrod kullanarak, 1 mm aralıkla puntalayın. Gövde levhasında alt boyun köşe kaynak dikişlerinin ilk pasosunu, aynı anda her iki taraftan, ortadan dışa doğru kaynaklayın. Kirişi döndürün ve diğer boyun köşe dikişlerinin son kaynaklarını toplam üç paso halinde yapın. Tekrar döndürün ve ilk önce yapılan boyun kaynak dikişinin son kaynağını yapın.

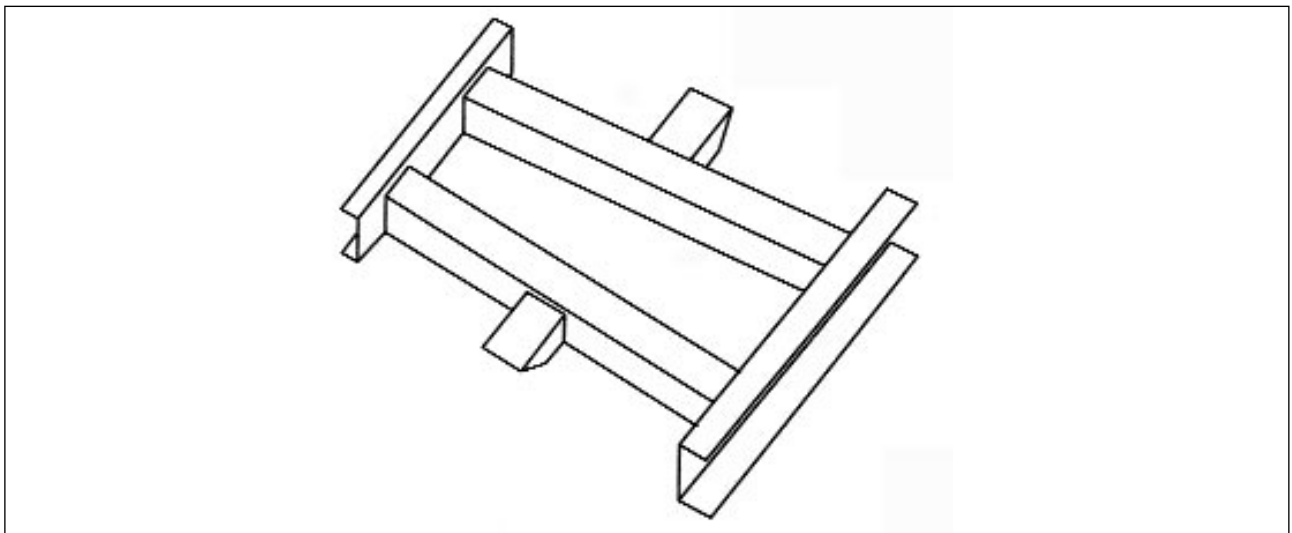
Tablo 5.9 Kaynak Planı (devamı)

Kaynak sırası (Yapı elemanı eskizi)					Diğer talimatlar
8 Kiriş gövdesindeki enine takviyelerin yapımı Lev. 150 x 10	3 4	PG PB	E	P 5	Takviyeleri alıştırın ve 3,25 mm çaplı elektrodla puntalayın. Kiriş gövdesinde yer alan takviyeleri, 4 mm çaplı yukarıdan aşağıya pozisyonda kullanılabilen elektrodla içbükey dikiş olarak kaynak yapın. Takviyeleri alt başlık levhasına birleştiren son köşe aynak dikişlerini 4 mm çaplı elektrodla , çift pasolu olarak kaynak yapın. Kirişi döndürün ve takviyeleri üst başlık levhasına birleştiren son köşe kaynak dikişlerini çekin. Başlıklardaki kapak dikişlerini çentiksiz işleyin.
9 Teslimat					Malzemeyi kontrol ederek teslim edin. Gerekirse düzeltin. Ölçü kontrolü yapın. Kaynak dikişlerini kontrol edin. Yapım standartlarına göre kontrol edin. Protokole göre teslim edin.
Düşünceler: Her bir kaynak işlemi için kullanılan kaynak parametreleri, gerektiğinde test kaynakları yapılarak netleştirilmelidir. Röntgen filmlerinin sayısı ve yerleri, muayene planında belirtilmelidir. Tüm kaynakçıların çalışma bölümleri işaretlenerek tesbit edilmiş olmalıdır (konstrüksiyon üzerinde darbeli marka izleri olmamalıdır.)					

5.1.25.1.4. Kaynak Planı Örneği - 2

Aşağıda örnek olarak bir çerçevenin kaynak planı verilmiştir.

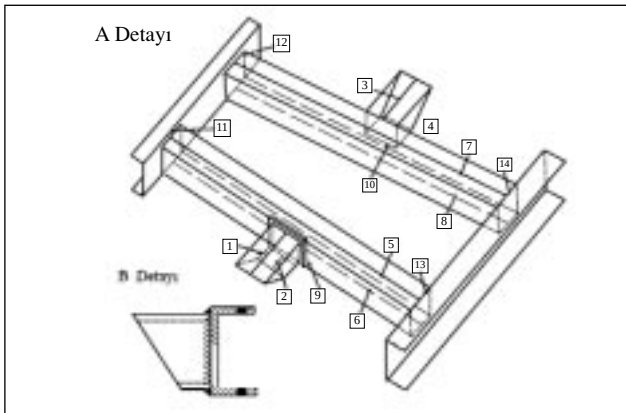
1. Yapı elemanının formu



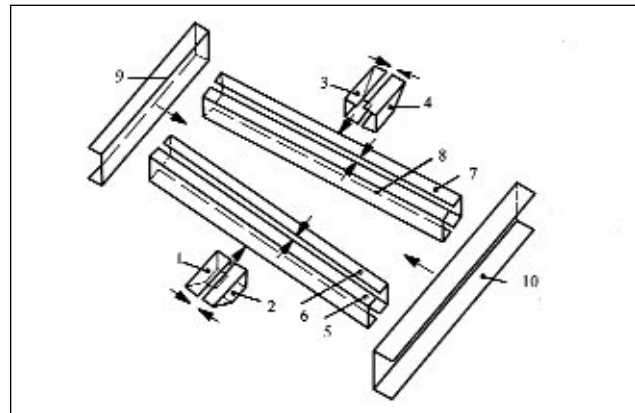
Şekil 5.14 Çerçeve

Tablo 5.10 Çerçeve için Kaynak Sırası Planı

İş No.	Çalışma sırası (bkz. Şekil 5.15 ve 5.16)	Dikiş formu (Dikiş kalınlığı ve kaynak pozisyonu)	Kaynak sayısı	Kaynak sırası	Açıklamalar
10	Çerçeve döndürülür ve 11 ila 14 no'lu kaynak dikişleri yarı mekanize MAG kaynağıyla bitirme kaynağı yapılır.			Şekil 5.15 A Detayı 2	Gergi ve döndürme düzeneği (Pozisyonier veya fikstür)
9	Çerçeveye 10 no'lu parça puntalanır ve 13-14 no'lu dikişler, yarı mekanize MAG kaynağı yapılır.			Şekil 5.15 A Detayı	
8	9 no'lu parça 7/8 no'lu parçalara puntalanır ve 12 no'lu dikiş yarı mekanize MAG kaynağı yapılır.				
7	9 no'lu parça 5/6 no'lu parçalara puntalanır ve 11 no'lu dikiş yarı mekanize MAG kaynağı yapılır.				
6	3 /4 no'lu parçalar 7/8 no'lu parçalara puntalanır ve 10 no'lu dikiş yarı mekanize MAG kaynağı yapılır.		1	Şekil 5.15 A ve B Detayı	
5	1 /2 no'lu parçalar 5/6 no'lu parçalara puntalanır ve 9 no'lu dikiş yarı mekanize MAG kaynağı yapılır.				
4	7 ve 8 no'lu parçalar tespit edilir; 7 no'lu dikiş yapılır; 7 /8 no'lu parça döndürülür; 8 no'lu dikiş yarı mekanize MAG kaynağı yapılır.		1	Şekil 5.15 A Detayı	Kaynak işlemi 30° yukarıdan aşağıya
3	5 ve 6 no'lu parçalar tespit edilir; 5 no'lu dikiş yapılır; 5 /6 no'lu parçalar döndürülür; 4 no'lu dikiş yarı mekanize MAG kaynağı yapılır.				
2	3 ve 4 no'lu parçalar puntalanır; 1 no'lu dikiş yapılır; 3 /4 no'lu parçalar döndürülür; 4 no'lu dikiş yarı mekanize MAG kaynağı yapılır.		1	Şekil 5.15 A Detayı	Gergi düzeneği
1	1 ve 2 no'lu parçalar puntalanır; 1no'lu dikiş yapılır; 1/2 no'lu parçalar döndürülür; 2 no'lu dikiş yarı mekanize MAG kaynağı yapılır.				



5.15 Çerçevede kaynak sırası



5.16 Çerçevenin montaj planı

2. Önemli bilgiler:

Levhanın işlenmesi

Zorlama:	Titreşimli	F_m	= 2200 N
		F_0	= 4400 N
Değerlendirme grubu	D grubu		EN 25817
Malzeme	S 235 J2G3 (St 37-2)		EN 10025
Ölçüler	Uzunluk	3000 mm	
	Genişlik	1200 mm	
	Yükseklik	120 mm	
Kütle:		150 kg	

3. Parçalar

1. ve 2. parçalar :	Konsollar (sol)
3. ve 4. parçalar :	Konsollar (sağ)
5. ve 6. parçalar :	Yüzyüze bakan iki U profilleri (sol)
7. ve 8. parçalar :	Yüzyüze bakan iki U profilleri (sağ)
9. ve 10. parçalar :	Profil kirişler

4. Kaynak sırası planı (bkz. Tablo 5.10, Şekil 5.15 ve 5.16)

(☐ Dikiş sırası, ➔ Kaynak sırası)

5.1.25.2. İmalatçı (Müteahhit)' in Sorumluluğu

İmalatçı, bir parça veya yapı için ilgili KPŞ ve genel imalat yöntemleriyle uyumlu olarak belirlenen kalite taleplerini karşılayacak parça veya yapı oluşturacak bir kaynak sırası planı oluşturmalıdır. Büzülmesi ve distorsiyonu bir parçanın veya yapının tümünü etkilemesi muhtemel bir parça veya yapının kaynağına başlamadan önce, bununla ilgili kaynak sırası planı ve distorsiyon kontrol programı, bilgi ve görüşünü almak üzere Mühendis'e sunulmalıdır.

5.1.25.3. Kaynağın İlerleyişi

Bir parça üzerindeki kaynakta genel ilerleme yönü, parçaların birbirine göre sıkı şekilde tesbit edildiği noktadan daha büyük hareket serbestliği olan yöne doğru ilerlemelidir.

5.1.25.4. En Düşük Seviyede Tutulmuş Sınırlandırma

Montajlarda, büyük oranda büzülme göstermesi beklenen birleşimler, daha düşük büzülme göstermesi beklenen birleşimlerden daha önce kaynak yapılmalıdır. Bunlar ayrıca, mümkün olduğu kadar az miktarda sınırlandırma altında kaynak yapılmalıdır.

5.1.25.5. Sıcaklık Sınırlamaları

Büzülmeye karşı büyük oranda sınırlanmış koşullar altında kaynak yaparken, kaynak başladıktan sonra kaynaklı birleşim tamamlanana kadar veya parça üzerinde çatlama oluşmayacak derecede ısı birikene kadar, parçanın belirlenen ön tavlama sıcaklığının altına düşmesine izin verilmemelidir.

5.1.25.6. Distorsiyonun Doğrultulması

Kaynak tarafından, belirtilen toleransların ötesinde distorsiyona uğratılmış parçalar sadece tasarım standardıyla uyumlu bir yöntemle doğrultulabilir. Distorsiyonu doğrultmak/ortadan kaldırmak için kullanılan herhangi bir yöntem yapıya zarar vermemelidir.

5.1.26. Kaynaktan Sonraki Isıl İşlem

Kaynaktan sonra ısııl işlem ve/veya yaşlandırma uygulanması gerektiğinde, bu işlem tasarım standardıyla uyumlu yapılmalıdır.

Esas metalin, ITAB – ısı tesiri altındaki bölgesinin ve kaynak metalinin özellikleri üzerine etkileri dikkate alınmalıdır.

Kaynakların kaynaktan sonra ısııl işlem görmesi gerekiyor ise, ancak bununla ilgili bir uygulama standardı mevcut değilse, ısııl işlem detaylarının esas metalin, ITAB'ın ve kaynak metalinin özelliklerini dikkate alan tasarım standardında belirtilmesi gerekir. Tablo 5.11'de kaynaktan dolayı meydana gelebilen hasar durumları verilmiştir.

Tablo 5.11. Kaynaktan dolayı meydana gelebilen hasarlar

Kaynaktan dolayı meydana gelebilen hasarlar	Nedenleri	Karşı Önlemler
Gerilme giderme ısııl işlem çatlakları	Eğer gerilme giderme ısııl işlemi ve/veya çelik malzeme bileşimi uygun değilse, gerilme giderme ısııl işlemi sırasında karbür veya nitrit çökelmeleri meydana gelebilir.	- Kaynak taşkınlıklarını taşıyarak gerilme yığılmalarını azaltın. - Kaynak paso sırasını düzelterek iri taneli - ITAB kısmını en aza indirin. - Optimum ısııl işlem prosedürü kullanın.
Korozyon a) Genel etki	Kaynak metalini ile esas metal arasındaki kimyasal bileşim, tane boyutu ve gerilme seviyesi farklılıkları, farklı korozyon hızlarına yol açabilir. Çoğu durumda kaynak ve Isının Tesiri Altındaki Bölge (ITAB) daha çabuk etkilenir.	- Levha ve kaynak metalini bileşimleri arasındaki aşırı farklılıklardan kaçının.
b) Gerilmeli korozyon çatlama	Gerilme, mikroyapı ve çevrenin kritik bir bileşimi neden olur.	- Gerilme yığılmalarından kaçının. - Kaynak gerilme seviyelerini en aza indirin. - Sertlik seviyelerini düşürün.

5.1.27. Kaynaktan Sonraki Temizleme

Eğer gerekliyse, kaynaktan sonraki temizleme işlemi sözleşmeyle uyumlu yapılmalıdır.

Korozyon direnci yüzey kalitesinden son derece fazla etkilenir. Kaynaktan sonraki temizleme yöntemi, kaynak kalite taleplerine bağlıdır.

5.2. Birleşim Tasarım Detaylarına İlişkin Kılavuz

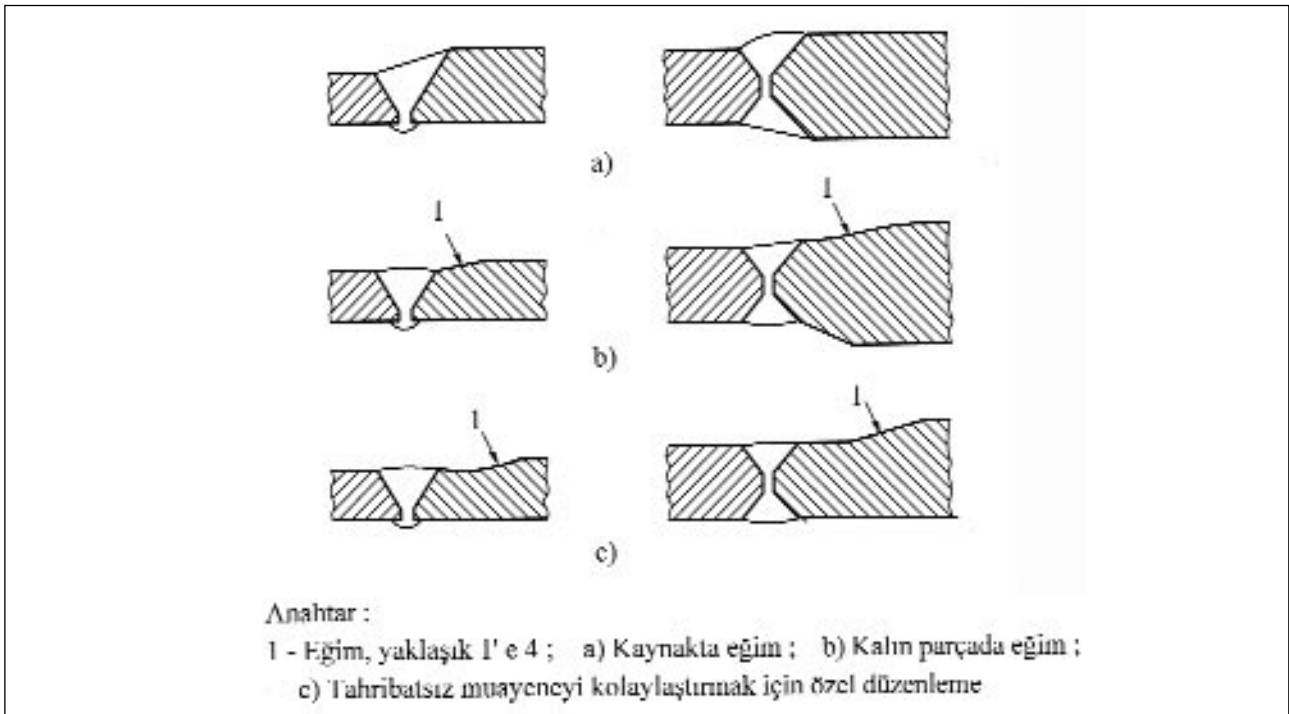
(Başka bir uygulama standardı bulunmadığı zaman)

5.2.1. Genel

Bu bölümde verilen bilgiler, başka bir uygulama standardında kılavuz bilgi bulunmadığı zaman kullanılabilir. Daha fazla bilgi, EN 1708-1 ve EN 1708-2’de bulunmaktadır.

5.2.2. Küt Kaynaklı Birleşimler

Aynı düzlemde bulunan farklı enkesit kalınlığına sahip parçalar arasındaki küt kaynaklı birleşimler, kaynak dikişinin kendi profilinin yol açtığı gerilme yığılması dışında, ilave bir gerilme yığılmasına da yol açar. Eğer iki parçanın merkez düzlemleri çakışmazsa, birleşimde yerel bir eğilme de oluşacaktır. Eğer bu etkilerin yol açtığı gerilmeler kabul edilemez seviyede ise, bu durumda gerilmeleri azaltmak üzere kaynaktan önce parçalar, (1: 4)’ten daha büyük olmayan bir eğimle şekillendirilmelidir. Buna ait örnekler Şekil 5.17’de verilmiştir. Şekil 5.17a ve b teşkilleri daha yaygın türleri, Şekil 5.17c ise tahribatsız (hasarsız) muayeneyi (NDT) kolaylaştırmak için özel bir düzenlemeyi göstermektedir.



Şekil 5.17. Farklı kalınlıktaki enkesitlerin küt kaynaklı birleşimleri

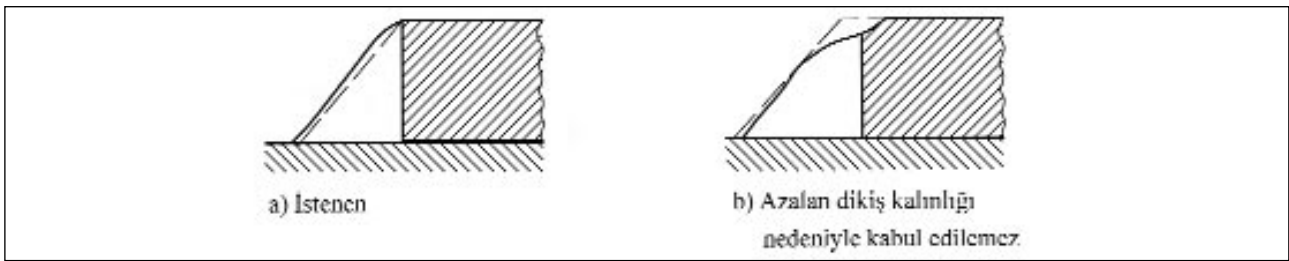
5.2.3. Köşe Kaynak Dikişleri

Açık uçlu bir köşe kaynağının hesap uzunluğu, toplam uzunluktan kenar uzunluğunun **2** (iki) katı çıkarılarak hesaplanmalıdır. Her durumda hesap uzunluğu, hangisi büyükse, ya **25 mm**'den kısa olmamalı, ya da dikiş kenar uzunluğunun en az **4** (dört) katı olmalıdır.

Basınç kuvveti taşıyan köşe kaynaklı birleşimler durumunda, birleştirilen parçaların birleşim altında temas halinde oldukları kabul edilmemelidir. Kritik uygulamalar için kısmi (KBN) veya hatta tam nüfuziyetli (TBN) küt kaynak dikişlerinin kullanımı tercih edilmelidir.

Bir levha veya profilin kenarındaki köşe kaynak dikişinin önceden belirlenmiş kenar uzunluğu, esas metalin kaynağın sınırlarının ötesinde çıkıntı oluşturmamasına müsaade etmeyecek şekilde ise, dikiş kalınlığını azalttığından dolayı, dış köşenin veya köşelerin erimesine izin verilmez. (bkz. Şekil 5.18)

Tek bir köşe kaynağı, kaynak dikişinin kök bölgesinde çekmeye neden olabileceğinden, birleşimin boyuna eksenine doğrultusunda bir eğilme momentine maruz bırakılmamalıdır.



Şekil 5.18. Bir parçanın ucuna çekilen dış köşe kaynak dikişleri

Ergitilecek yüzeyleri arasında 120° 'den fazla veya 60° 'den az bir açı bulunan parçaları birleştirecek köşe kaynaklarının, uygulama standardı tarafından müsaade edilmediği sürece, çalışma geriliminin tamamı altında hesaplanan kuvvetleri taşıyacağına itimat edilmemelidir.

Ergitilecek yüzeyleri arasında 60° ile 120° arasında bir açı bulunan parçaları birleştirecek düz veya dış bükey köşe kaynaklarının tasarım dikiş kalınlığı, kenar uzunluğunun Tablo 5.12'de verilen uygun faktörlerle çarpılmasıyla elde edilebilir.

Tablo 5.12 Düz veya dışbükey köşe kaynaklarında tasarım dikiş kalınlığını elde etmek için kullanılan kenar açılarına bağlı faktörler	
Ergime yüzeyleri arasındaki açı (Derece)	Faktör
60 ila 90	0,70
91 ila 100	0,65
101 ila 106	0,60
107 ila 113	0,55
114 ila 120	0,50

Özellikle kullanım esnasında sadece hafif yük taşıyacak şekilde tasarlanan köşe kaynaklarında, imalat, taşıma ve inşaat esnasındaki yüklemelere dikkat edilmelidir.

5.2.4. Delikler ve Yarıklar

Kaynak edebilmek üzere yeterli ulaşılabilirliği sağlamak için, bir deliğin çapı veya bir yarığın genişliği malzeme kalınlığının **3** (üç) katından veya **25 mm**'den (hangisi büyükse) az olmamalıdır. Yarık uçları, malzeme kalınlığının **1,5** katı veya **12 mm** (hangisi büyükse) yarıçapında yuvarlatılmış olmalıdır. Parça kenarı ile delik veya yarık kenarı arasındaki mesafe veya bitişik yarık veya delikler arasındaki mesafe, malzeme kalınlığının **2** (iki) katından az olmamalı, delikler için ise **25 mm**'den az olmamalıdır.

5.3. (Soğuk Çatlama olarak da bilinen) Hidrojen Çatlamasından Kaçınma

5.3.1. Genel

Bu bölümde, hidrojen çatlamasından kaçınmaya yönelik öneriler verilmiştir. Ancak önlem olarak, örneğin düşük ön tavlama sıcaklığı işlemi gibi etkinliği kanıtlanmış yöntemlere benzer alternatif prosedürler de uygulanabilir. Hidrojen çatlamasının olup olmayacağına ilişkin tahkik, bu bölümde verilen kaynak prosedürleri içinde de yer alan tüm faktörleri içermelidir.

5.3.2. Alaşımsız Çeliklerde Hidrojen Çatlamasından Kaçınmak için A Yöntemi

5.3.2.1. Esas Metal

Esas metal alaşım katışıklıklarının yüzde ağırlık cinsinden kimyasal bileşim dağılımı aşağıdaki gibidir:

- Karbon	(C)	0,05 – 0,25
- Silisyum	(Si)	maks. 0,8
- Manganez	(Mn)	maks. 1,7
- Krom	(Cr)	maks. 0,9
- Bakır	(Cu)	maks. 1,0
- Nikel	(Ni)	maks. 2,5
- Molibden	(Mo)	maks. 0,75
- Vanadyum	(V)	maks. 0,20

Hidrojen çatlamasının önlenmesi için emniyetli, ancak ekonomik ön tavlama seviyelerinin tesbiti esas metalin bileşiminin ve karbon eşdeğeri CE'nin ve ayrıca kaynak metali bileşiminin doğru olarak tesbitine özellikle bağlıdır.

Esas metal için *karbon eşdeğeri* (CE) değerleri aşağıdaki formüle göre hesaplanır :

Bu bölümde verilen kılavuz bilgiler **CE = 0,3 - 0,7** arasında kalan bir *karbon eşdeğerine* sahip çeliklere uygulanabilir.

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \quad (\% \text{ cinsinden}) \quad (5.2)$$

Eğer karbon ve karbon-manganez çelikleri için, hadde profillerinde ve levhalarında (saçlarında) bu formüldeki elementlerden sadece karbon ve manganezden söz ediliyorsa, formüldeki diğer elementleri de hesaba katabilmek için bulunan değere 0,03 ilave edilmelidir. Farklı *karbon eşdeğerine* veya klas'a (sınıfına) sahip çelikler kaynak yapıldığında, daha yüksek *karbon eşdeğeri* rakamının kullanılması gerekir.

Bu *karbon eşdeğeri* formülü, bor içeren çeliklere uygulanamaz.

5.3.2.2. Çatlamayı Etkileyen Faktörler

Hidrojen çatlamasının varlığı, çok sayıda faktöre bağlıdır. Bunlar arasında çeliğin kimyasal bileşimi, kaynak prosedürü, kaynak ilave malzemeleri ve gerilme sayılabilir. Eğer kaynak sırasında $t_{8/5}$ süresi (800°C'den 500°C'ye soğuma süresi) çok kısa ise, ısıнын tesiri altındaki bölgede (ITAB) aşırı sertlik oluşur. Kaynaktaki hidrojen seviyesi kritik bir değerin üzerine çıktığında, kaynak ortam sıcaklığına yakın bir sıcaklığa soğuduktan sonra artık gerilmelerin etkisi altında sertleşmiş bölge kendiliğinden çatlayabilir. Malzeme kalınlığıyla ilişkili kaynak paso boyutlarını kontrol ederek, gerekirse ön tavlama uygulayarak ve pasolararası sıcaklığı kontrol ederek, ITAB'ın yavaş soğumasının sağlanması garanti edilebilir ve bu şekilde kaynak koşulları, çatlamadan kaçınılabilecek şekilde seçilebilir. Hidrojen çatlamasından kaçınmayı sağlayacak prosedürler ve ayrıca geçiş sıcaklığı, boyunca sertleşmeden ve dolayısıyla hassaslaşmış mikroyapıdan (bünye) kaçınmayı sağlayacak soğuma süreleri seçimi, ısı çevrimin genellikle 300°C ile 100°C arasını içeren düşük sıcaklık bölgesindeki soğumayı kontrol etmeyi ve dolayısıyla, hidrojenin kaynaklı parçadan çıkışını olumlu etkilemeyi içerebilir. Bu özellikle bitmiş kaynaklı parçaya, çoğu kez ön tavlama sıcaklığının bir devamı olan son tavlama uygulayarak yapılabilir.

Kaynağın hidrojen seviyesi, hidrojen kontrollü kaynak yöntemleri ve ilave malzemeleri kullanarak ve ayrıca, daha önce tanımlanan son tavlama gibi uygulamalarla kontrol edilebilir.

Sertleşme düşük seviyede olmasına rağmen, gerçek hidrojen ve gerilme seviyeleri ITAB'dakinden daha yüksek olabileceğinden, aynı prosedürler kaynak metalindeki hidrojen çatlamasına da uygulanır. Genel olarak ITAB'da hidrojen çatlamasından kaçınmak üzere seçilen kaynak prosedürleri, kaynak metalindeki çatlamadan da kaçınmayı sağlar. Ancak parçanın genleşmesini aşırı sınırlayan tesbit işlemleri, düşük karbon eşdeğerine (CE) sahip çelikler, kalın enkesitler ve alaşımlı kaynak metalleri gibi bazı koşullar altında kaynak metalinin hidrojen çatlaması, esas etkin mekanizma haline gelebilir.

Hidrojen çatlamasından kaçınmanın en etkin ve garantili yolu, kaynak ilave malzemelerinden kaynak metaline hidrojen girişini azaltmaktır. Sıcaklığın $> 20^{\circ}\text{C}$ olduğu durumlarda, ön tavlamanın yapılmamasına karşı gelen ve gittikçe artan sayıda olasılıklardan çıkan faydalı sonuçlar, Tablo 5.13'de de verildiği gibi, düşük hidrojenli ilave malzemeler kullanımıyla artırılabilir.

Tablo 5.13. Ön tavlama uygulanmadan kaynaklanabilen maksimum etkin kalınlık örnekleri

100g yığılmış kaynak metalinde "ml" cinsinden yayınabilir hidrojen YH içeriği ¹⁾	Maksimum etkin kalınlık			
	CE ²⁾ : 0,49		CE ²⁾ : 0,43	
	Isı girdisi		Isı girdisi	
	1,0 kJ/mm	2,0 kJ/mm	1,0 kJ/mm	2,0 kJ/mm
15 < YH	25	50	40	80
10 < YH ≤ 15	30	55	50	90
5 < YH ≤ 10	35	65	60	100
3 < YH ≤ 5	50	100	100	100
YH ≤ 3	60	100	100	100

¹⁾ ISO 3690'a göre ölçülmüştür.
²⁾ CE : Karbon eşdeğeri (bkz. Madde 5.3.2.1)

Karbon-manganez çeliklerinde hidrojen çatlamasından kaçınmayı sağlayan kaynak koşulları, Tablo 5.13’de bu bölümde kapsanan *karbon eşdeğerleri* olarak tarif edilen normal bileşim aralığı için grafik olarak gösterilmiştir ve bu koşullar, uygulanabildiği her yerde tüm birleşim türleri için izlenmelidir.

Koşullar, aynı karbon eşdeğerine sahip farklı çelikler arasındaki davranış farklılıklarını *sertlik değerlerinin* ortalama değer etrafında farklı dağılımlarına izin veren ve kepçe ve ürün analizi arasındaki normal değişimleri hesaba katabilmek için tadil edilmişlerdir. Bu değerler, kaynak çoğunluğunda, hem ITAB hem de kaynak metali çatlamasından kaçınmak için geçerlidir.

5.3.2.3. Kaynak İlave Malzemelerinin Hidrojen İçerikleri

5.3.2.3.1. Genel

İmalatçı (Müteahhit) ilave malzemelerini, ilave malzeme üreticisinin tavsiye ettiği şekilde kullandığını ve ilave malzemelerin uygun sıcaklık ve sürelerde depolandığını ve kurutulduğunu veya pişirildiğini gösterebilmelidir.

5.3.2.3.2. Hidrojen Ölçekleri

Herhangi bir ark kaynak yöntemi için kullanılabilecek hidrojen ölçeği, esas olarak kaynağın *yayınabilir hidrojen içeriğine* bağlıdır ve Tablo 5.14’de gösterildiği gibi olmalıdır. Kullanılan değer, ilave metal üreticisi tarafından özel bir tedarik veya işlem koşuluyla, bağlantılı bulunduğu ilgili standartla uyumlu olarak belirtilmelidir.

Tablo 5.14. Hidrojen Ölçekleri	
100g yığılmış kaynak metalinde (ml) cinsinden yayınabilir hidrojen içeriği YH	Hidrojen Ölçeği
$15 < YH$	A
$10 < YH \leq 15$	B
$5 < YH \leq 10$	C
$3 < YH \leq 5$	D
$YH \leq 3$	E

5.3.2.3.3. Hidrojen Ölçeğinin Seçimi

Aşağıda, çeşitli kaynak yöntemleri için uygun hidrojen ölçeğinin seçiminde kullanılacak bir genel kılavuz verilmiştir.

Elle elektrik ark kaynağında kullanılan bazik örtülü elektrodlar, elektrod üreticisinin ilave malzeme sınıflandırmasına bağlı olarak B’den D’ye kadar ölçekle kullanılabilir.

Özlü tel ilave malzemeleri, üreticinin tel sınıflandırmasına bağlı olarak B’den D’ye ölçeklerle kullanılabilir. Çoğu tipik olarak C ölçeğiyle gösterilmesine, ancak bu nedenle de her adlandırılmış ürün bileşimi ve koşuluyla ilişkilendirmeye gereksinim duymasına rağmen, tozaltı ark kaynağı teli ve toz bileşimleri, D ölçeğiyle kullanılabilir. Tozaltı ark tozları üretici tarafından sınıflandırılabilir; ancak bu pratik bir tel/toz kombinasyonunun aynı sınıflandırmayı sağlayabileceğini göstermez.

MIG/MAG ve TIG kaynağında kullanılan dolu teller, E ölçeğiyle özellikle işaretlenmediği ve bu sınıfın özelliklerini sağlamadığında, D ölçeğiyle kullanılabilir. E ölçeği, bazı dolu teller ve bazı örtülü elektrodlar için de kullanılabilir; ancak bunun için özel şekilde belirtilmiş olması gerekir.

Düşük hidrojen seviyelerine ulaşmada, kaynağın koruyucu gazından ve atmosferik nemden gelecek hidrojen ilavesi de hesaba katılmalıdır.

Plazma ark kaynağı için özel ifadeler oluşturulmalıdır.

5.3.2.4. Etkin Kalınlık

Etkin kalınlık, kaynak ekseninden (hattından) ortalama 75 mm'lik bir mesafe içindeki esas metal kalınlıklarının toplamı olarak saptanmalıdır (bkz. Şekil 5.19).

5.3.2.5. Ön Tavlama Sıcaklığı

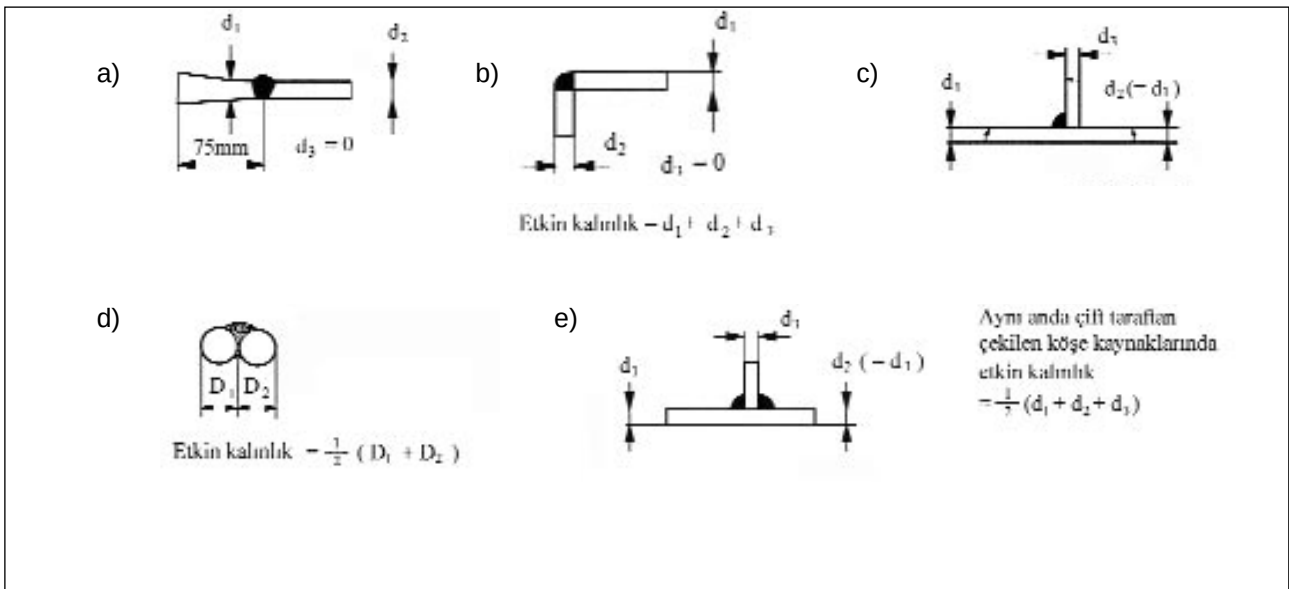
Kullanılacak ön tavlama sıcaklığı, ön tavlama ve etkin kalınlık çiftinin oluşturduğu koordinat noktasının solundaki veya hemen üstündeki ön tavlama çizgisini okuyarak elde edilmelidir (bkz. Şekil 5.20 a – m).

5.3.2.6. Pasolararası Sıcaklık

Tavsiye edilen minimum pasolararası sıcaklık, genellikle çok pasolu kaynaklar için ön tavlama sıcaklığı olarak kullanılır. Ancak, sonraki pasoların kök pasoya göre daha yüksek ısı girdisiyle oluşturulduğu durumlarda, çok pasolu kaynaklar ön tavlama sıcaklığına göre, izin verilen daha düşük bir pasolararası sıcaklığa sahip olabilir. Bu gibi durumlarda pasolararası sıcaklık, geniş paso için elde edilmelidir (bkz. Şekil 5.20a - m).

5.3.2.7. Isı Girdisi

Şekil 5.20a - m için kullanılacak (kJ/mm cinsinden) ısı girdisi değerleri, Madde 5.1.3.4 ve Madde 5.1.18 gözönünde bulundurularak hesaplanmalıdır.



Şekil 5.19. Etkin kalınlığın saptanmasına yönelik örnekler

5.3.2.8. Son Tavlama ile Hidrojenin Azaltılması

Yüksek bir soğuk çatlama riskinin olduğu durumda:

- a) ya minimum pasolararası sıcaklığı koruyarak,
- b) ya da kaynaktan hemen sonra ve kaynak bölgesi minimum pasolararası sıcaklığın altında olacak şekilde bir sıcaklık derecesine soğumadan önce, sıcaklığı 200°C - 300°C' ye yükselterek

hidrojen çıkışı hızlandırılabilir. Son tavlama süresi, en az **2 saat** olmalıdır ve bu değer kalınlığın bir fonksiyonudur. Geniş kalınlıklar, belirtilen bölgenin üst ucundaki sıcaklıklarda ve ayrıca uzatılan son tavlama sürelerinde sıcaklıklara gerek gösterir.

Son tavlama, kısmen doldurulmuş kaynak dikişi enkesitlerinin soğuması için de uygundur.

5.3.2.9. Daha Sıkı Prosedürler Gerektiren Koşullar

Şekil 5.20a – m’de verilen ön tavlama koşulları, çoğu kaynaklı imalat için güvenli kaynak prosedürlerinin oluşturulmasında tatminkar bir temel oluşturmak üzere, deneyimlerden çıkarılmıştır. Ancak hidrojen çatlama riski çok değişik parametrelerden etkilenir ve bunlar bazen Şekil 5.20a – m’de gözönüne alınanlardan daha büyük ve ters etki yapabilir. Aşağıdaki paragraflar, Şekil 5.20a – m’de verilen dataların çiziminde gözönüne alınanlardan daha büyük çatlama riski oluşturan bazı faktörleri içermektedir. Daha sıkı bir prosedüre gereksinim duyulduğunda ve çatlama kaçınmak için gereken kaynak prosedürleri değişikliklerinin oluşturulmasında, bu faktörlerin etkilerinin daha hassas şekilde hesaba katılması günümüz koşullarında henüz yapılamamaktadır. Bu nedenle, aşağıdaki faktörler sadece bir kılavuz olarak kabul edilmelidir.

Birleşimin kısıtlanması kesit kalınlığının, kaynak ağzının, birleşim geometrisinin ve imalatın rijitliğinin karmaşık bir fonksiyonudur. Yaklaşık 50 mm’den daha kalın profil kalınlıklarında yapılan kaynaklar ve çift V - kaynak ağızlı küt kaynak birleşimlerindeki kök pasolar, daha sıkı prosedürler gerektirebilir.

Belirli kaynak prosedürleri, düşük karbon eşdeğerli çelikleri kaynak yaparken, kaynak metalindeki hidrojen çatlamasından kaçınmaya yeterli olmayabilir. Bu durum, özellikle kalın kesitleri yüksek ısı girdisiyle kaynak yaparken oluşma eğilimindedir.

Daha yüksek mukavemetli, alaşımlı kaynak metalinin kullanımı veya yaklaşık % 1,5’ tan daha yüksek Mn içeren karbon-manganez kaynak metalleri, daha yüksek işletme gerilmelerine yolaçabilir. Bu durum, ITAB çatlama neden olsun veya olmasın, genellikle kaynak metali daha sert ve çatlama eğilimli hale gelir.

Deneyim ve araştırmalar göstermiştir ki, çeliğin kalıntı içeriğinin düşürülmesi, özellikle de kükürt içeriğinin azaltılması (aynı zamanda oksijen içeriğinin de azaltılması), çeliğin sertleşme kabiliyetini arttırabilir. Pratik açıdan bu etki, ITAB’ın sertliğinin artmasına neden olabilir ve ITAB’da hidrojen çatlama riskini de muhtemelen bir miktar arttırır. Bu etkinin doğru şekilde belirlenmesi, halen tam uygulanamamaktadır.

Yukarıdaki faktörleri içeren kaynaklarla ilgili prosedürlerde ısı girdisi miktarında, ön tavlama veya diğer etkileyen faktörlerde bir değişiklik yaparak modifikasyon oluşturulmasına rağmen, en etkili modifikasyon kaynağın hidrojen seviyesinin düşürülmesidir.

Bu işlem:

- a) ya kaynağa hidrojen girdisini azaltarak (düşük hidrojen seviyeli kaynak yöntemlerini veya ilave malzemelerini kullanarak)
- b) ya da kaynaktan sonra belirli bir zaman süresince yüksek sıcaklıkta son tavlama kullanımıyla hidrojenin kaynaktan atılmasını artırarak

doğrudan yapılabilir. Gerekli son tavlama süresi, pek çok faktöre bağlıdır. Ancak çoğu uygulamada **2 - 3 saat**'lik bir süre yeterli bulunmuştur. Prosedürlerdeki gerekli değişikliklerin benzer birleşimler üzerinde yeterli miktarda yapılacak kaynak testlerinden elde edilen sonuçlara dayanılarak yapılması tavsiye edilir.

5.3.2.10. Prosedürlerde İzin Verilen Gevşemeler

Kaynak prosedürlerinde gevşemelere, aşağıdaki koşullar altında izin verilebilir:

a) Genel Tavlama

Eğer oldukça geniş bir bölge veya parçanın tamamı ön tavllanmışsa, ön tavlama sıcaklığı genellikle sınırlı bir miktar düşürülebilir.

b) Sınırlı Isı Dağılımı

Eğer ısı dağılımı, bir veya birkaç yöne doğru sınırlanmışsa (örneğin en kısa ısı yolu, köşe kaynak kenar uzunluğunun **10** (on) katından az ise), özellikle de kalın levhaya doğru (örneğin, bindirme boyunun köşe kaynak kenar uzunluğundan çok az büyük olduğu bir bindirme birleşimde) ise, ön tavlama seviyesinin düşürülmesi mümkündür.

c) Ostenitik İlave Malzemeler

Çatlaksız kaynak oluşturmak için yeterli ön tavlamanın pratik açıdan uygulanamaz olduğu bazı durumlarda, belirli ostenitik veya yüksek nikel alaşımı ilave metaller kullanımıyla bir avantaj elde edilebilir. Böyle durumlarda, özellikle ilave metalin durumu, çok düşük hidrojen içerikli kaynak metali yığılmasını sağlıyorsa, ön tavlama uygulanması genellikle gerekli değildir.

d) Birleşimin Tesbiti

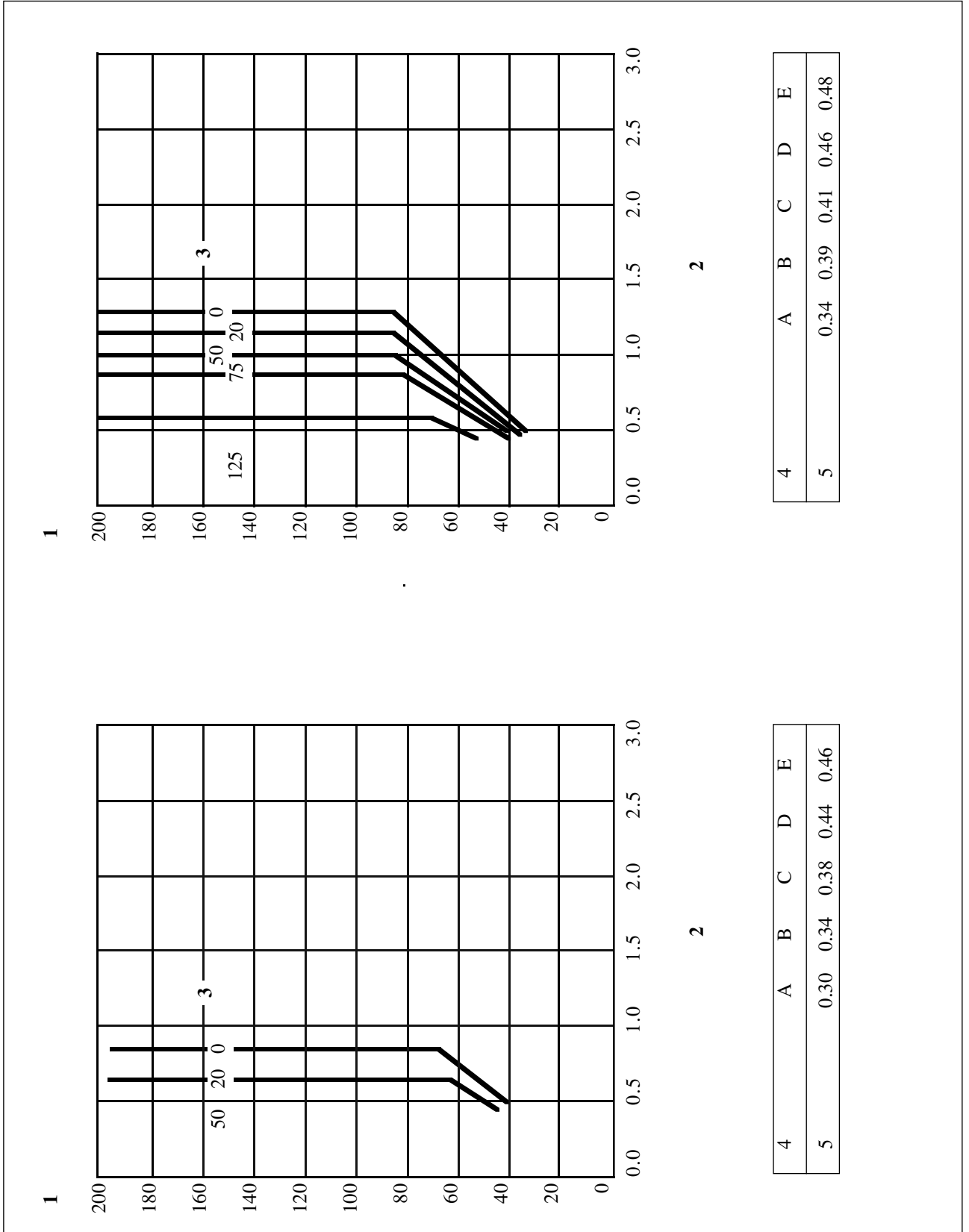
Birbirine yakın yerleştirilmiş köşe kaynak dikişleri (aralığın **0,5 mm** veya daha küçük olduğu haller), kaynak prosedüründe gevşemeler yapılmasına izin verebilir.

5.3.2.11. Elle Yapılan Elektrik Ark Kaynağında Basitleştirilmiş Koşullar

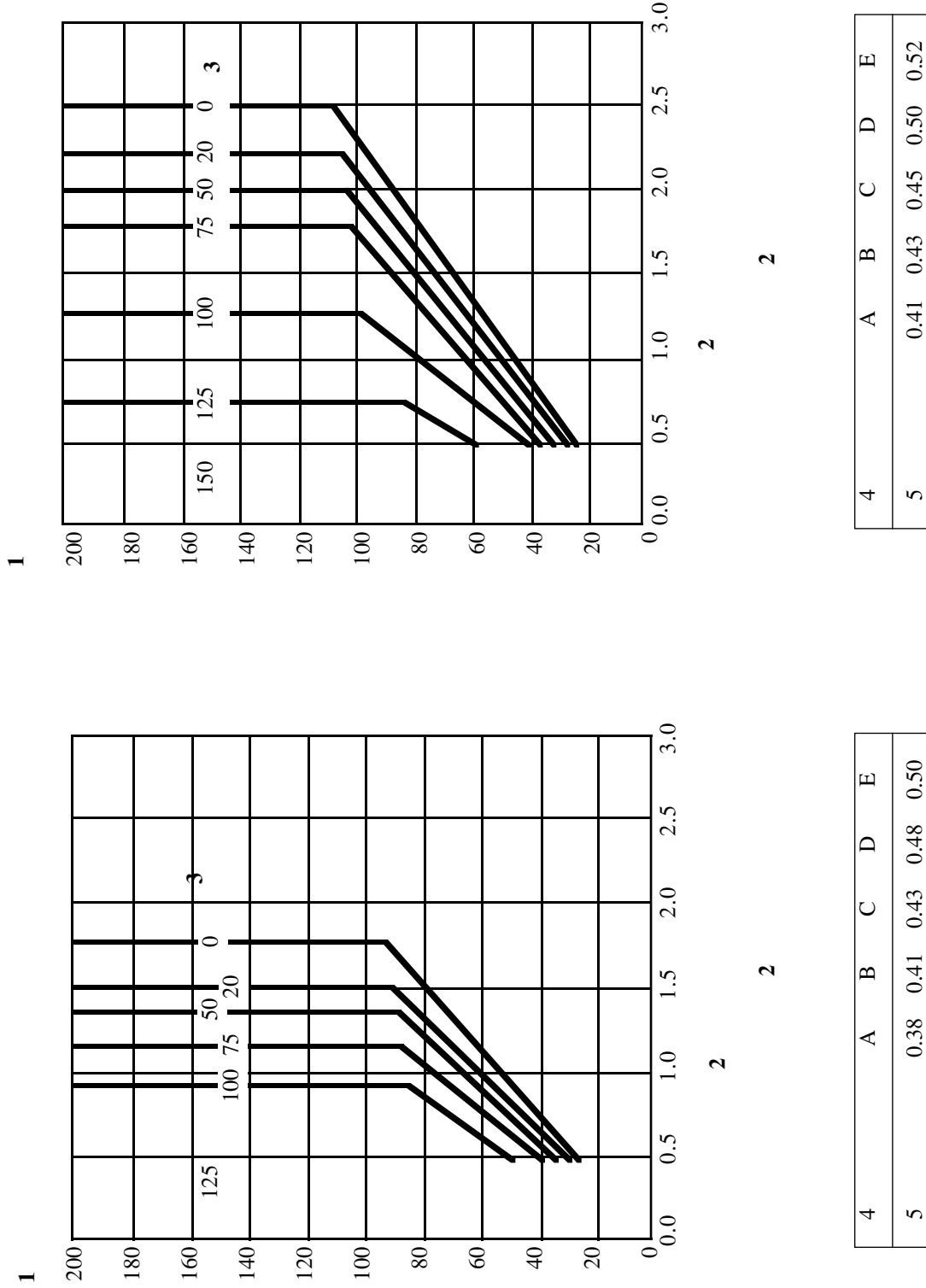
Kaynaklı birleşimin tasarımında tek pasolu minimum kenar uzunluklu köşe kaynak dikişleri belirtilmişse, Tablo 5.15, Şekil 5.20a - m' den ön tavlama sıcaklığının belirlenmesinde kullanılacak olan yaklaşık ısı girdisi değerlerinin saptanmasında kullanılabilir.

Bu değerler, imalatçının minimum kenar uzunluklu köşe kaynak dikişleri ile ilgili özel boyutlu tek pasolu köşe kaynakları yapmasının gerektiği durumlarda, pratik açıdan uygundur. Uygulamada örneğin, bir yatay-düşey köşe kaynak dikişinde, köşe kaynağının tek kenarı minimumdan daha uzun olacaktır ve bu nedenle ısı girdisi verileri, belirlenen kalınlık boyutundaki kaynaklara doğrudan dönüştürülmesine uygun olmayacaktır.

Diğer durumlarda ısı girdisi, elektrod paso uzunluğu ile veya doğrudan doğruya kaynak parametreleri aracılığıyla kontrol edilmelidir (bkz. Tablo 5.16).

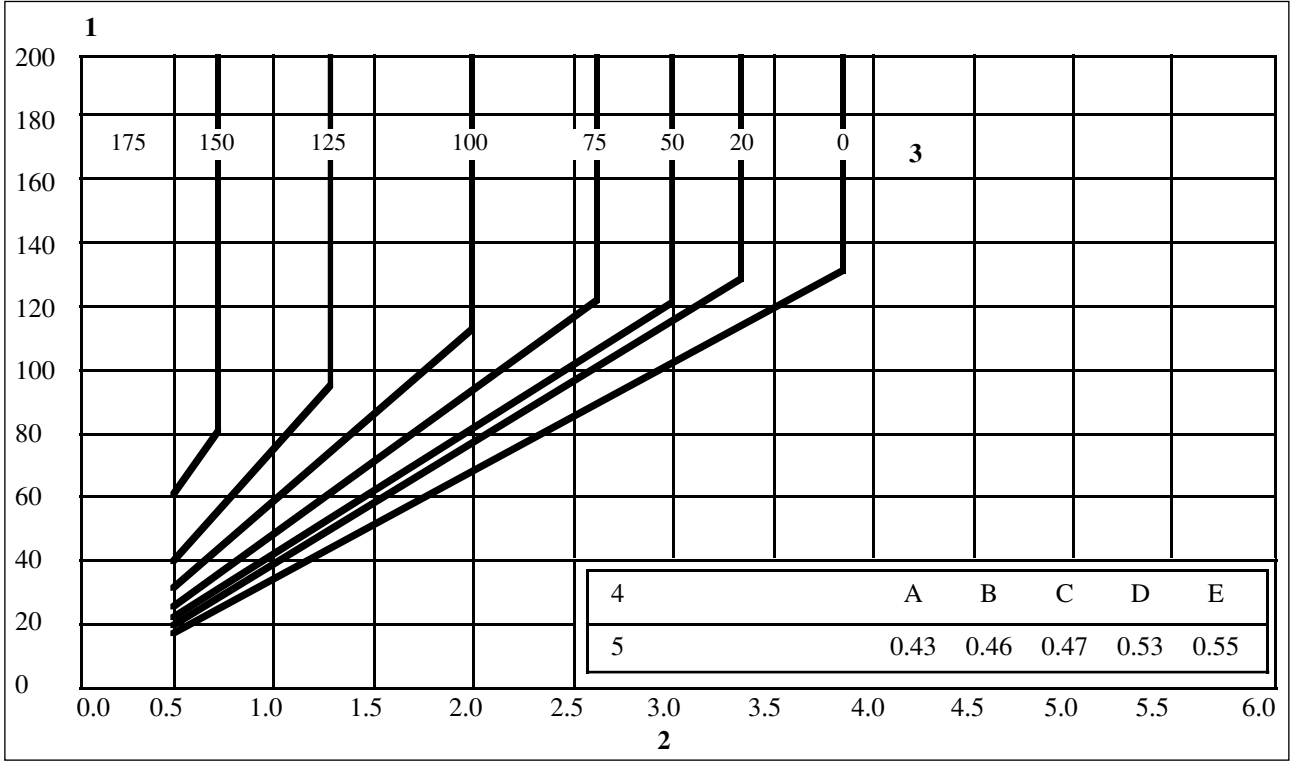


Şekil 5.20-a ve b. Belirli karbon eşdeğerlerine sahip çeliklerin kaynağı için koşullar
 Anahtar: 1 Kalınlık birleşimleri (mm); 2 Isı girdisi (kJ/mm);
 3 Minimum ön tavlama sıcaklığı (°C); 4 Ölçek;
 5 Kullanılacak en büyük karbon eşdeğeri



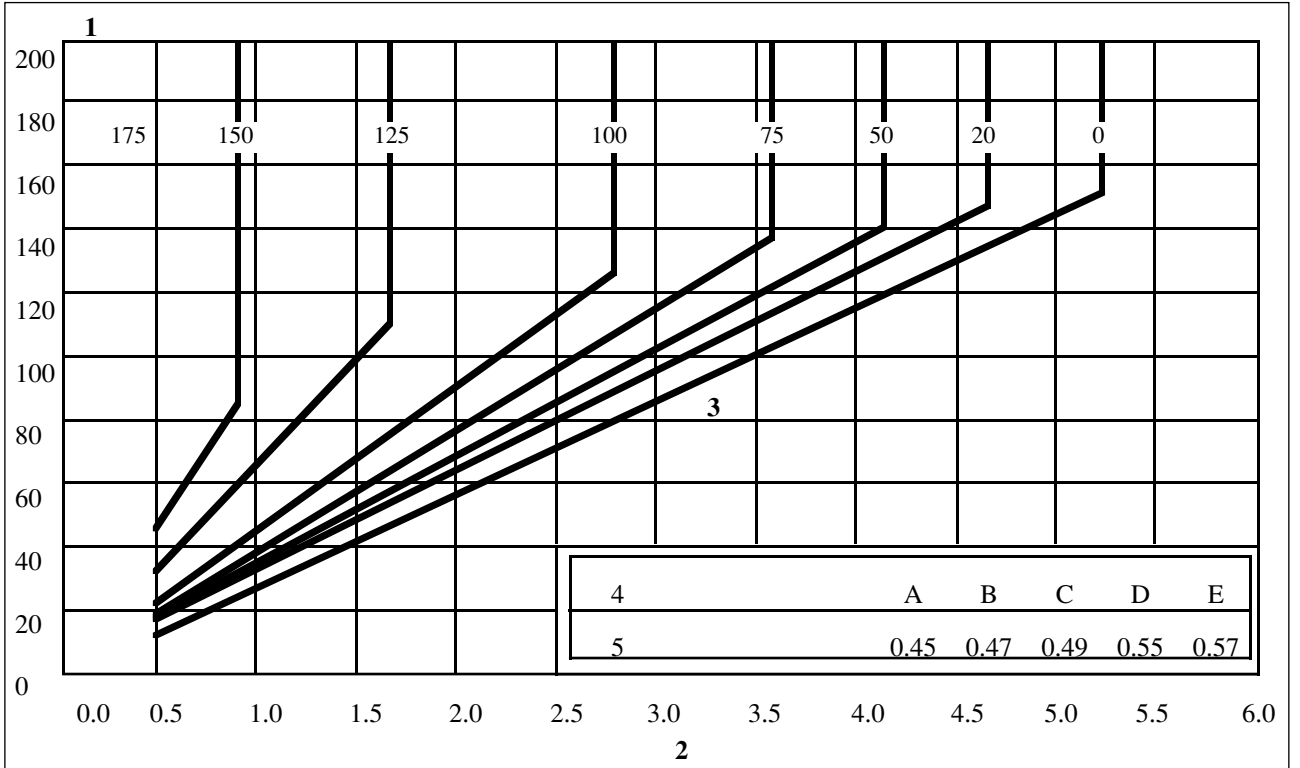
Şekil 5.20-c ve d. Belirlenen karbon eşdeğerlerine sahip çeliklerin kaynağı için koşullar

Anahtar: 1 Kalınlık birleşimleri (mm); 2 Isı girdisi (kJ/mm);
 3 Minimum ön tavlama sıcaklığı (°C); 4 Ölçek;
 5 Kullanılabilecek en büyük karbon eşdeğeri



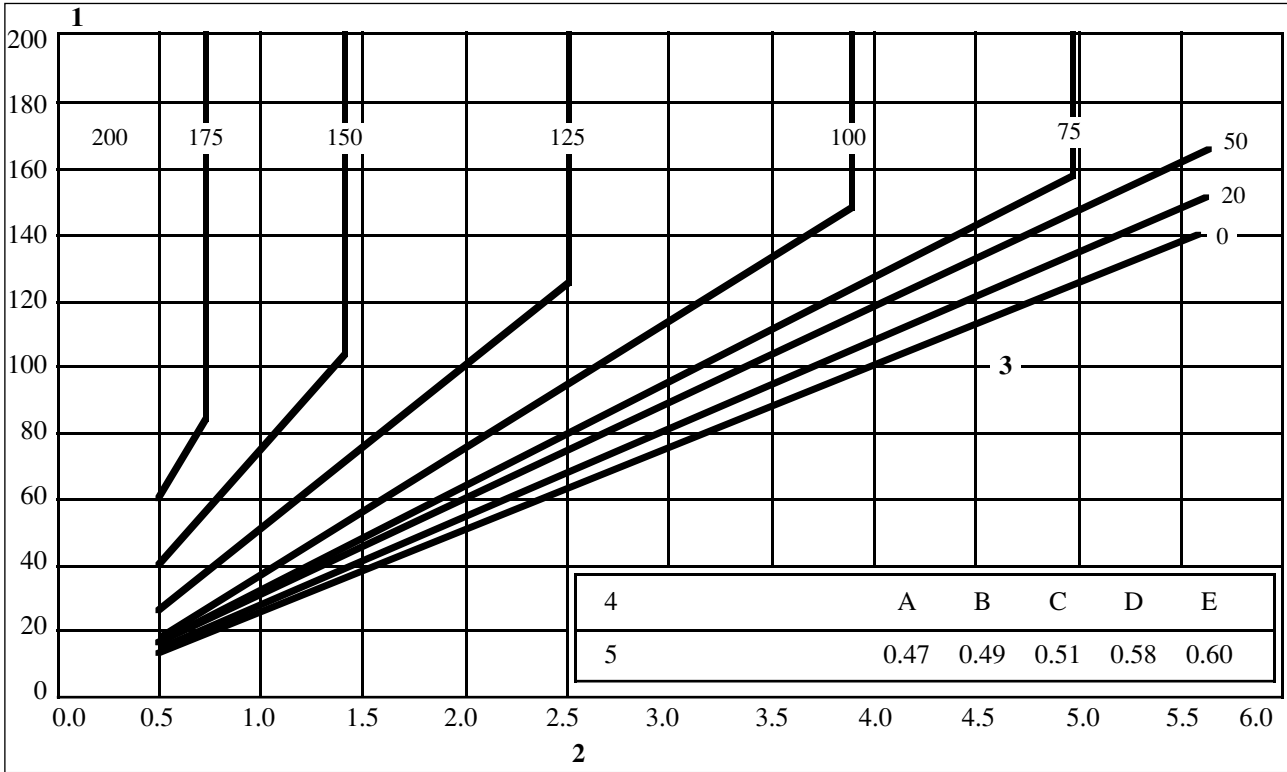
Şekil 5.20-e Belirlenen karbon eşdeğerlerine sahip çeliklerin kaynağı için koşullar

Anahtar: 1 Kalınlık birleşimleri (mm); 2 Isı girdisi (kJ/mm);
3 Minimum ön tavlama sıcaklığı (°C); 4 Ölçek;
5 Kullanılabilir en büyük karbon eşdeğeri

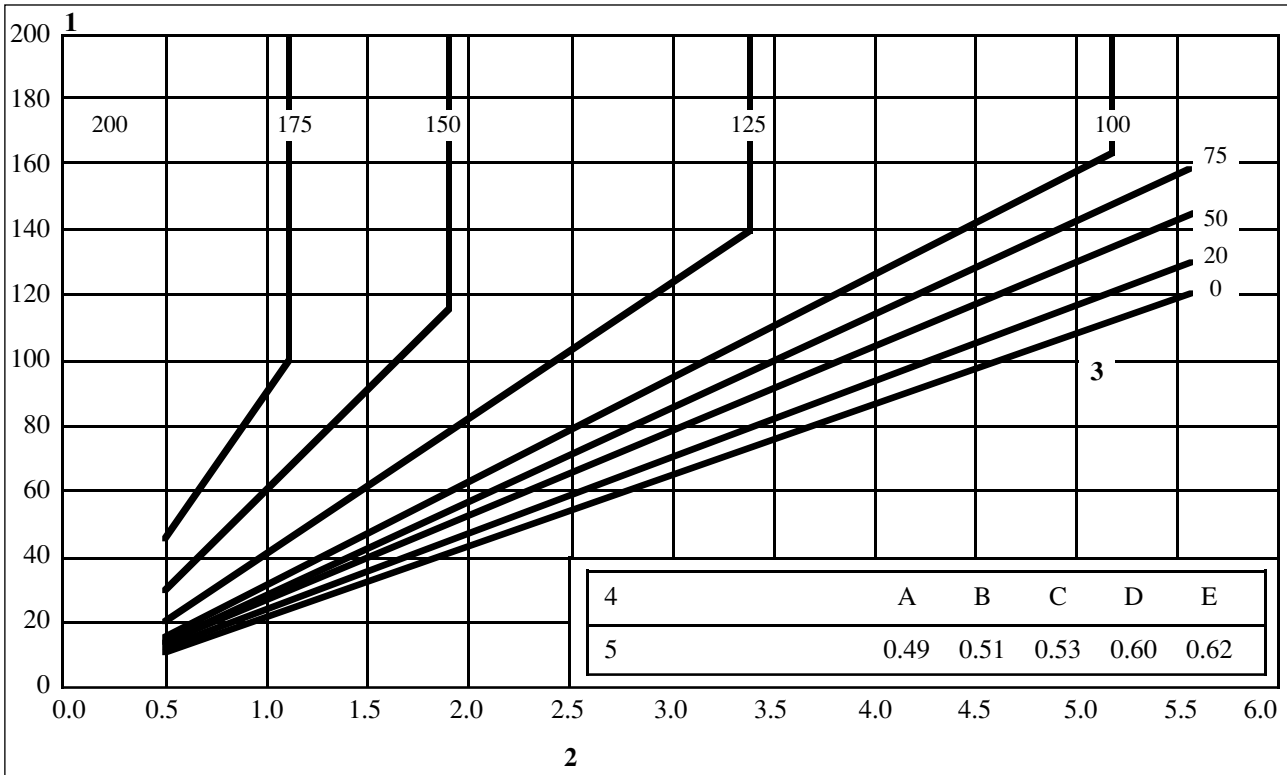


Şekil 5.20-f. Belirlenen karbon eşdeğerlerine sahip çeliklerin kaynağı için koşullar

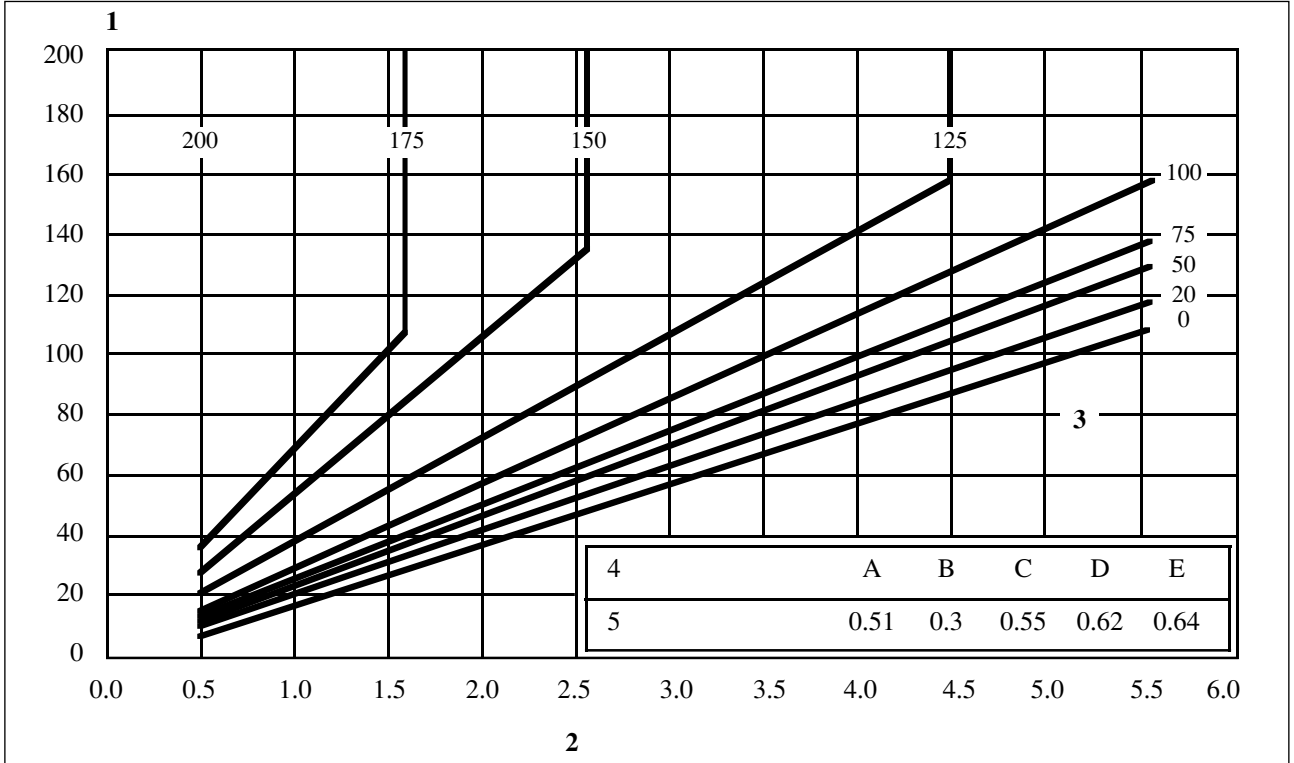
Anahtar: 1 Kalınlık birleşimleri (mm); 2 Isı girdisi (kJ/mm);
3 Minimum ön tavlama sıcaklığı (°C); 4 Ölçek;
5 Kullanılabilir en büyük karbon eşdeğeri



Şekil 5.20-g. Belirlenen karbon eşdeğerlerine sahip çeliklerin kaynağı için koşullar
 Anahtar: 1 Kalınlık birleşimleri (mm); 2 Isı girdisi (kJ/mm);
 3 Minimum ön tavlama sıcaklığı (°C); 4 Ölçek;
 5 Kullanılabilir en büyük karbon eşdeğeri

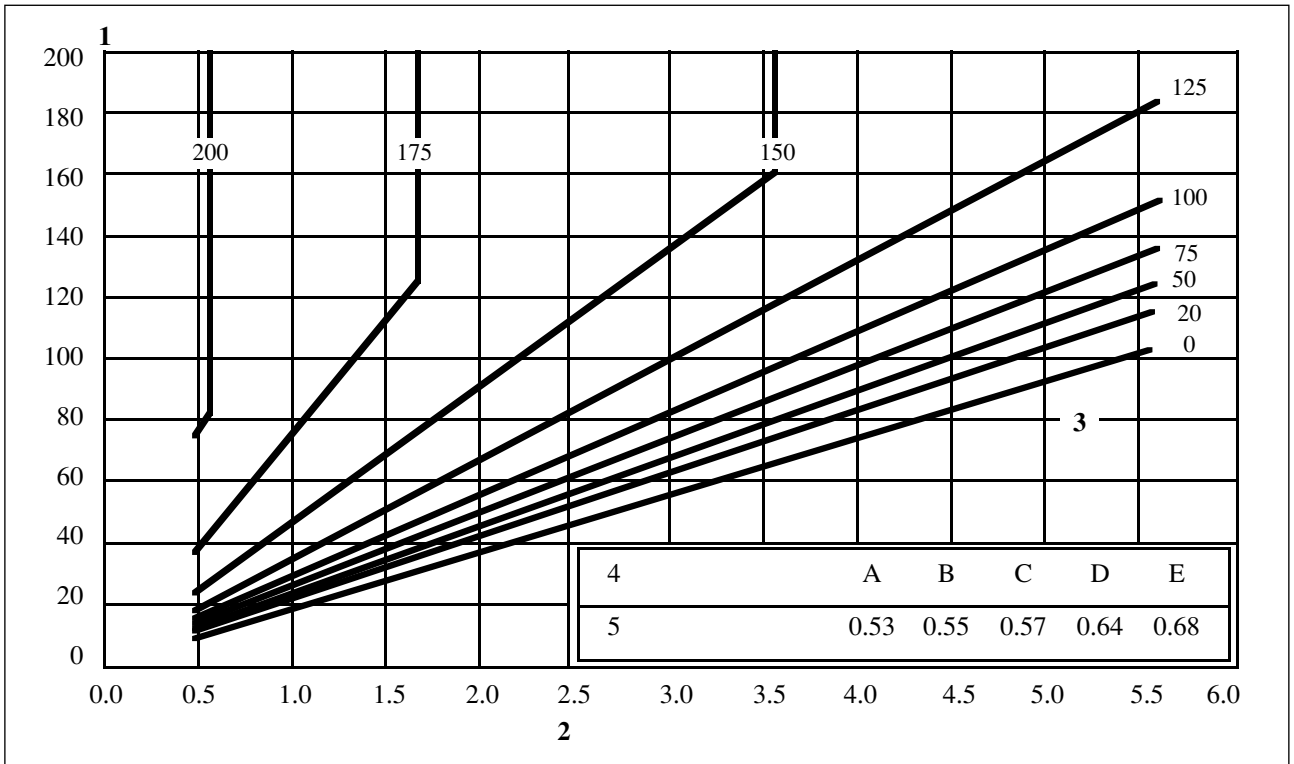


Şekil 5.20-h. Belirlenen karbon eşdeğerlerine sahip çeliklerin kaynağı için koşullar
 Anahtar: 1 Kalınlık birleşimleri (mm); 2 Isı girdisi (kJ/mm);
 3 Minimum ön tavlama sıcaklığı (°C); 4 Ölçek;
 5 Kullanılabilir en büyük karbon eşdeğeri



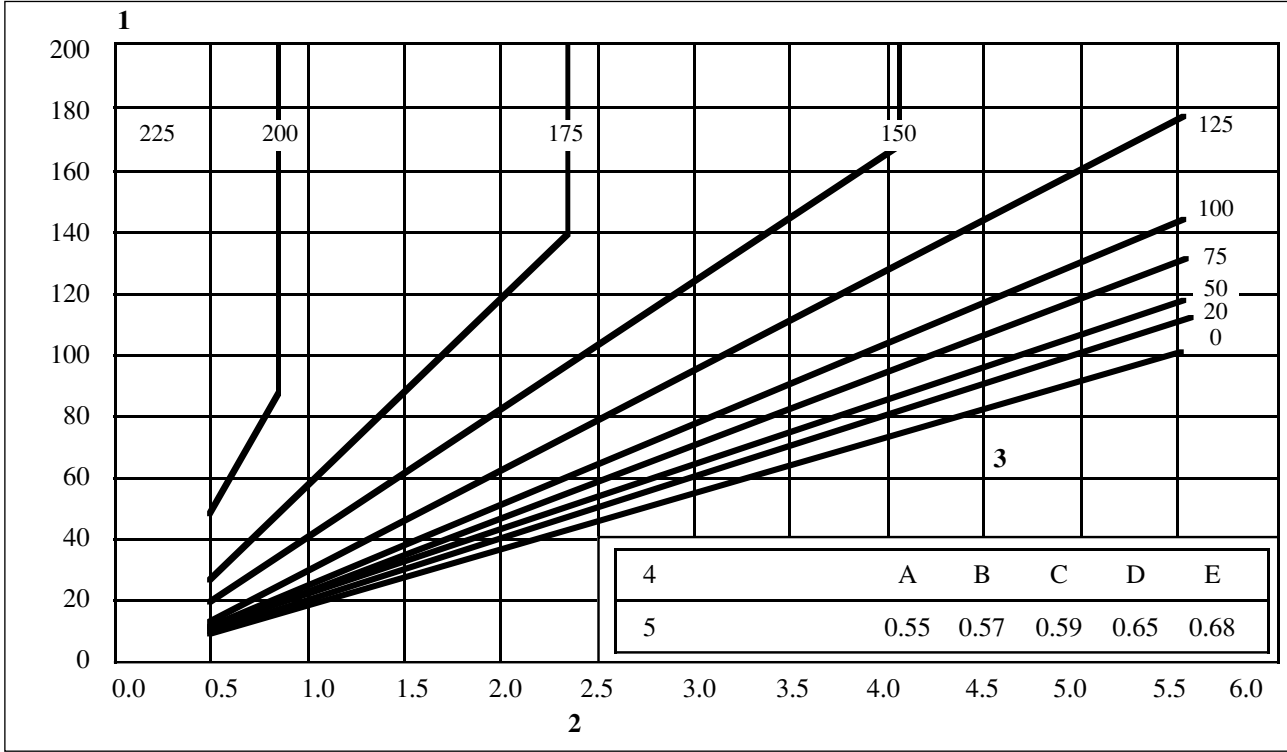
Şekil 5.20-i. Belirlenen karbon eşdeğerlerine sahip çeliklerin kaynağı için koşullar

Anahtar: 1 Kalınlık birleşimleri (mm); 2 Isı girdisi (kJ/mm);
3 Minimum ön tavlama sıcaklığı (°C); 4 Ölçek;
5 Kullanılacak en büyük karbon eşdeğeri



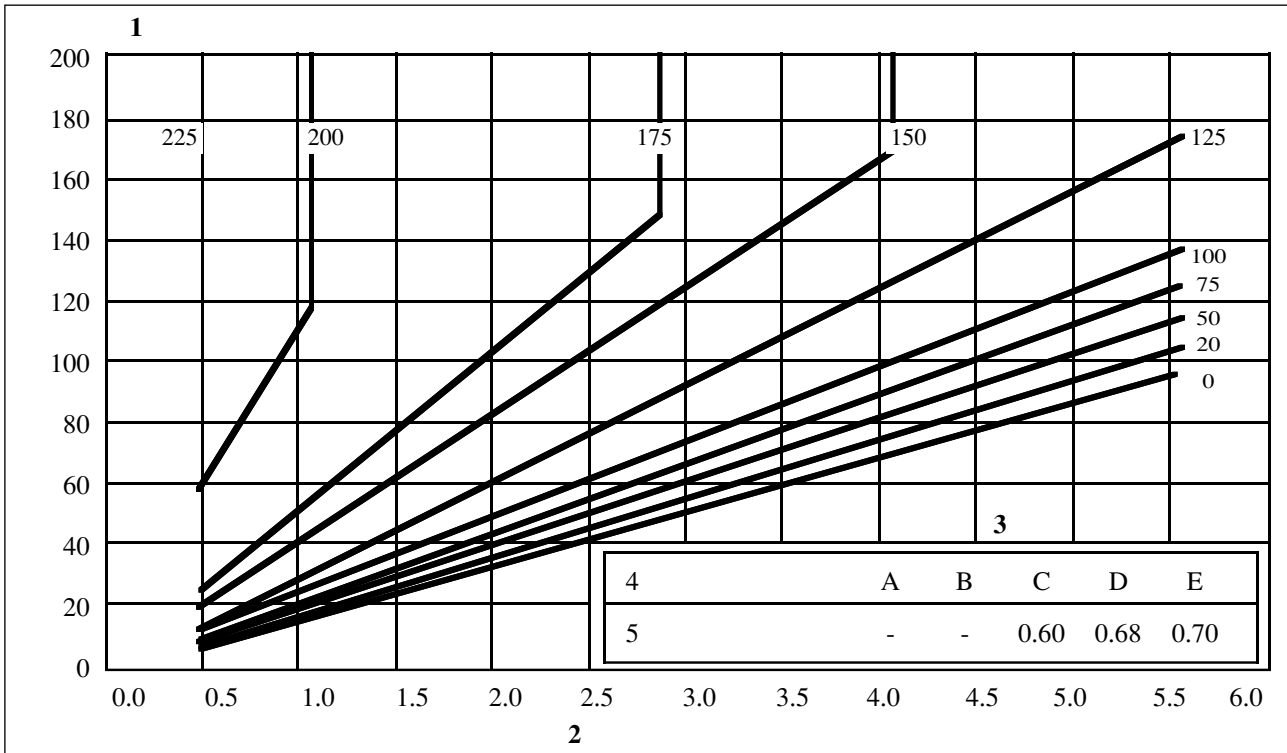
Şekil 5.20-j. Belirlenen karbon eşdeğerlerine sahip çeliklerin kaynağı için koşullar

Anahtar: 1 Kalınlık birleşimleri (mm); 2 Isı girdisi (kJ/mm);
3 Minimum ön tavlama sıcaklığı (°C); 4 Ölçek;
5 Kullanılacak en büyük karbon eşdeğeri



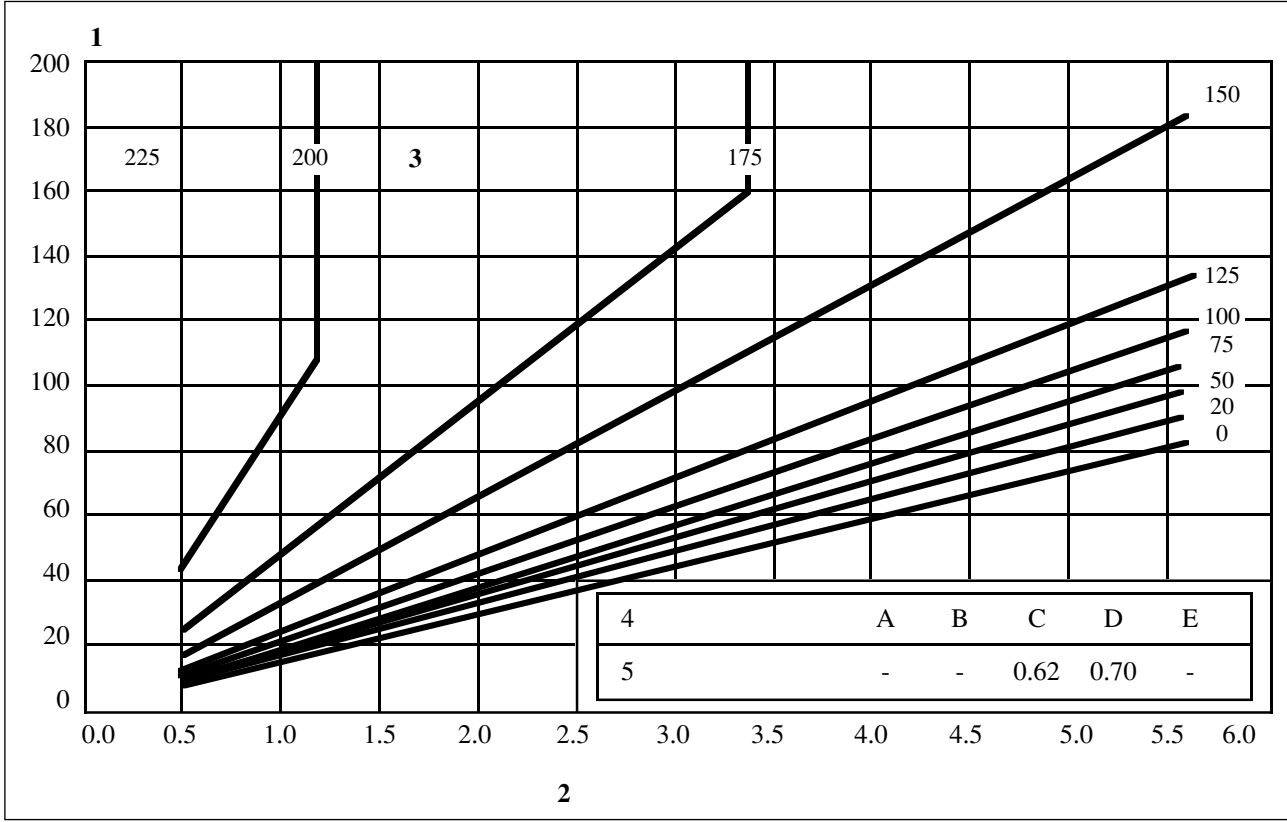
Şekil 5.20-k. Belirlenen karbon eşdeğerlerine sahip çeliklerin kaynağı için koşullar

Anahtar: 1 Kalınlık birleşimleri (mm); 2 Isı girdisi (kJ/mm);
3 Minimum ön tavlama sıcaklığı (°C); 4 Ölçek;
5 Kullanılabilir en büyük karbon eşdeğeri



Şekil 5.20-l. Belirlenen karbon eşdeğerlerine sahip çeliklerin kaynağı için koşullar

Anahtar: 1 Kalınlık birleşimleri (mm); 2 Isı girdisi (kJ/mm);
3 Minimum ön tavlama sıcaklığı (°C); 4 Ölçek;
5 Kullanılabilir en büyük karbon eşdeğeri



Şekil 5.20-m. Belirlenen karbon eşdeğerlerine sahip çeliklerin kaynağı için koşullar
Anahtar: 1 Kalınlık birleşimleri (mm); 2 Isı girdisi (kJ/mm);
3 Minimum ön tavlama sıcaklığı (°C); 4 Ölçek;
5 Kullanılabilecek en büyük karbon eşdeğeri

Tablo 5.15. Tek pasolu köşe kaynak dikişlerinin elle elektrik ark kaynağında ısı girdisi değerleri

Minimum kaynak kenar uzunluğu mm	Farklı örtü türüne ^{a)} ve elektrod verimliliğine sahip elektrodlar ^{b)} için ısı girdisi		
	R ve RR < % 110 kJ/mm	B < % 130 kJ/mm	R ve RR > % 130 kJ/mm
4	0,8	1,0	—
5	1,1	1,4	0,6
6	1,6	1,8	0,9
8	2,2	2,7	1,3

^{a)} Örtü türleri TS 563-EN 499'a göre verilmiştir.

^{b)} (R,RR, B için bkz. Madde 4.9.4.4.1).

5.3.2.12. Şekil 5.20' nin Kullanım Örnekleri

- 1. Adım:** Ya çelik sertifikasındaki, ya da çelik standardındaki maksimum karbon eşdeğerini (CE) referans alarak, hangi karbon eşdeğerinin kullanılması gerektiğine karar verin.
Bu örnek için karbon eşdeğeri $CE = 0,45$ olan bir çelik kabul edilecektir.
- 2. Adım:** Hangi kaynak yönteminin ve ilave malzemelerin kullanılacağına karar verin.
Madde 5.3.2.3'e ve Tablo 5.14'e göre A, B, C, D ve E hidrojen ölçeklerini kullanarak ilave malzemeleri sınıflandırın.
- 3. Adım:** Birleşimin küt kaynaklı mı, yoksa köşe kaynaklı mı olduğunu belirleyin.
Bu örnekte birleşimin küt kaynaklı olduğu kabul edilecektir.
- 4. Adım:** Şekil 5.20-e'den, "Hidrojen ölçeği = B" ve "karbon eşdeğeri $CE = 0,45$ " için uygun grafiği seçin. Seçilen hidrojen ölçeği ve karbon eşdeğeri için bir grafik bulunamıyorsa, seçilen karbon eşdeğerinden bir sonraki en yüksek karbon eşdeğeri için geçerli grafiği kullanın.
- 5. Adım:** Küt kaynak dikişini yapmak için kullanılacak minimum paso uzunluğunu belirleyin.
Bu, çoğunlukla kök paso olur.

Bu kaynağın, 4 mm çaplı ve % 120 verimliliğe sahip, 260 mm uzunluğunda bir paso boyuna sahip bir elektrodla yapılacağını varsayalım.

Tablo 5.16-3'e bakarak, küt kaynak dikişini oluşturan herbir paso için minimum ısı girdisinin en az 1,2 kJ/mm'de olduğunu görün.
- 6. Adım:** Madde 5.3.2.4'e bakarak, küt kaynak dikişinde kalınlık birleşimini belirleyin.
Hesaplanan etkin kalınlığın 50 mm olduğunu varsayalım.
- 7. Adım:** Şekil 5.20-e'yi kullanarak, 1,2 kJ/mm'lik ısı girdisi koordinatını ve 50 mm'lik etkin kalınlık çizin. Gerekli minimum ön tavlama ve pasolararası sıcaklığı okuyun.
(Not : Bu örnekte 75°C'dir.)
- 8. Adım:** Ön tavlama olmayan bir uygulamada minimum ısı girdisini saptamak için (normal olarak 20°C çizgisi) Şekil 5.20-e' yi yeniden kontrol edin.
Küt kaynak örneği için bu değer 1,4 kJ/mm'dir.
- 9. Adım:** Eğer Tablo 5.16-3'de verilene ve kabul edilen kaynak pozisyonuna göre bu ısı girdisi uygun ise, Tablo 5.16-3'ten seçilen elektrod çapı ve paso uzunluğu ile devam edin.
- 10. Adım:** Kabul edilebilir ısı girdisi seviyelerinde ön tavlama ihtiyacından kaçınmak için, Şekil 5.20-a ve 5.20-d' yi kullanarak, daha düşük hidrojen seviyelerinin kullanımının (daha yüksek elektrod kurutma sıcaklıkları veya ilave malzemelerin veya kaynak yönteminin değiştirilmesi gibi) daha uygun olup olmayacağını kontrol edin.

Tablo 5.16. Elle elektrik ark kaynağı için paso uzunlukları**Tablo 5.16-1. Elektrod verimi yaklaşık % 95**

Isı girdisi kJ/mm	Aşağıdaki çaplara sahip 450 mm'lik bir elektrodun 410 mm'sinden oluşan paso uzunluğu					
	2,5 mm	3,2 mm	4 mm	5 mm	6 mm	6,3 mm
0,8	120	195	300	470	-	-
1,0	95	155	240	375	545	600
1,2	-	130	200	315	450	500
1,4	-	110	170	270	390	430
1,6	-	95	150	235	340	375
1,8	-	85	135	210	300	335
2,0	-	-	120	190	270	300
2,2	-	-	110	170	245	270
2,5	-	-	95	150	215	240
3,0	-	-	80	125	180	200
3,5	-	-	-	110	155	170
4,0	-	-	-	95	135	150
4,5	-	-	-	84	120	135
5,0	-	-	-	-	110	120
5,5	-	-	-	-	100	110

Tablo 5.16-2. % 95 < Verim ≤ % 110

Isı girdisi kJ/mm	Aşağıdaki çaplara sahip 450 mm'lik bir elektrodun 410 mm'sinden oluşan paso uzunluğu					
	2,5 mm	3,2 mm	4 mm	5 mm	6 mm	6,3 mm
0,8	130	215	335	525	-	-
1,0	105	170	270	420	600	-
1,2	85	145	225	350	500	555
1,4	-	120	190	300	430	475
1,6	-	105	165	280	375	415
1,8	-	95	150	230	335	370
2,0	-	85	135	210	300	330
2,2	-	-	120	190	275	300
2,5	-	-	105	165	240	285
3,0	-	-	90	140	200	220
3,5	-	-	-	120	170	190
4,0	-	-	-	105	150	165
4,5	-	-	-	95	135	150
5,0	-	-	-	85	120	135
5,5	-	-	-	-	110	120

Tablo 5.16-3. % 110 < Verim ≤ % 130

Isı girdisi kJ/mm	Aşağıdaki çaplara sahip 450 mm'lik bir elektrodun 410 mm'sinden oluşan paso uzunluğu					
	2,5 mm	3,2 mm	4 mm	5 mm	6 mm	6,3 mm
0,8	150	250	385	605	-	-
1,0	120	200	310	485	-	-
1,2	100	165	260	405	580	-
1,4	85	140	220	345	500	550
1,6	-	125	195	300	435	480
1,8	-	110	170	270	385	425
2,0	-	100	155	240	350	385
2,2	-	90	140	220	315	350
2,5	-	-	125	195	280	305
3,0	-	-	105	160	230	255
3,5	-	-	90	140	200	220
4,0	-	-	-	120	175	190
4,5	-	-	-	110	155	170
5,0	-	-	-	95	140	155
5,5	-	-	-	90	125	140

Tablo 5.16-4. Elektrod verimi > % 130

Isı girdisi kJ/mm	Aşağıdaki çaplara sahip 450 mm'lik bir elektrodun 410 mm'sinden oluşan paso uzunluğu				
	3.2 mm	4 mm	5 mm	6 mm	6.3 mm
0,8	320	500	-	-	-
1,0	255	400	625	-	-
1,2	215	330	520	-	-
1,4	180	285	445	-	-
1,6	160	250	390	560	620
1,8	140	220	345	500	550
2,0	130	200	310	450	495
2,2	115	180	285	410	450
2,5	100	160	250	360	395
3,0	85	135	210	300	330
3,5	-	115	180	255	285
4,0	-	100	155	225	245
4,5	-	90	140	200	220
5,0	-	-	125	180	200
5,5	-	-	115	165	180

Not: Tablo 5.15'de verilen değerler, 450 mm'lik orijinal bir uzunluğa sahip elektrodlarla ilişkindir. Diğer elektrod uzunlukları için aşağıdaki formül kullanılabilir:

$$\text{Paso uzunluğu (mm)} = \frac{(\text{Elektrod çapı})^2 \times L \times F}{\text{Isı Girdisi}} \quad (5.3)$$

Burada kullanılan ifadelerin anlamı aşağıda açıklanmaktadır :

L : elektrodun tüketilen boyu (mm) (Normal olarak orijinal boyundan 40 mm'lik koçan boyu eksik)
ve

F : elektrod verimliliğine bağlı bir faktör (kJ/mm³), aşağıdaki değerlere sahiptir:

- Yaklaşık % 95 verimlilikte	F = 0,0368
- % 95 < Verimlilik ≤ % 110	F = 0,0408
- % 110 < Verimlilik ≤ % 130	F = 0,0472
- Verimlilik > % 130	F = 0,0608

5.3.3. Alaşım-sız, İnce Taneli ve Düşük Alaşım-lı Çeliklerde Hidrojen Çatlama-sından Kaçınmak için B – Yöntemi

5.3.3.1. Genel

Bu yöntem, CR ISO 15608’de belirtilen 1. ila 4. grup-lardaki çeliklerin (bkz. Tablo 4.10) ark kaynağı-nı içerir. Bu bölümde verilen tavsiyeler, ilgili KPŞ’de gözönünde bulundurulmalıdır.

Soğuk çatlama-dan kaçınmanın en etkin yolu, kaynak bölgesinin soğumasını geciktirmek için kayna-ğın yüksek sıcaklıklara ön tavlama-sı ve böylece ön tavlama-nın olmadığı duruma göre hidrojen çıkışının daha kısa sürede daha yüksek seviyede yapılmasıdır. Ön tavlama, ayrıca, artık gerilmelerin seviyesini de azaltır. Çok pasolu kaynaklar için, uygun yükseklikte bir pasolararası sıcaklığa ulaşılabiliriyorsa ve uygun kaynak sırasıyla bu değer sürdürülebiliriyorsa, ön tavlama olmadan da kaynağa başlamak da mümkündür.

Bu bölümde verilen tavsiyenin temeli, kaynağın kendisi üzerine uygulayarak veya özel soğuk çatlama testleri kullanarak çeliklerin soğuk çatlama davranışının ileri seviyede incelenmesidir. Köşe kaynak dikişleri de incelenmiştir. Tek pasolu köşe kaynak dikişlerinin, küt kaynak dikişlerine göre daha düşük artık gerilmeler oluşturduğu saptanmıştır. Bu nedenle küt kaynak dikişleri için belirlenen ön tavlama sıcaklıkları, köşe kaynak dikişleri için belirlenenlerden yaklaşık 60°C daha yüksektir. Bu deneyime bağlı olarak, bu üstünlüğün kullanımı imalatçıya aittir. Farklı levha kalınlık-larında küt ve köşe kaynak dikişleri için ön tavlama sıcaklıklarının saptanması açısından, ön tavlama sıcaklığı daha kalın olan levhaya göre hesaplanmalıdır. Çok pasolu köşe ve küt kaynak dikişleri de benzer gerilme koşullarına sahiptir. Bu nedenle küt kaynak dikişlerinde de soğuk çatlama-lardan kaçınmak için, aynı ön tavlama sıcaklığı kullanılmalıdır.

Soğuk çatlama-dan kaçınmak için ilk pasonun başlamasından önceki ve kaynak bölgesinin kaynak sırasında altına düşmemesi gereken en düşük sıcaklık, T_p - ön tavlama sıcaklığı olarak adlandırılır. Çok pasolu kaynaklar durumunda, ikinci ve daha sonraki tüm pasoların sıcaklıklarının belirtilmesin-de kullanılabilir terim, T_i - pasolararası sıcaklıktır ve T_p - ön tavlama sıcaklığı yerine de kullanılabilir. Her iki sıcaklık da genel olarak aynıdır. Bu nedenle basitlik amacıyla, aşağıda sadece “*Ön Tavlama Sıcaklığı*” terimi kullanılmıştır.

5.3.3.2. Kaynakların Soğuk Çatlama Davranışını Etkileyen Faktörler

Kaynaklı birleşimlerin soğuk çatlama davranışı esas metalin ve kaynak metalinin kimyasal bileşi-minden, levha kalınlığından, kaynak metalinin hidrojen içeriğinden, kaynak sırasındaki ısı girdisin-den ve gerilme seviyesinden etkilenir. Alaşım içeriğinin, levha kalınlığının ve hidrojen miktarının artması soğuk çatlama riskini de artırır. Isı girdisindeki bir artış ise tersine, bu riski azaltır.

5.3.3.2.1. Esas Metal

Çeliklerin soğuk çatlama davranışı üzerine kimyasal bileşimin etkisi, karbon eşdeğerleri (CET) ile karakterize edilir. Bu formül, her bir alaşım elementinin, bu özellikler üzerine karbonunkine benzer etkisi hakkında bilgi verir.

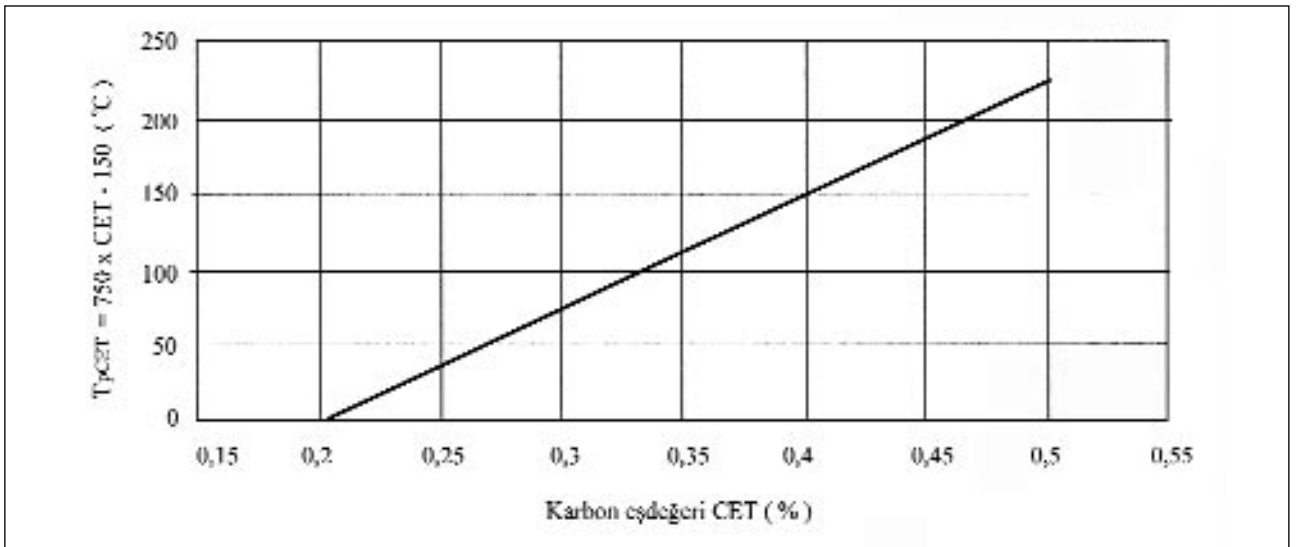
$$CET = C + \frac{Mn + Mo}{10} + \frac{Cr + Cu}{20} + \frac{Ni}{40} \quad (5.4)$$

Bu formül, aşağıdaki yoğunluk aralığına uygulanır (yüzde ağırlık cinsinden):

- karbon	(C)	0,05 ila 0,32
- silisyum	(Si)	maks. 0,8
- manganez	(Mn)	0,5 ila 1,9
- krom	(Cr)	maks. 1,5
- bakır	(Cu)	maks. 0,7
- molibden	(Mo)	maks. 0,75
- niyobyum	(Nb)	maks. 0,06
- nikel	(Ni)	maks. 2,5
- titanyum	(Ti)	maks. 0,12
- vanadyum	(V)	maks. 0,18
- bor	(B)	maks. 0,005

Karbon eşdeğeri CET ile ön tavlama sıcaklığı T_p (veya pasolararası sıcaklık T_i) arasında, Şekil 5.21’de de gösterildiği gibi lineer bir ilişki vardır. CET - karbon eşdeğerinde yaklaşık % 0,01’ lik bir artış , ön tavlama sıcaklığında 7,5 °C’lik bir artışa yol açar.

$$T_{pCET} = 750 \times CET - 150 \quad (^\circ C) \quad (5.5)$$

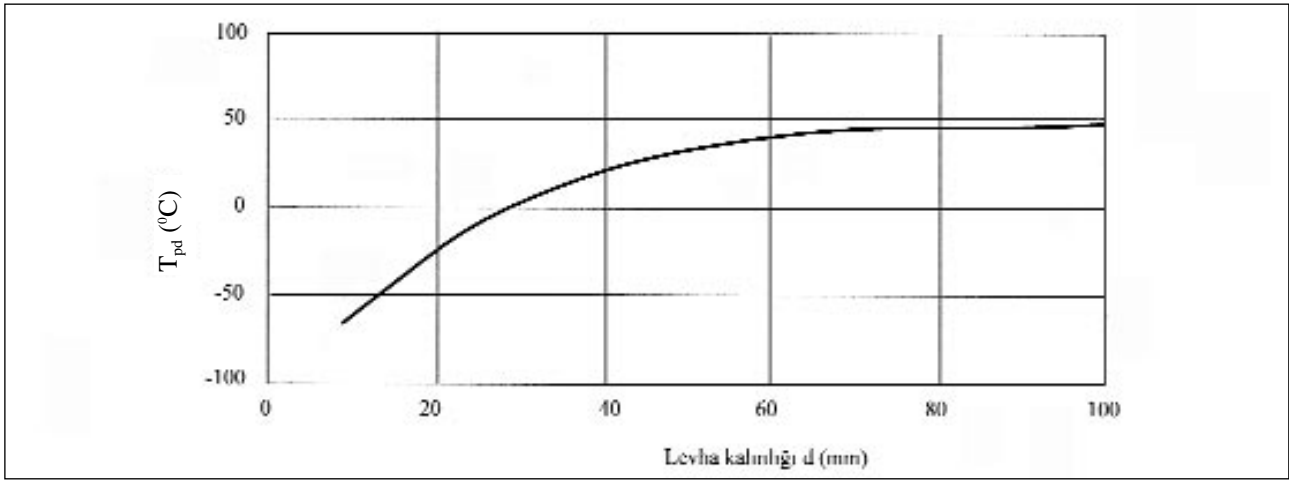


Şekil 5.21. Ön tavlama sıcaklığının karbon eşdeğeri CET ile değişimi

5.3.3.2.2. Levha Kalınlığı

Levha kalınlığı d ile ön tavlama sıcaklığı T_p arasındaki ilişki, Şekil 5.22’de görülebilir. Şekilde, ince malzeme için, levha kalınlığındaki bir değişimin ön tavlama sıcaklığında daha büyük bir değişime neden olduğu görülmektedir. Ancak malzeme kalınlığının artmasıyla bu etki azalmakta ve 60 mm’nin üzerinde çok sınırlı bir değişim görülmektedir.

$$T_{pd} = 160 \times \tanh \left(\frac{d}{35} \right) - 110 \quad (^\circ\text{C}) \quad (5.6)$$

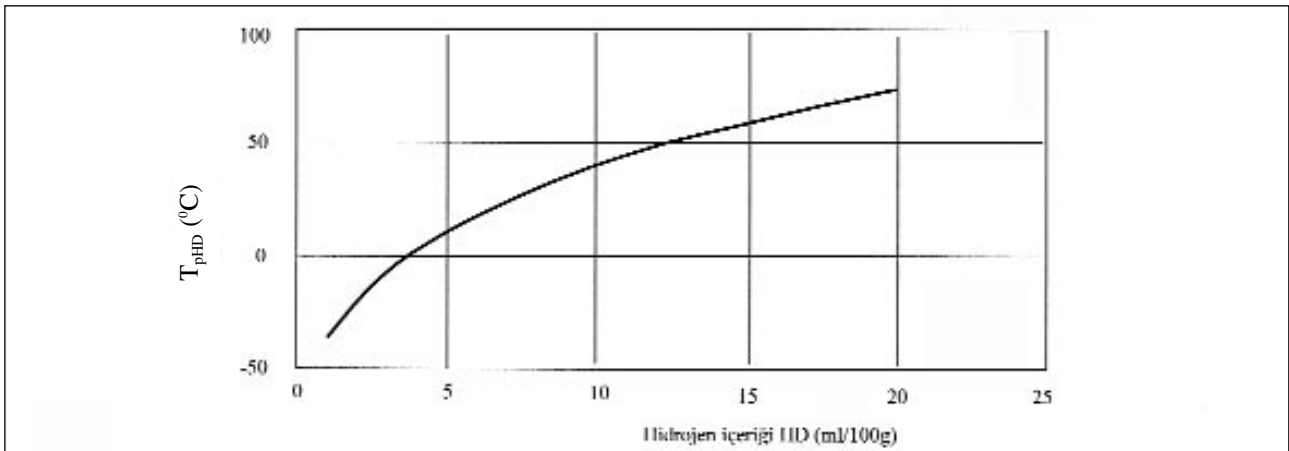


Şekil 5.22. Ön tavlama sıcaklığının levha kalınlığı d ile değişimi.

5.3.3.2.3. Hidrojen İçeriği

Kaynak metalinin hidrojen içeriği HD ’nin ön tavlama sıcaklığına etkisi, ISO 3690’la ilişkili olarak Şekil 5.23’de gösterilmiştir. Bu şekilden, hidrojen içeriğinin artışının ön tavlama sıcaklığının da artırılmasını gerektirdiği görülmektedir. Yüksek değerlere göre düşük değerlerdeki hidrojen içeriğindeki bir değişim, ön tavlama sıcaklığı üzerine daha büyük bir etkiye sahiptir.

$$T_{pHD} = 62 \times HD^{0.35} - 100 \quad (^\circ\text{C}) \quad (5.7)$$



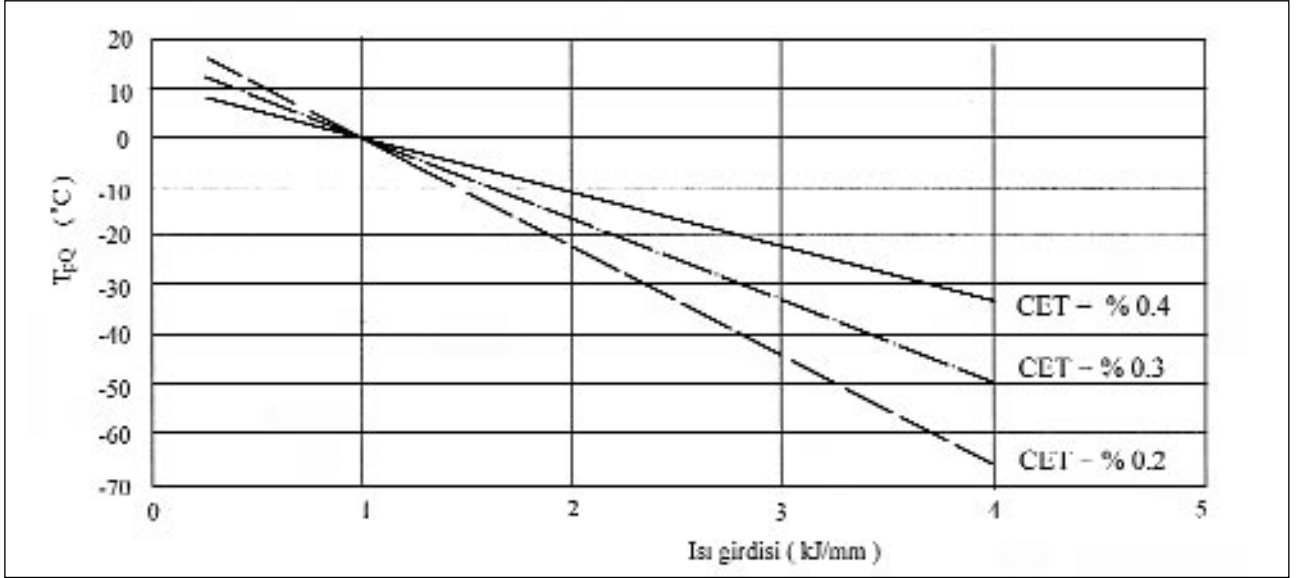
Şekil 5.23. Ön tavlama sıcaklığının, kaynak metalinin hidrojen içeriğiyle değişimi

5.3.3.2.4. Isı Girdisi

Isı girdisi Q 'nın ön tavlama sıcaklığına etkisi Şekil 5.24'de gösterilmiştir. Kaynak sırasında ısı girdisindeki bir artışın, ön tavlama sıcaklığında bir düşmeye izin verdiği görülmektedir. Ayrıca bu etki, alaşım içeriğine bağlıdır ve düşük karbon eşdeğeri için yüksek karbon eşdeğerine göre daha baskındır.

$$T_{pQ} = (53 \times CET - 32) \times Q - 53 \times CET + 32 \quad (^\circ\text{C})$$

(5.8)



Şekil 5.24. Ön tavlama sıcaklığının ısı girdisi ile değişimi

5.3.3.2.5. Artık (İç) Gerilmeler

Hali hazırda, artık gerilme seviyesi ile ön tavlama sıcaklığı arasındaki ilişki, sadece belirli bir seviyede bilinmektedir. Artık gerilmelerdeki bir artış ve gerilme halinin üç eksenli oluşu, ön tavlama sıcaklığında da bir artış yapılmasını gerektirir. T_p ön tavlama sıcaklığının hesaplanması için (5.5) denkleminin çıkarılışında, kaynak bölgesinde bulunan artık gerilmelerin, sırasıyla esas metalin ve kaynak metalinin akma mukavemetine eşit olduğu kabul edilmiştir.

5.3.3.3. Ön Tavlama Sıcaklığının Hesaplanması

Ön tavlama sıcaklığı T_p 'nin hesaplanmasında, Karbon Eşdeğeri CET ile karakterize edilen kimyasal bileşimin, levha kalınlığı d 'nin, kaynak metalinin hidrojen içeriği HD 'nin ve ısı girdisi Q 'nın etkileri aşağıdaki formülle birleştirilebilir:

$$T_p = T_{pCET} + T_{pd} + T_{pHD} + T_{pQ} \quad (^\circ\text{C})$$

(5.9)

Ön tavlama sıcaklığı, (5.10) formülüyle de hesaplanabilir:

$$T_p = 697 \times CET + 160 \times \tanh(d/35) + 62 \times HD^{0,35} + (53 \times CET - 32) \times Q - 328 \quad (^\circ\text{C}) \quad (5.10)$$

Bu ilişki, akma sınırı 1000 N/mm² (10 t/cm²)' ye kadar olan ve aşağıdaki sınırlara sahip yapı çelikleri için geçerlidir :

CET	=	% 0,2	ila	% 0,5
d	=	10 mm'den		90 mm'ye kadar
HD	=	1 ml/100g' dan		20 ml/100g' a kadar
Q	=	0,5 kJ/mm' den		4,0 kJ/mm' ye kadar

Deneyimlere göre, bu formüllerle hesaplanan ön tavlama sıcaklıkları aşağıdaki koşullar yerine getirilmişse kullanılabilir:

- Esas metalin karbon eşdeğeri CET, kaynak metalinkini en az % 0,03 aşmalıdır. Aksi halde ön tavlama sıcaklığının hesaplanması, kaynak metalinin karbon eşdeğeri CET'in % 0,03 oranında artırılmasıyla bulunmalıdır.
- Tek pasolu köşe kaynakları, puntalama dikişleri ve kök paso kaynakları en az 50 mm uzuluğunda olmalıdır. Eğer levha kalınlığı 25 mm'yi aşarsa, puntalama dikişleri ve kök pasolar yumuşak ve sünek bir kaynak metali kullanılarak iki paso halinde yapılmalıdır.
- Çok pasolu köşe kaynaklarını da içeren dolgu pasoların çekilmesinde kaynak kalınlığı, levha kalınlığının 1/3'üne ulaşmadan, pasolararası soğumaya izin verilmemelidir. Aksi halde, hidrojen içeriğinin bir son tavlama işlemi ile azaltılması gerekir.
- Kaynak sırasının, köşe kaynak dikişlerinin güçlü plastik şekil değişimlerinden kaçınacak şekilde seçilmesi gerekir.

5.3.3.4. Ön Tavlama Sıcaklığının Grafik Yolla Belirlenmesi

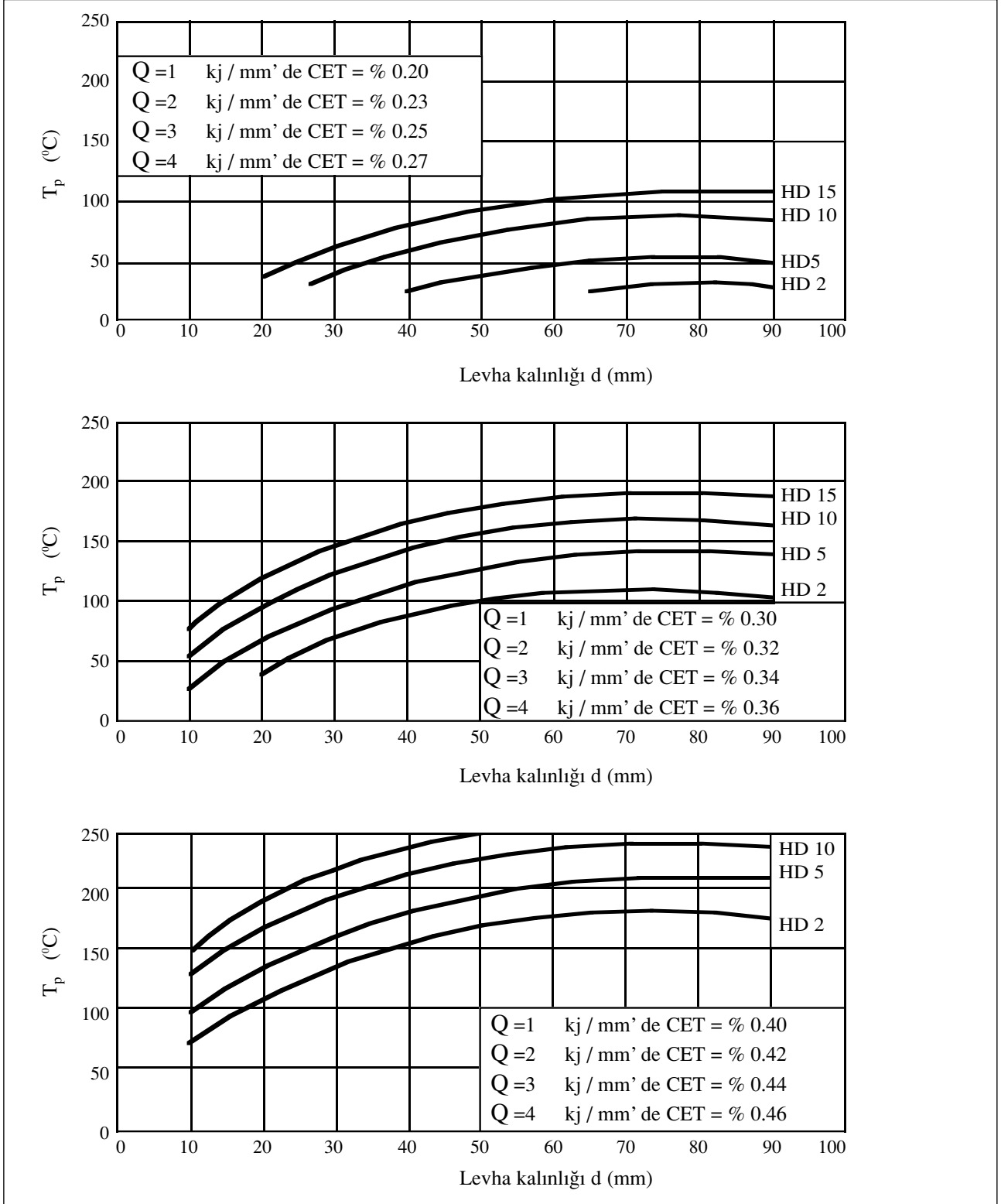
Ön tavlama sıcaklığı “T_p” ile, levha kalınlığı “d”, karbon eşdeğeri “CET” in seçilmiş bileşenleri ve ısı girdisi “Q” arasındaki ilişki, (5.10) formülüne dayalı olarak Şekil 5.25’de gösterilmiştir. Diyagramda gösterilen herbir eğri, kaynak metalinin farklı hidrojen yoğunluğu “HD” değerine uygulanmaktadır.

Eğer ön tavlama sıcaklığı karbon eşdeğeri CET ile karakterize edilen belirli bir çelik veya kaynak metali için saptanacaksa, bu durumda en yakın muhtemel CET ve ısı girdisi değerleri kullanılarak diyagram seçilmelidir. Bu diyagramdan, istenen levha kalınlığı ve hidrojen içeriği için ön tavlama sıcaklığı elde edilir.

Eğer diyagramdaki karbon eşdeğeri ve ısı girdisi, gerçek değerle uyuşmuyorsa, bulunan ön tavlama sıcaklığı doğrultulmalıdır. CET’teki her % 0,01 için 7,5°C’lik bir doğrultma yapılmalıdır. Isı girdisiyle ilgili doğrultma, Şekil 5.25’ten elde edilebilir.

5.3.3.5. Hidrojen İçeriğinin Son Tavlama ile Azaltılması

Örneğin akma sınırı 450 N/mm^2 ($4,5 \text{ t/cm}^2$)'den daha yüksek olan çeliklerin veya 30 mm 'den daha kalın levhaların tozaltı ark kaynağında olduğu gibi, artan bir soğuk çatlama riskinin olduğu durumlarda, hidrojen içeriğinin kaynaktan hemen sonra, örneğin $2 \text{ saat} / 250^\circ\text{C}$ ölçüsüyle emilerek düşürülmesi tavsiye edilir.



Şekil 5.25. Ön tavlama sıcaklığı T_p 'nin levha kalınlığı d ile değişimi.

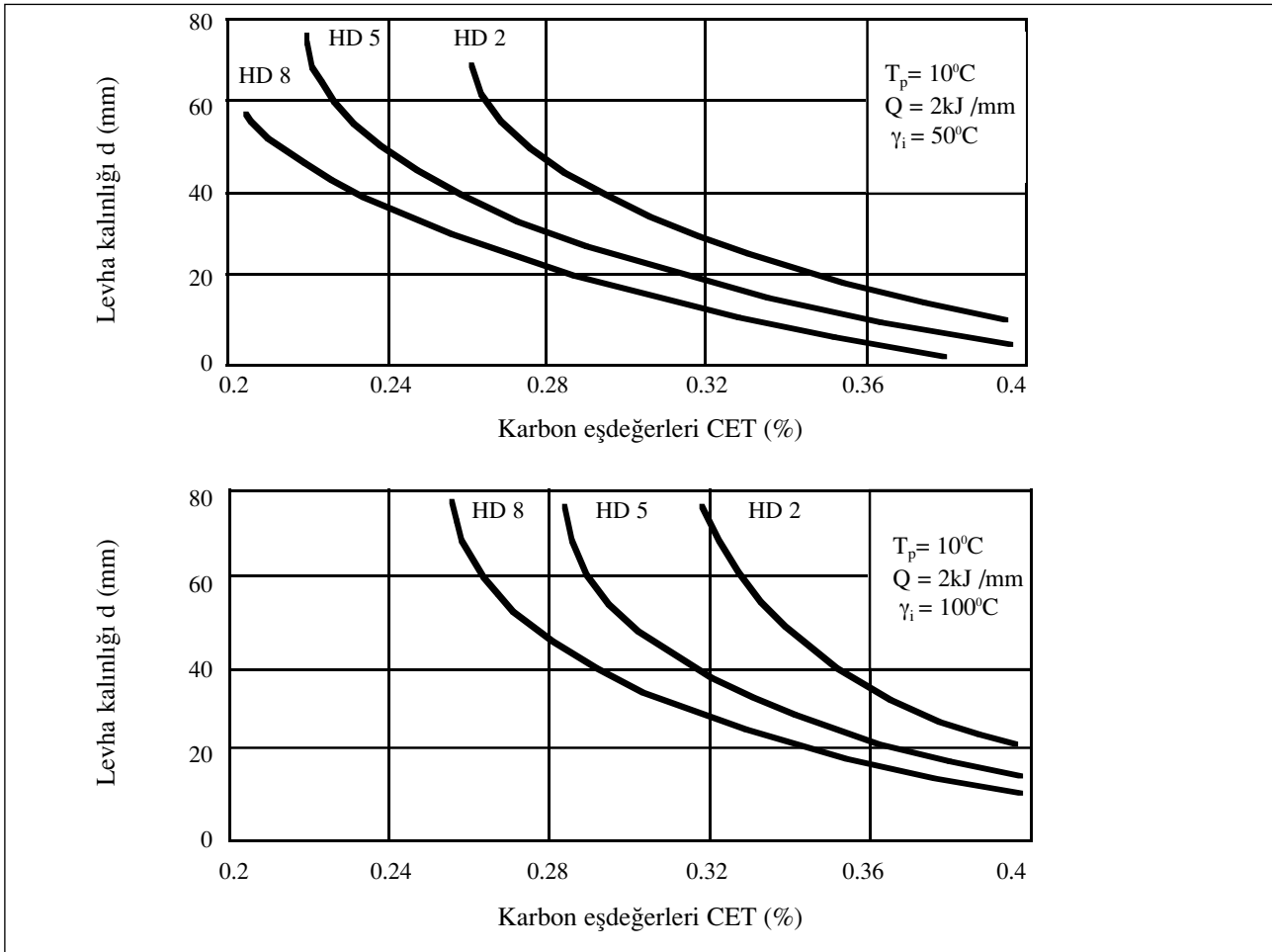
5.3.3.6. Ön Tavlama Yapmadan Kaynak

Eğer çok pasolu kaynak yapılıyorsa, uygun bir kaynak sırasının kullanımıyla yeterli yükseklikte bir “ T_i ” pasolararası sıcaklığı sürdürerek ön tavlama kaçınılabılır. Yüksek bir pasolararası sıcaklık sürdürerek ön tavlama kaçınılması olasılığı, sadece imalatın sınırlı koşullarına değil, aynı zamanda kaynak yapılan çeliğin karbon içeriğine, diğer bir deyişle CET’e ve ön tavlama sıcaklığına bağlıdır.

Ayrıca karbona kıyasla diğer elementlerin değerlendirilmesinin, CE ile CET arasındaki büyük fark olduğu vurgulanmalıdır. Bu nedenle CET değerlerinin CE değerlerine veya CE değerlerinin CET değerlerine dönüştürülmesi tavsiye edilmez.

Şekil 5.26’da uygun bir kaynak sırası ile normal olarak 50°C veya 100°C’lik bir pasolararası sıcaklığı koruyarak, ön tavlama kaçınabilmek için kaynak metalinin hidrojen içeriği ve çeliğin alaşım içeriğine bağlı olarak, levha kalınlığı hakkında bilgi verilmektedir.

Yeterli ön tavlama sıcaklığının pratikte uygulanamayacağı durumlarda, ostenitik veya Ni-esaslı ilave malzemelerin kullanılması tavsiye edilir. Bu durumda, kaynaklı birleşimde nisbeten düşük artık gerilme seviyeleri ve ostenitik kaynak metalinde hidrojenin daha iyi çözünebilmesi nedeniyle, ön tavlama uygulamasından kaçınılabılır.



Şekil 5.26. 50°C ve 100°C'lik minimum pasolararası sıcaklıkları için CET'in fonksiyonu olarak ön tavlama olmaksızın kaynak için sınır levha kalınlıkları

5.4. Isının Tesiri Altındaki Bölgenin (ITAB) Tokluğu ve Sertliği

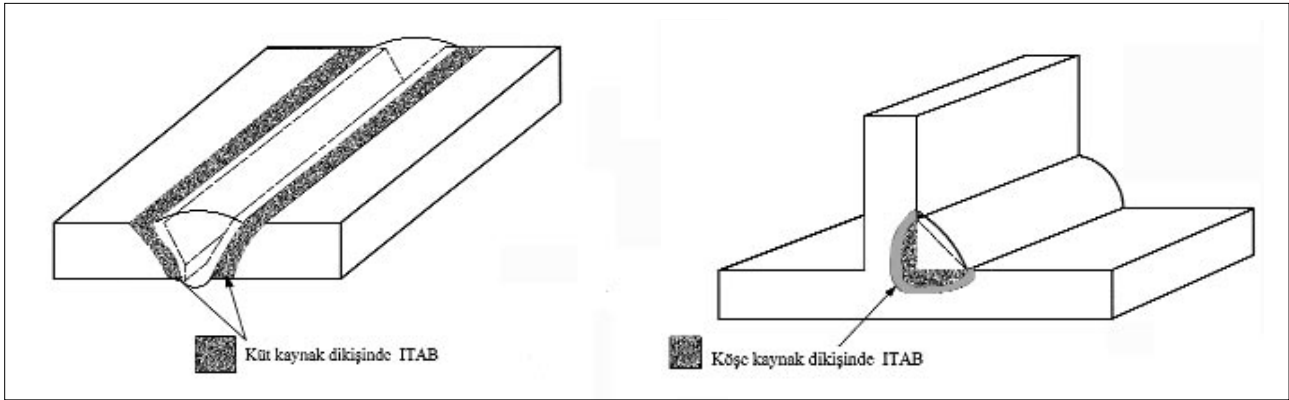
5.4.1. Genel

Bu bölümde kaynak koşullarının kaynak sırasında oluşan zaman/sıcaklık çevrimleri ve ITAB'daki mekanik özellikler üzerine etkileri tanımlanmaktadır.

5.4.2. Ferritik Çeliklerin Temel Davranışı

Ferritik çeliklerin kaynağı, kaynak dikişini oluşturan ısı tarafından çeliğin orijinal mikroyapısında değiştirilmiş bir bölge meydana getirir (bkz. Şekil 5.27). Mikroyapıya bağlı olarak, çeliğin tokluk ve sertlik değerleri de değişmiş olabilir.

ITAB'daki mikroyapının değişmesi, esas olarak esas metalin kimyasal bileşimine ve kaynak sırasında oluşan sıcaklık/zaman çevrimlerine bağlıdır.



Şekil 5.27. Küt ve köşe kaynak dikişlerinde Isının Tesiri Altındaki Bölge (ITAB).

5.4.3. Çelik Cinsinin Etkisi

ITAB'ın mikroyapısı ve tokluğu arasındaki ilişki, şu şekilde kabul edilir: Tokluk, tane boyutunun artışıyla düşer ve sert martenzitik ve beyritik mikroyapı bileşenlerinin miktarı artar.

Kaynak sırasında ostenit tane büyümesini sınırlayan herhangi bir element içermeyen C ve C-Mn çeliklerinde genellikle sadece soğuma süresinin sınırlanması, ITAB'da yeterli tokluğu oluşturmak için gereklidir.

Mikro alaşımlı C - Mn çelikleri halinde, yüksek sıcaklıkta kararlı karbür ve nitrür çökeltileri oluşturabilecek elementlerin dikkatle seçilmiş bir kombinasyonu, ostenit tane büyüklüğünün sınırlanmasını ve ostenitin dönüşümü sırasında tane içi ferrit çekirdeklenmesinin desteklenmesini mümkün kılar. Bu nedenle bu tür çelikler, ITAB – ısı tesiri altında kalan bölgesinde mevcut tokluk değerlerinin düşmesine karşı daha az hassastırlar.

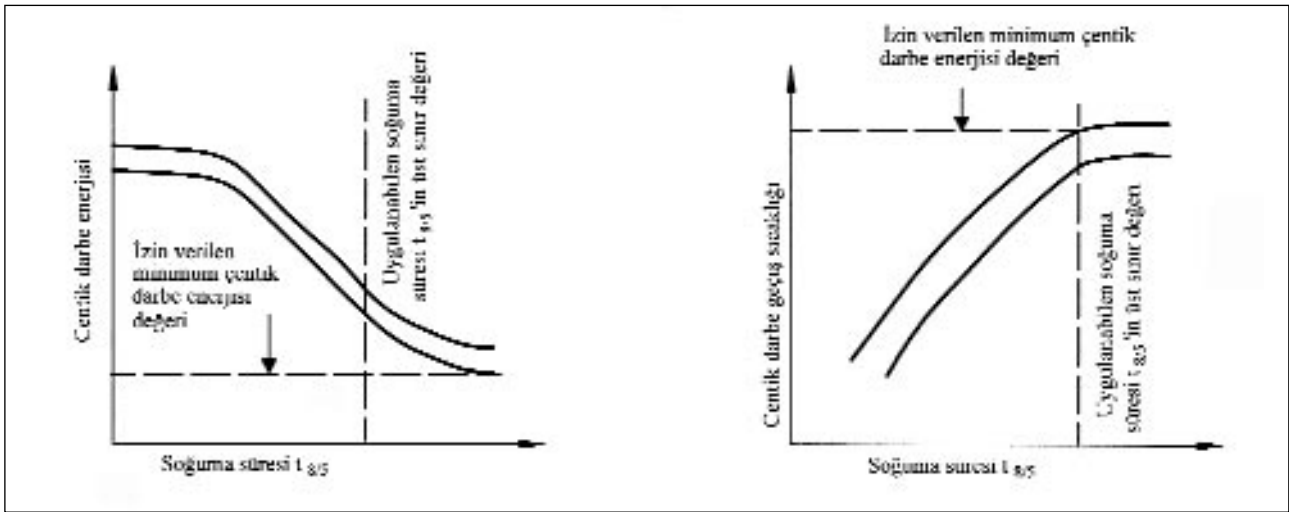
Düşük alaşımlı çelikler, örneğin su verilmiş ve temperlenmiş, sünmeye dayanıklı ve düşük sıcaklık çelikleri, ayrıca Ni alaşımlı çelikler kimyasal bileşimlerine göre davranırlar. Ancak ortak bir davranışa sahip değildirlar.

5.4.4. Kaynak Koşullarının Mekanik Özelliklere Etkisi

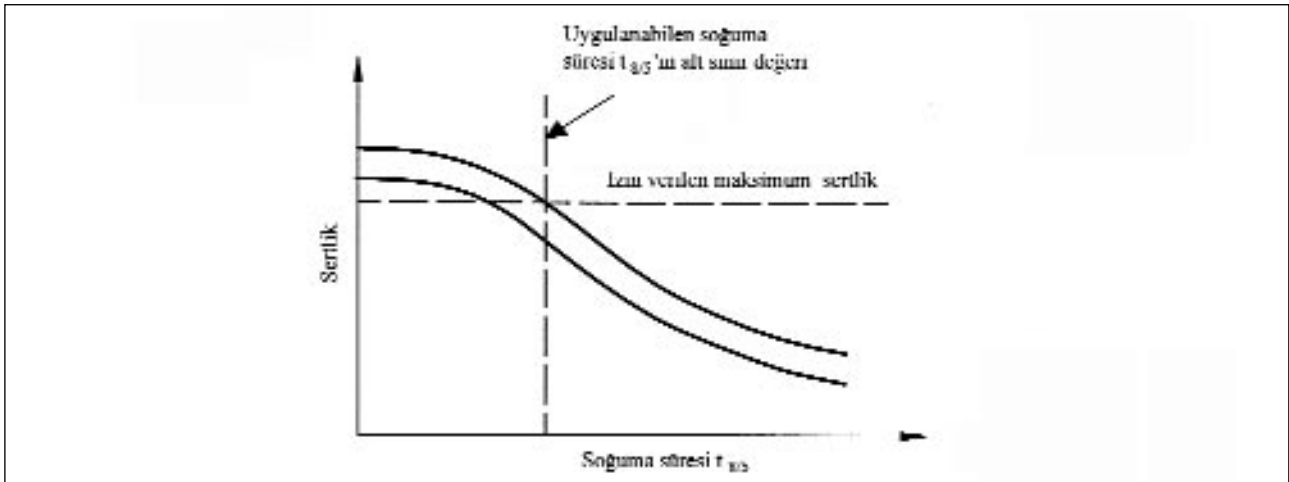
Kaynak sırasındaki sıcaklık/zaman çevrimleri, kaynaklı bir birleşimin mekanik özellikleri üzerinde çok önemli etkiye sahiptir. Bunlar, özellikle malzeme kalınlığı, kaynağın şekli, kaynak sırasındaki ısı girdisi ve ön tavlama sıcaklığıdır. Genel olarak, kaynak sırasında belirli bir kaynak pasosunun sıcaklık/zaman çevrimini karakterize etmek üzere $t_{8/5}$ - soğuma süresi seçilir ve soğuma sırasında bir kaynak pasosunun ve bu pasonun ITAB'ının sıcaklığının 800°C'den 500°C'ye düşmesi için geçen süre alınır (bkz. Madde 5.4.5).

Genel olarak $t_{8/5}$ - soğuma süresinin artan değerleri, çentik darbe enerjisinin düşmesine ve ITAB'ın çentik darbe geçiş sıcaklığının yükselmesine yol açar (bkz. Şekil 5.28). Tokluğun azalmasındaki artış, çelik cinsine ve o çeliğin kimyasal bileşimine bağlıdır.

ITAB'daki sertlik, artan $t_{8/5}$ - soğuma süresi ile azalır (bkz. Şekil 5.29).



Şekil 5.28. Kaynak koşullarının
(a) çentik darbe tokluğuna ve
(b) ITAB'daki T_t geçiş sıcaklığına etkisi



Şekil 5.29. Soğuma süresinin sertliğe etkisi

5.4.5. Soğuma Süresi Kavramı

Belirli bir çelik için ITAB'daki çentik darbe enerjisi, önceden belirlenmiş bir minimum değerin altına düşmemişse, kaynak koşulları $t_{8/5}$ - soğuma süresi aşılmayacak şekilde seçilmiş demektir. Eğer belirli bir çelik cinsi için ITAB'daki önceden belirlenmiş sertlik değeri aşılmamışsa, bu durumda kaynak koşulları $t_{8/5}$ - soğuma süresi belirli bir değerin altına düşmeyecek şekilde seçilmiş demektir. Bu yaklaşımın uygulanabilmesi için, sözkonusu çelik cinsi için çentik darbe enerjisi, çentik darbe geçiş sıcaklığı ve sertlik derecesine karşı gelen eğrilerin $t_{8/5}$ - soğuma süresinin bir fonksiyonu olarak biliniyor olması gerekir.

Yüksek mukavemetli alaşımsız ve düşük alaşımlı ferritik çelikler için dolgu ve kaplama pasolarının uygun $t_{8/5}$ - soğuma süreleri genel olarak **10 saniye** ile **25 saniye** arasındadır. Bu çeliklere yapılacak kaynak işlemlerinin, eğer herbir durumda

- a) EN 288-3'e göre bir kaynak prosedür testi yapılmışsa, veya
- b) EN 288-5'e göre imalattan önceki testler yapılmışsa veya
- c) EN 288-8'e göre yapı elemanının yapısal gereklilikleri yerine getirilmişse,

başka $t_{8/5}$ - soğuma süreleriyle kaynak yapılmalarını engelleyecek herhangi bir durum söz konusu değildir.

Eğer çentik darbe enerjisinin, çentik darbe geçiş sıcaklığının ve sertliğin, $t_{8/5}$ - soğuma süresiyle değişimini gösteren eğriler mevcut değilse, EN 288-3 veya EN 288-8'e göre kaynak prosedür testlerinin yapılması tavsiye edilir. EN 288-3'e göre kaynak prosedür testlerinin nasıl yapılacağı, bu standardın 4. Bölüm'ünde anlatılmıştır.

5.4.6. Soğuma Süresinin Hesaplanması

Kaynak koşulları ile soğuma süresi arasındaki ilişki denklemlerle tanımlanabilir, ancak iki boyutlu ile üç boyutlu ısı akışı arasında bir fark oluşturulmalıdır (bkz. Şekil 5.30 ve 5.31).

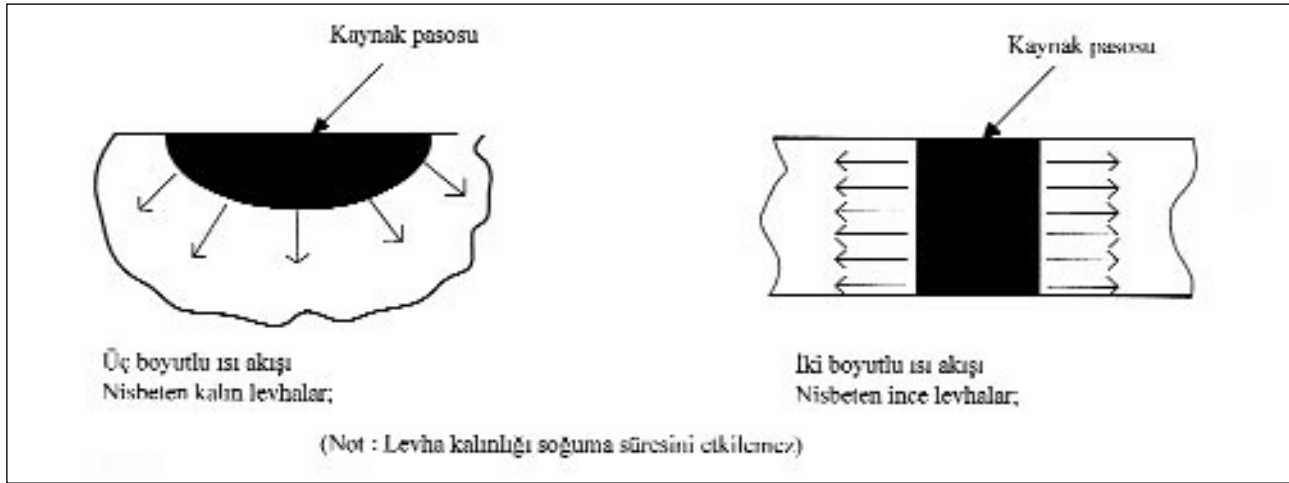
Şekil 5.31 herhangi bir kaynak yöntemi ve herhangi bir kaynak türü için geçiş kalınlığı d_t , ısı girdisi Q ve ön tavlama sıcaklığı T_p arasındaki ilişkiye dair bilgi sağlayan bir diyagramdır.

Bu diyagram belirli bir malzeme kalınlığı, ısı girdisi ve ön tavlama sıcaklığı bileşimi için ısı girdisinin iki boyutlu mu, yoksa üç boyutlu mu olduğunu işaret etmektedir.

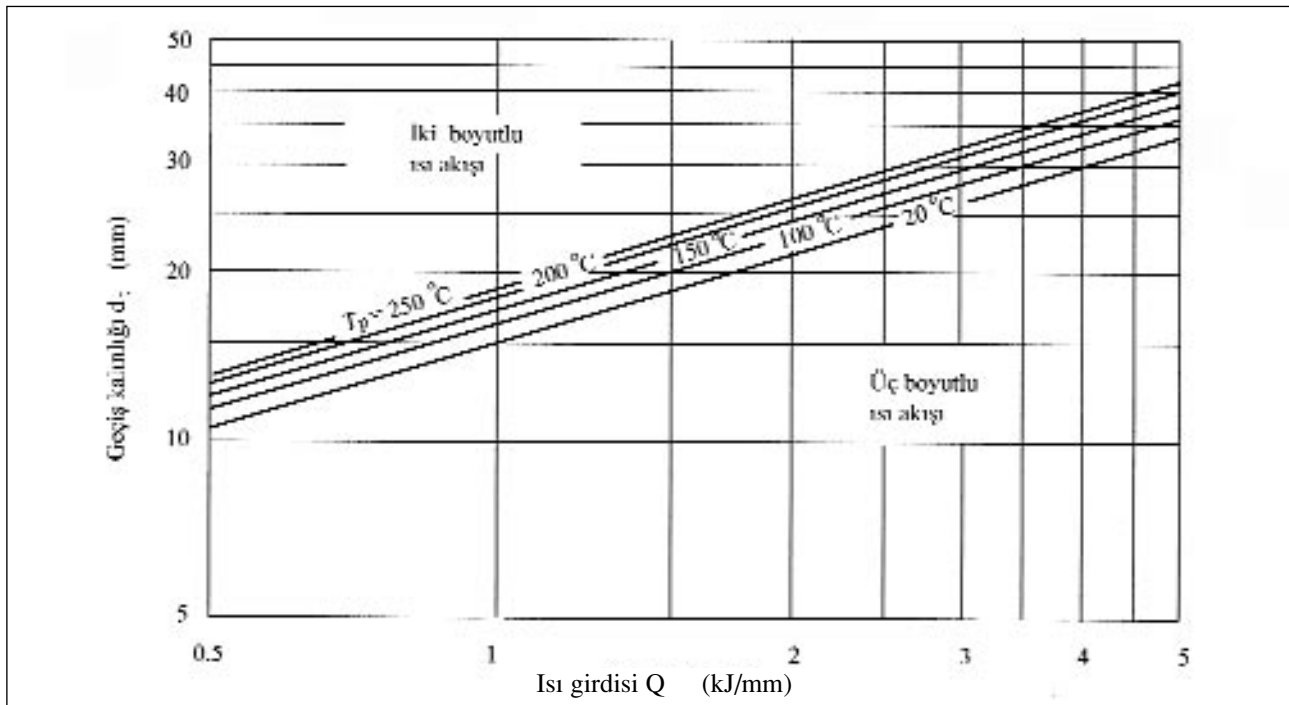
Isı akışı üç boyutlu ve soğuma süresi malzeme kalınlığından bağımsız olduğunda, $t_{8/5}$ - soğuma süresi, (5.11) formülü kullanılarak hesaplanır :

$$t_{8/5} = \frac{Q}{2\pi\lambda} \times \left(\frac{1}{500 - T_0} - \frac{1}{800 - T_0} \right) \quad (5.11)$$

Burada T_0 başlangıç sıcaklığı olup, λ ise ısı iletkenlik katsayısıdır (bkz. Tablo 5.1).



Şekil 5.30. Kaynak sırasındaki ısı akış türleri



Şekil 5.31. Farklı ön tavlama sıcaklıklarına göre ısı girdisinin fonksiyonu olarak iki boyutlu ısı akışından üç boyutlu ısı akışına geçişte levha kalınlıkları ve profil et kalınlığı

Alaşımsız ve düşük alaşımlı çelikler için (5.11) formülü, Tablo 5.17'deki uygun F_3 - form faktörünü kullanarak uygun hale gelir (bkz. (5.12) formülü) :

$$t_{8/5} = (6700 - 5 T_0) \times Q \times \left(\frac{1}{500 - T_0} - \frac{1}{800 - T_0} \right) \times F_3 \quad (5.12)$$

Isı akışı iki boyutlu ve soğuma süresi malzeme kalınlığına bağlı olduğundan, (5.13) formülü kullanılarak hesaplanır :

$$t_{8/5} = \frac{Q}{4\pi\lambda\rho cd^2} \times \left(\frac{1}{(500 - T_0)^2} - \frac{1}{(800 - T_0)^2} \right) \quad (5.13)$$

Burada ρ yoğunluk, c özgül ısı kapasitesi, d ise malzeme kalınlığıdır (bkz. Tablo 5.1).

Alaşımsız ve düşük alaşımlı çelikler için (5.13) formülü, Tablo 5.17'deki uygun F_2 - form faktörünü kullanarak (5.14) formülüne dönüşür :

$$t_{8/5} = (4300 - 4,3 T_0) \times 10^5 \times \frac{Q^2}{d^2} \times \left[\left(\frac{1}{500 - T_0} \right)^2 - \left(\frac{1}{800 - T_0} \right)^2 \right] \times F \quad (5.14)$$

$$Q = k \times E = k \times U \times I / v \times 1000 \quad (\text{kJ/mm}) \quad (5.15)$$

Burada:

U	ark gerilimi	[Volt]
I	ark kaynak akımı	[Amper]
v	kaynak hızı	[mm/s]
k	kaynak prosedürünün ısı verimi (ısı verim faktörü):	

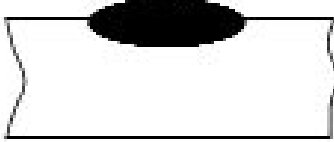
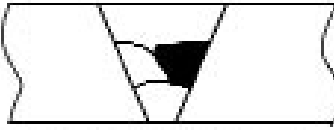
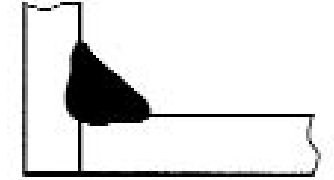
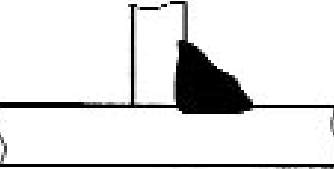
- Tozaltı kaynağında (121) $k = 1,0$
- Elektrik ark kaynağında (111) $k = 0,85$
- MAG kaynağında (135) $k = 0,85$ 'tir.

5.4.7. Soğuma Süresi $t_{8/5}$ 'in Saptanmasında Kullanılacak Diyagramlar

Belirlenmiş bir Q ısı girdisi için $t_{8/5}$ - soğuma süresi veya belirlenmiş bir soğuma süresi için ısı girdisi, ilk önce Şekil 5.26'yı kullanarak ısı akış türünün belirlenmesinden sonra, Şekil 5.32 ve 5.33'e dayanarak saptanabilir.

Üç boyutlu ısı akışı halinde $t_{8/5}$ - soğuma süresi, Q ısı girdisi ve T_p ön tavlama sıcaklığı arasındaki ilişki, bir levha üzerindeki kör paso için (5.11) formülünün oluşturduğu temele dayanarak Şekil 5.32'de verilmiştir. Eğer bu diyagram diğer kaynak türlerine uygulanacaksa, bu durumda bunlara karşı gelen F_3 - form faktörüne dikkat edilmelidir. Eğer belirli bir ısı girdisi ve ön tavlama

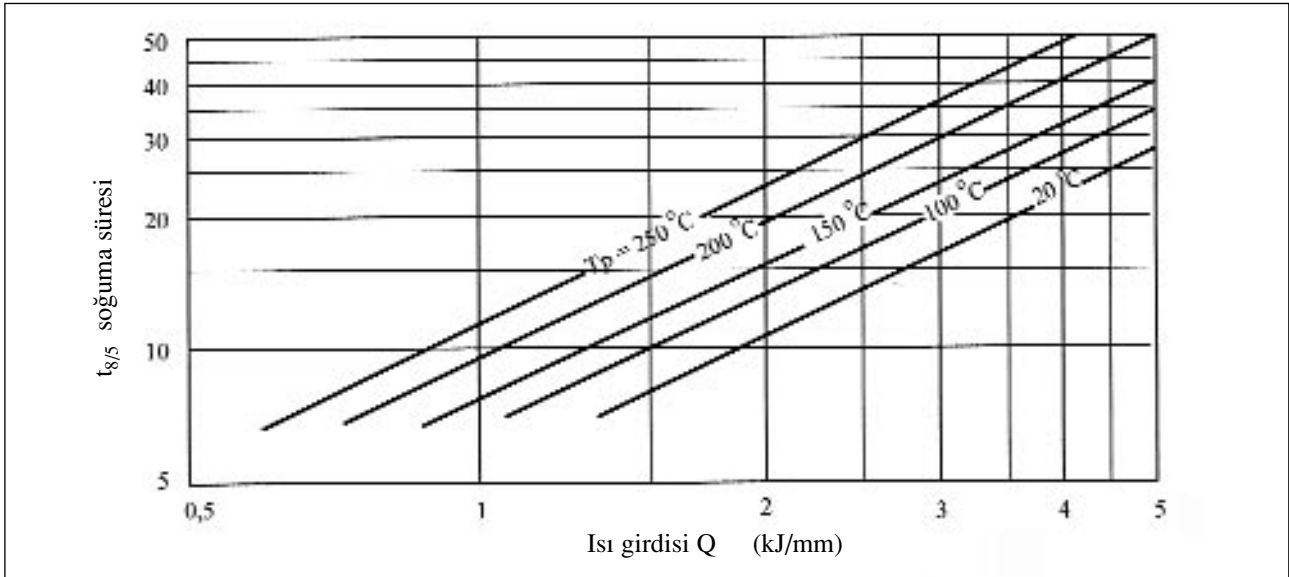
Tablo 5.17. Kaynak formunun, soğuma süresi $t_{8/5}$ 'e etkisi

Kaynağın formu		Form faktörü	
		F_2 (iki boyutlu ısı akışı)	F_3 (üç boyutlu ısı akışı)
Levha üzerinde kör paso		1	1
Küt kaynakta ara paso		0.9	0.9
Bir köşe birleşimde tek pasolu köşe kaynak dikişi		0.9 ila 0.67	0.67
Bir T- birleşimde tek pasolu köşe kaynak dikişi		0.45 ila 0.67	0.67

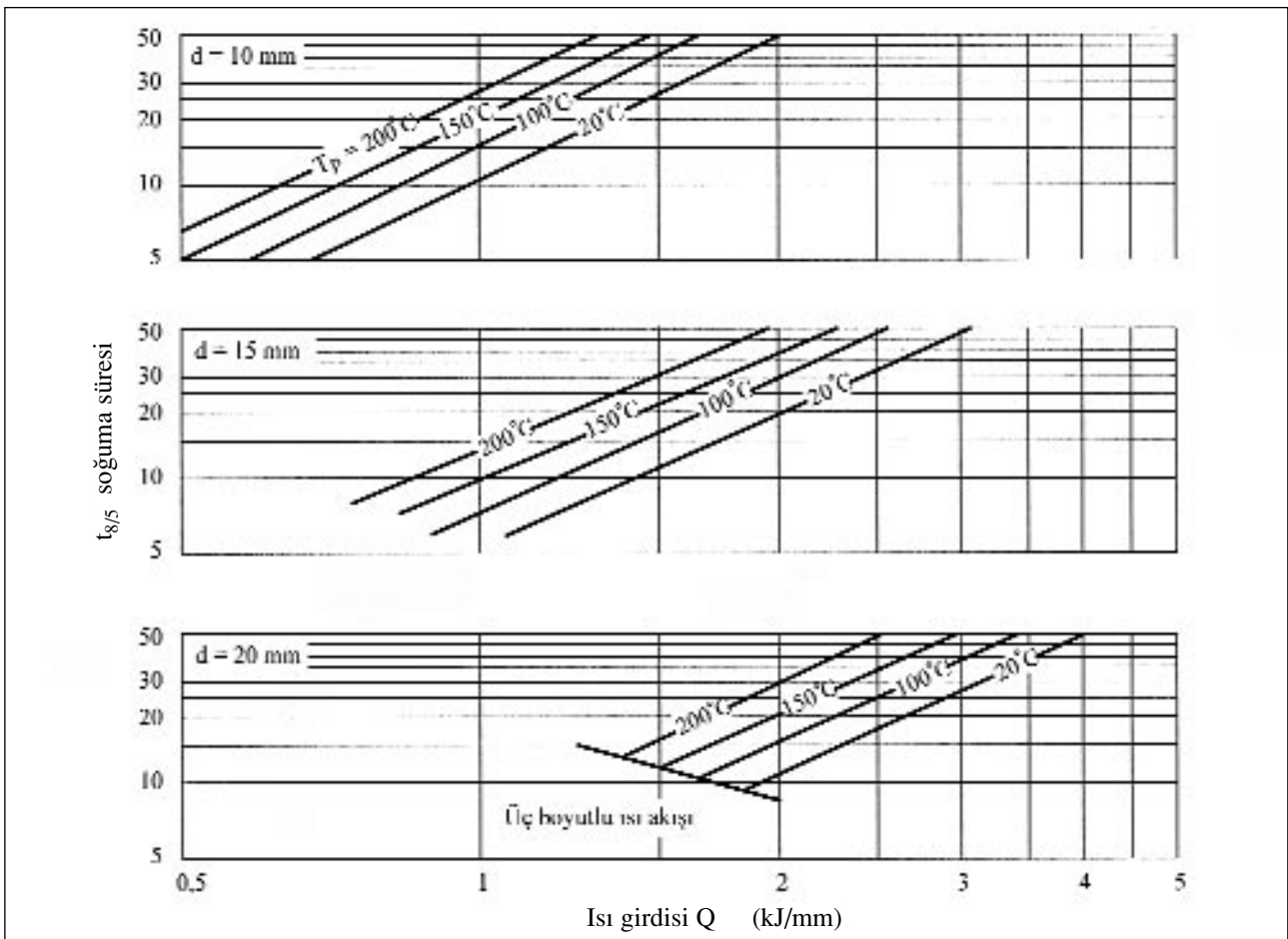
sıcaklığı bileşimi için soğuma süresi saptanacaksa, bu durumda ısı girdisi ilk olarak F_3 ile çarpılmalıdır. Ancak bunun tersine, eğer önceden belirlenmiş bir soğuma süresi ve ön tavlama sıcaklığı için ısı girdisi diyagramdan alınacaksa, bu durumda bu değer F_3 'e bölünmelidir.

İki boyutlu ısı akışı halinde soğuma süresi ile Q arasındaki ilişkiyle ilgili bilgi, (5.13) denkleminde dayalı olarak çizilen Şekil 5.33'de farklı malzeme kalınlıkları için verilmiştir. Eğer bu diyagramlar diğer kaynak türlerine uygulanacaksa, bunlara karşı gelen F_2 - form faktörlerine dikkat edilmelidir. Örneğin eğer belirli bir ısı girdisi ve ön tavlama sıcaklığı için soğuma süresi saptanacaksa, bu durumda ısı girdisi ilk olarak $\sqrt{F_2}$ ile çarpılmalıdır. Ancak bunun tersine, eğer ısı girdisi önceden belirlenmiş bir soğuma süresi ve ön tavlama sıcaklığı için diyagramdan ısı girdisi belirlenecekse, bu durumda bu değer $\sqrt{F_2}$ ile bölünmelidir.

Üç boyutlu ısı akışı halinde, söz konusu levha kalınlığı Şekil 5.33'de verilenlere tam olarak uymuyorsa, gerçek levha kalınlığına en yakın diyagram kullanılmalıdır. Bu durumda soğuma süresi, levha kalınlık oranıyla orantılı olarak düzeltilmelidir. Bunu yapmak için, diyagramdan alınan soğuma süresi, diyagramdan alınan levha kalınlığının karesi ile çarpılır ve söz konusu levha kalınlığının karesine bölünür.



Şekil 5.32. Farklı ön tavlama sıcaklıkları için ısı girdisinin bir fonksiyonu olarak üç boyutlu ısı akışı için $t_{8/5}$ soğuma süresi



Şekil 5.33. Farklı ön tavlama sıcaklıkları için ısı girdisinin fonksiyonu olarak iki boyutlu ısı akışı için $t_{8/5}$ soğuma süresi

5.4.8. Soğuma Süresinin Hesaplanması

Bir kaynağın soğuma süresini ölçmek için, bir termokupl normal olarak eriyik halindeyken kaynak metaline daldırılır ve sıcaklık/zaman (T/t) çevrimi kaydedilir. T/t eğrisinden soğuma süresi çıkarılır.

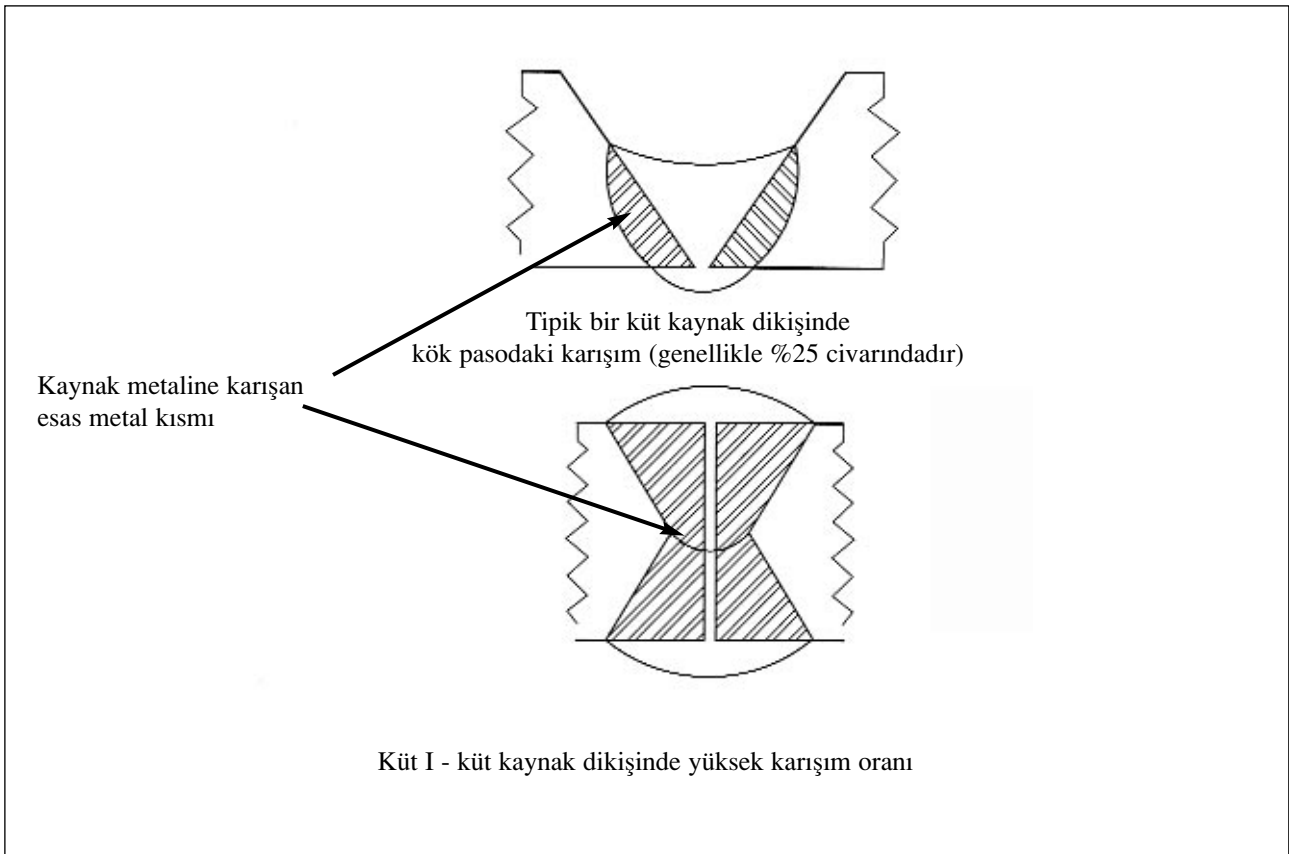
5.5. Katılaşma Çatlamasından Kaçınma

Kaynak metalinin katılaşma çatlama genellikle merkez hattı çatlama olarak oluşur. Bu duruma daha çok kök pasolarda rastlanır ve genellikle yüzeye açılmasına ve cürufun uzaklaştırılmasından sonra görünmesine rağmen, yüzeyin hemen altında ve 0,5 mm kalınlığındaki sağlam metalle kaplı olabilir. Katılaşma çatlakları derin olabilir ve bir birleşimin yük taşıma kapasitesini ciddi şekilde düşürür. Karbon - manganez çeliklerini kaynak yaparken bu tip çatlama genellikle tozaltı ark kaynaklarında, nadiren elle yapılan elektrik ark kaynağında rastlanır. Ancak bazen de gazaltı kaynaklarında ve özlü telle yapılan kaynaklarda da sorun olabilir.

Katılaşma çatlama, özellikle kükürt ve fosfor gibi safiyetsizlik elementleriyle ilgilidir ve yüksek karışma seviyelerinde, esas metalden karbon girişiyle desteklenir. Manganez ise çatlama riskini azaltır.

Safiyetsizlik seviyeleri ve çatlama hassasiyeti, genellikle küt kaynak dikişlerindeki kök paso gibi karışma oranının yüksek olduğu kaynak pasolarında en büyüktür (bkz. Şekil 5.34).

(Not : Karışma = esas metalin kaynak metaline karışım oranı (bkz. Şekil 5.34)).



Şekil 5.34. Kaynak dikişlerinde karışma.

Çatlama riskini en aza indirmek için, düşük karbonlu ve safiyetsizlik seviyeli ve nispeten yüksek manganez içerikli ilave malzemeler yeğlenir. Kaynak hızındaki bir azaltma da, çatlamanın üstesinden gelinmesine yardımcı olabilir.

Kaynak metalinin katılma çatlamasına hassasiyeti, hem kimyasal bileşiminden hem de kaynak pasosunun geometrisinden (derinlik/genişlik oranı) etkilenir. Kaynak metalinin kimyasal bileşimi, ilave malzemenin ve esas metalin kimyasal bileşiminden ve karışma oranından etkilenir. Karışma oranı, ayrıca kaynak paso geometrisi, her ikisi de birleşim geometrisine (ağız açısı (bkz. Şekil 1.2b,c – 21 numara) , kök alın yüksekliği (bkz. Şekil 1.2b,c,d – 12 numara) ve kök genişliği (bkz. Şekil 1.6a – 27 numara) ve kaynak parametrelerine (akım ve gerilim) bağlıdır.

Karbon ve Karbon-Manganez çeliklerinin tozaltı ark kaynakları için katılma çatlak hassasiyetini, Çatlak Hassasiyet Birimi UCS olarak bilinen birim cinsinden kaynak metalinin kimyasal bileşimine göre tarif eden bir formül geliştirilmiştir. Tozaltı ark kaynağı için geliştirilmiş olmasına rağmen bu formülün kullanımı, diğer kaynak yöntemleri ve diğer ferritik çelikler için de faydalı olabilir. Formül aşağıdaki gibidir :

$$UCS = 230 C + 190 S + 75 P + 45 Nb - 12,3 Si - 5,4 Mn - 1$$

(5.16)

Bu formül, Tablo 5.18’de verilen kaynak metali bileşimleri için geçerlidir.

Kaynak metalinde Tablo 5.19’da verilen sınır değerlere kadar alaşım elementleri ve safiyetsizlikler, UCS’nin değerleri üzerine önemli bir etki yapmazlar.

Tablo 5.18. Katılma çatlaması için UCS formülünün geçerliliği

Alaşım Elementi	% cinsinden içerik
C	0,030 ^{a)} ila 0,230
S	0,010 ila 0,050
P	0,010 ila 0,045
Si	0,150 ila 0,650
Mn	0,450 ila 1,600
Nb	0 ila 0,070
^{a)} % 0,08’den daha düşük içerikler, % 0,08’e eşit alınmalıdır.	

Tablo 5.19. UCS formülünün geçerliliği üzerine alaşım elementlerinin ve safiyetsizliklerin sınırları.

Alaşım Elementi	% cinsinden içerik
Ni	1,000
Cr	0,500
Mo	0,400
V	0,070
Cu	0,300
Ti	0,020
Al	0,030
B	0,002
Pb	0,010
Co	0,030

10 UCS'den daha düşük değerler, çatlamaya yüksek bir direnci gösterir; 30'un üzerinde olması ise, düşük bir dirence işaret eder. Bu yaklaşık sınırlar arasında çatlama riski, yüksek kaynak hızlarında oluşan yüksek derinlik/genişlik oranına sahip kaynak dikişlerinde veya maksimum izin verilebilir sınıra yakın olanlarda daha yüksektir.

% 1'e kadar nikel değeri UCS değerleri üzerine etki yapmazken, daha yüksek nikel seviyeleri katılaşma çatlamasına hassasiyeti artırabilir.

Derinlik/genişlik oranı yaklaşık 1.0 olan köşe kaynak dikişleri için 20 ve daha üstündeki UCS değerleri, çatlama riskine işaret eder. Oysa küt kaynak dikişleri için yaklaşık 25 UCS değeri kritiktir. Köşe kaynak dikişlerinde derinlik/genişlik oranını 1,0 den 0,8'e düşürmek, izin verilebilen UCS'yi 9 arttırabilir. Ancak kök içinde nüfuziyet oluşturmeyen çok düşük derinlik/genişlik oranları, çatlamayı da desteklerler.

5.6. Lameler Yırtılmadan Kaçınma

5.6.1. Genel

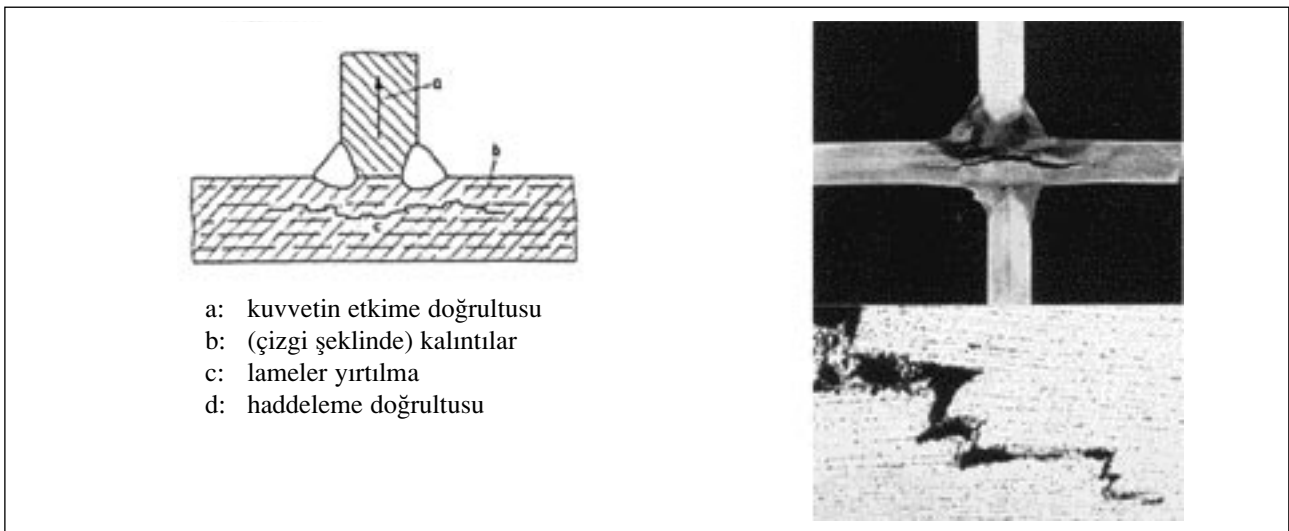
Kaynak büzülme şekil değiştirmelerinin, bir levhada kalınlık yönünde (enine) etkidiği belirli birleşim türlerinde lameler yırtılma oluşabilir (bkz. Şekil 5.35).

Lameler yırtılma, esas olarak levha şeklindeki malzemelerde meydana gelen, bir esas metal olayıdır. Çatlama riski iki faktörden etkilenir:

- a) Levhanın hassasiyeti ve
- b) Birleşim boyunca şekil değişimi.

Çok hassas levha malzemelerde eğer şekil değiştirmeler düşükse, diğer bir deyişle birleşim az miktarda sınırlanmışsa dahi yırtılma oluşabilir. Daha dirençli malzemeler, kalınlık boyunca şekil değişimlerine maruz kalmadıkları sürece yırtılmayabilirler.

Lameler yırtılma, esas olarak servis sırasında değil, imalat sırasında oluşur. Servis sırasında oluşumunda, periyodik tekrarlı yükler veya darbeli yükler ana nedenleri oluştururlar.



Şekil 5.35. Bir haçvari birleşimde lameler yırtılmanın görünüşü ve şematik gösterilişi
Üstte: Makro kesit; Altta: Mikro kesit (150:1; baskıda 0.80 küçültülmüş)

5.6.2. Levha Hassasiyeti

Lameler yırtılma, kaynak şekil değiştirmelerinin etkisi altında, bir levhadaki metal dışı safiyetsizliklerin birbirine birleştirilmesiyle oluştuğundan, levha hassasiyeti safiyetsizliklerin miktarı ve dağılımı tarafından kontrol edilir. Hassasiyetin belirlenmesinde, kısa enine çekme deneyi (bkz. EN 10164) kullanılabilir ve kısa enine enkesit alanı büzülmesi (STRA : Short transverse reduction of area), farklı imalat türlerinde lameler yırtılmanın varlığıyla ilişkilidir (bkz. Şekil 5.36).

Düşük oksijenli çelikler halinde (alüminyumla gazı alınmış veya vakuumda gazı giderilmiş türler) kükürt içeriği, safiyetsizlik içeriğine ve dolayısıyla STRA'ya dair faydalı bir kılavuz olarak bulunmuştur.

Şekil 5.37, belirli bir kükürt içeriği için alüminyumla gazı alınmış çelikte beklenen en yüksek ve en düşük STRA değerlerini vermektedir. Buradaki veriler, 12,5 mm ila 50 mm kalınlığındaki levhalara aittir; ancak STRA (% cinsinden) ile kükürt içeriği (% cinsinden) arasındaki ilişkinin, biraz da kalınlığa bağlı olduğuna işaret edilmelidir.

% 20'den daha büyük STRA değerleri veren çelikler, lameler yırtılmaya dirençli olarak kabul edilir. STRA değerleri garanti edilmiş malzemeler de mevcuttur (bkz. EN 10164).

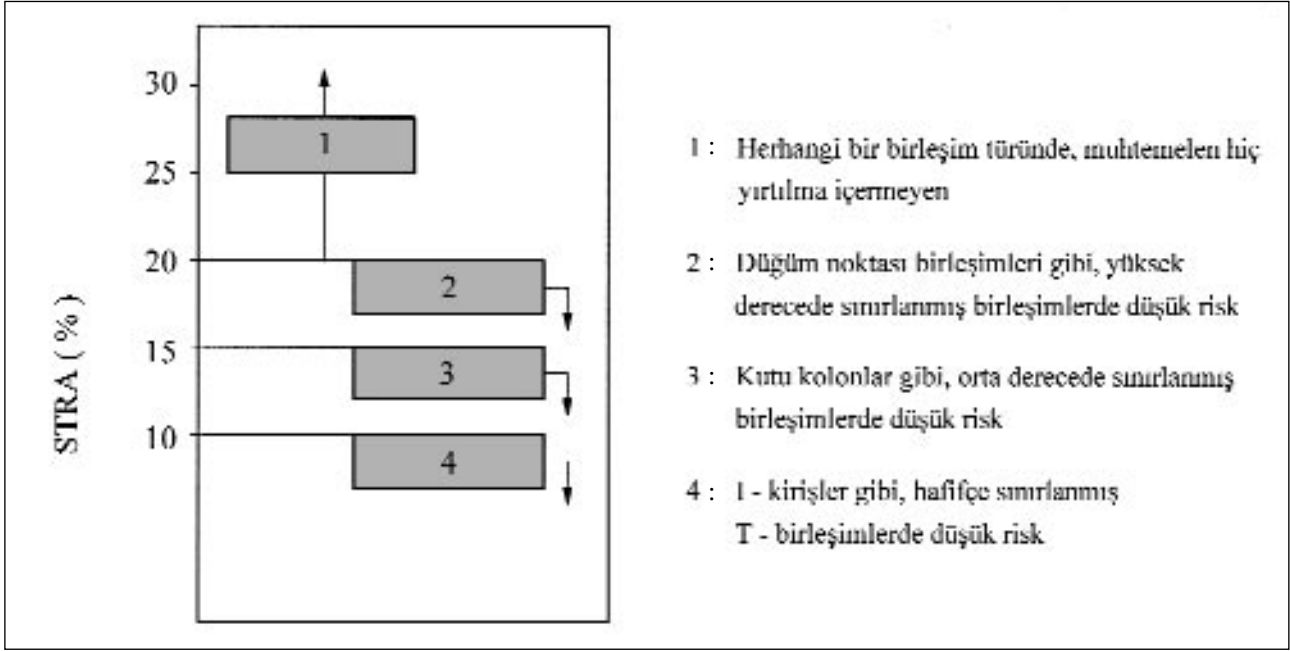
Toprak alkali ve kalsiyum bileşiklerinin eklenmesi, hem safiyetsizlik içeriğini azaltacak hem de safiyetsizliklerin şekillerini büyük oranda değiştirecek tarzda etkimesine rağmen, bunlar genellikle düşük kükürt içerikli, alüminyumla gazı alınmış çeliklerdir.

5.6.3. Birleşim Tasarımı, İmalatı ve Kalınlık Doğrultusunda Şekil Değişimleri

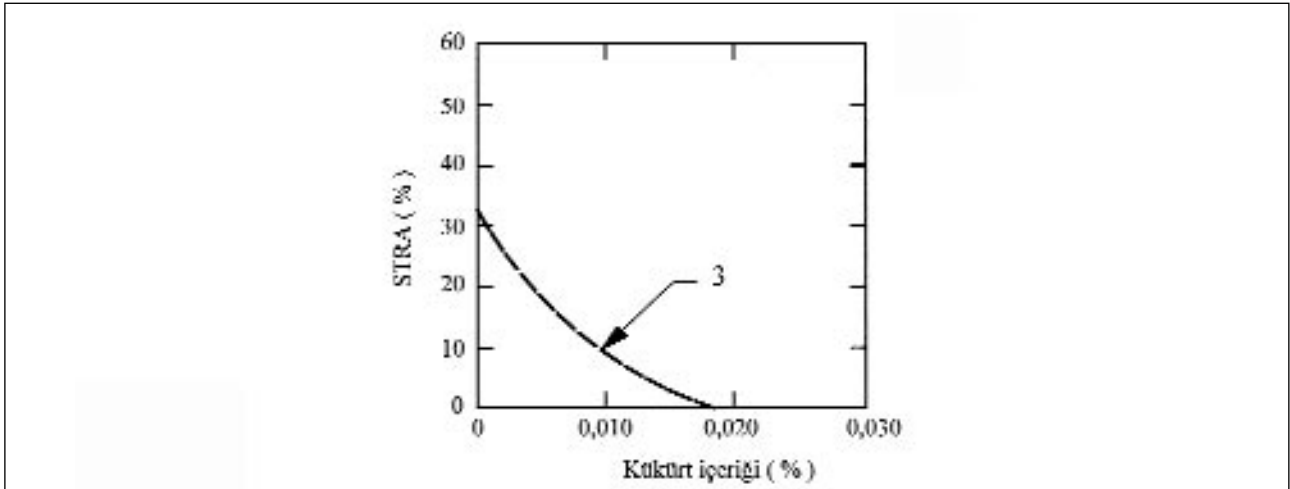
Belirli bir çelik cinsi için çok miktarda çekme sınırlamasına maruz birleşimlerde lameler yırtılma riski, büyük değerde oluşan, kalınlık boyunca şekil değişimiyle artar. Ancak eğer açılal distorsi-yonun kaynak kök veya kenarlarında şekil değişimini arttırdığı, eğilme sınırlaması küçük ise, bu durumda da oluşabilir (bkz. Şekil 5.38).

Bazı durumlarda, kalınlık boyunca şekil değişimini azaltan nitelikte tasarım değişiklikleri yapılabilir. Lameler yırtılma olasılığının olduğu bu tür teşkillerin ve detaylarının örnekleri, muhtemel çatlak oluşum yerleriyle birlikte Şekil 5.39'da gösterilmiştir.

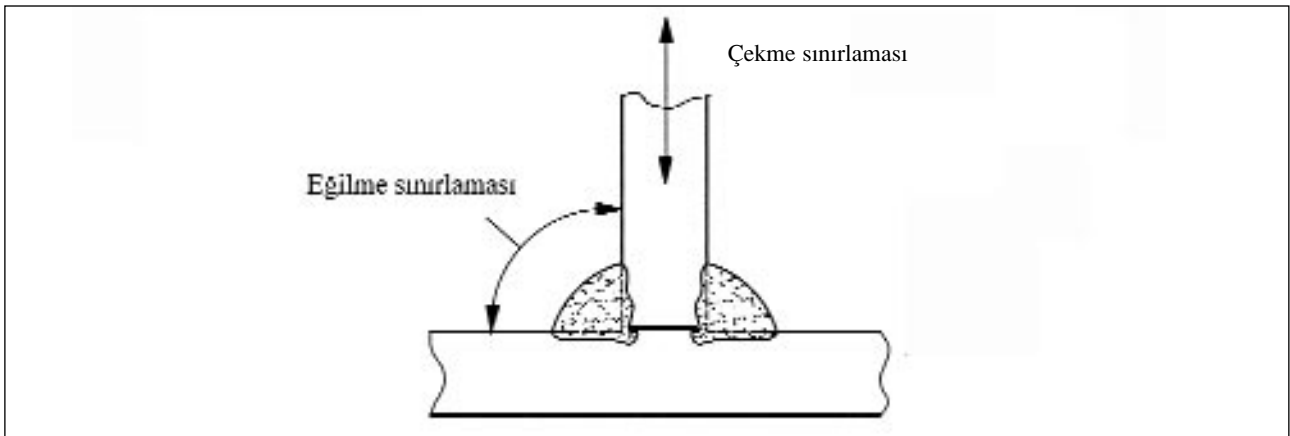
Eğer levha hassasiyetinin yüksek olduğu kabul edilirse, hassas birleşimler ve detaylarında uygun değişiklikler yapılmalı veya bunlardan kaçınılmalıdır.



Şekil 5.36. Farklı sınırlamalara sahip birleşimlerde lameler yırtılma riski için önerilen yaklaşık STRA değerleri.

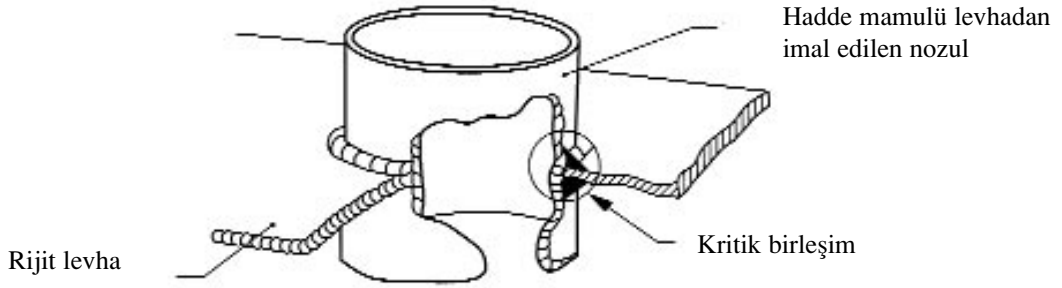


Şekil 5.37. 12,5 mm ila 50 mm (dahil) kalınlığındaki levhalar için kükürt içeriğinin fonksiyonu olarak STRA

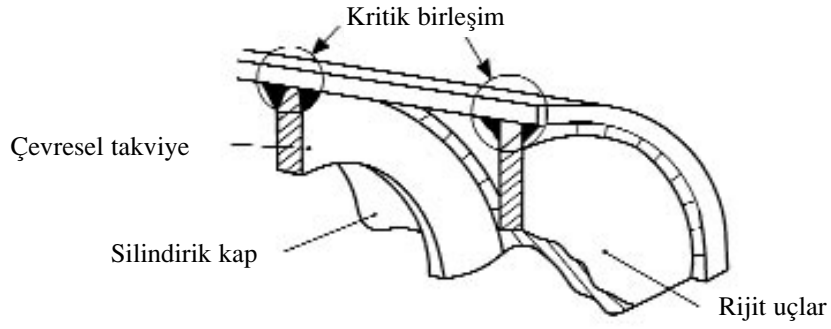


Şekil 5.38. Köşe kaynaklı T-birleşimlerde sınırlama örnekleri

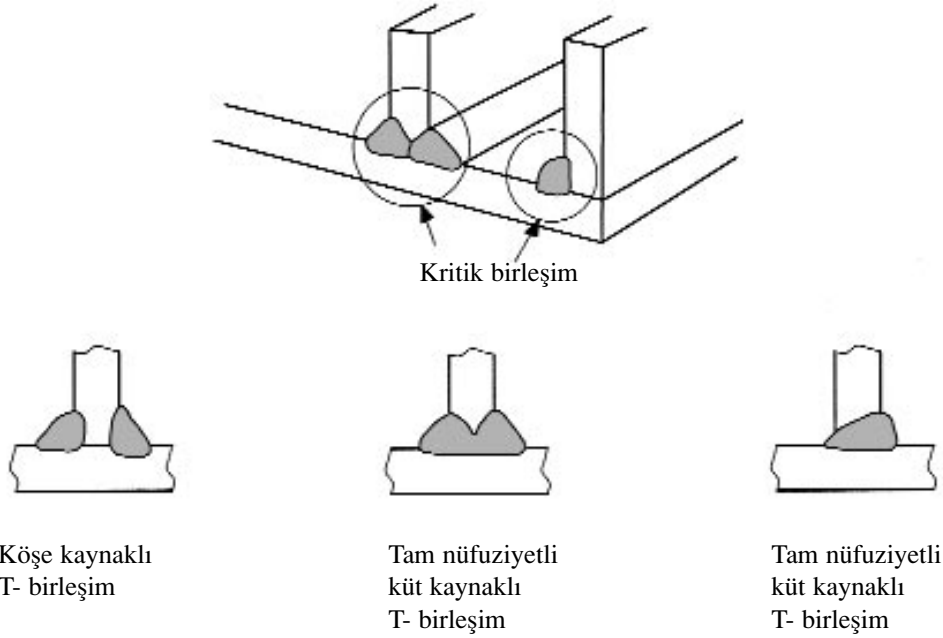
a) Rijit bir levha içinden geçen nozul



b) Silindirik bir imalatda takviye veya rijit uç



c) Rijit kutu kesit



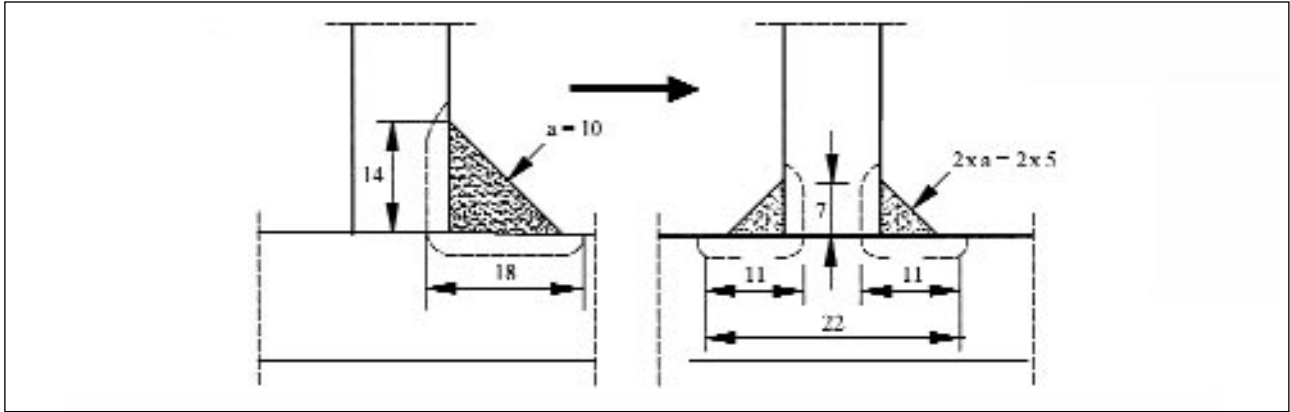
Şekil 5.39. Aşırı miktarda sınırlanmış büyük yapıların imalinde lameler yırtılmanın meydana gelebileceği birleşim şekilleri ve detayları

Aşağıdaki genel ifadelere dikkat edilmelidir :

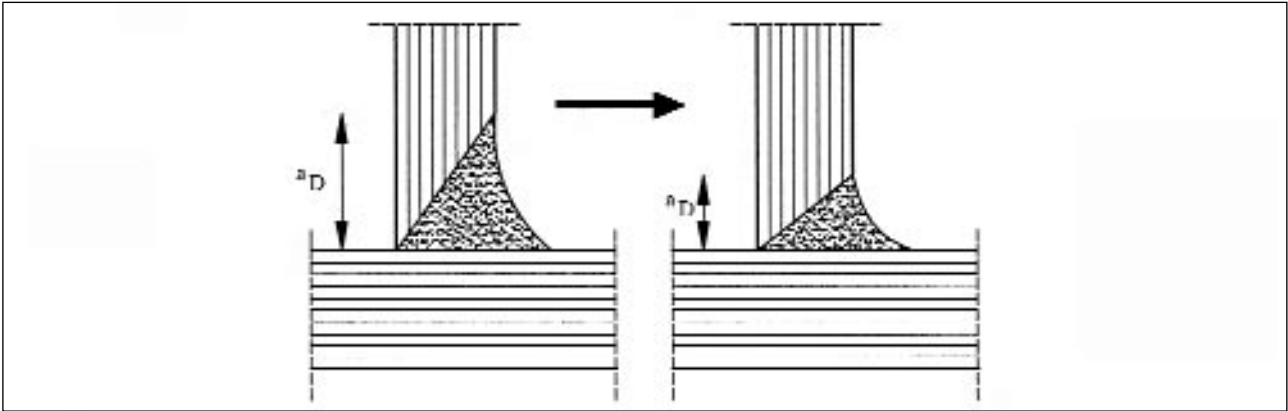
a) Belirli bir kaynak mukavemeti için, birleşimlerde birleştirme bölgeleri büyütülmelidir (bkz. Şekil 5.40)

b) Büzülme gerilmeleri aşağıdaki önlemlerle en aza indirilmelidir:

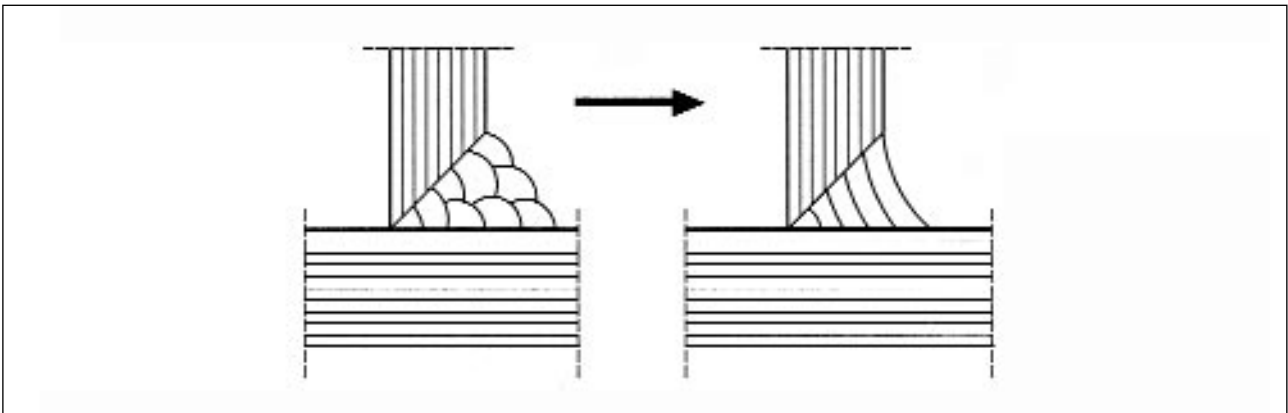
- kaynak metalinin hacmini azaltarak (bkz. Şekil 5.41);
- kaynağı en az sayıda paso ile yaparak (bkz. Şekil 5.42);
- bir tampon tabaka paso sırası kullanarak (bkz. Şekil 5.43)
- simetrik kaynaklarla dengelenmiş bir tabaka sırası uygulayarak (bkz.Şekil 5.44)
- Kaynaklı parça, kaynak metalinin hadde ürünü levhanın mümkün olduğunca daha büyük kalınlık bölgesi boyunca temasta olacak şekilde düzenlenmelidir (bkz. Şekil 5.45)
- Kaynaklı parça, kalınlık yönünde sınırlamanın en az olacağı şekilde düzenlenmelidir (bkz. Şekil 5.46)
- Kaynaklı parça, düşük mukavemetli bir malzeme kullanarak tampon tabaka oluşturulmasıyla, lameler yırtılmaya en az hassas duruma getirilmelidir (bkz. Şekil 5.47).



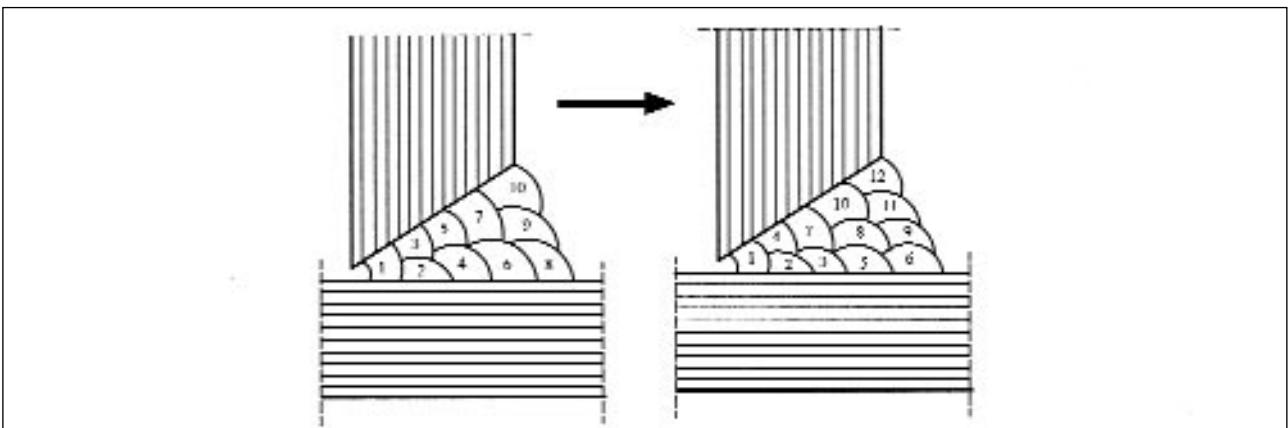
Şekil 5.40. Erime yüzeyinin büyütülmesiyle lameler yırtılmaya hassasiyetin azaltılması



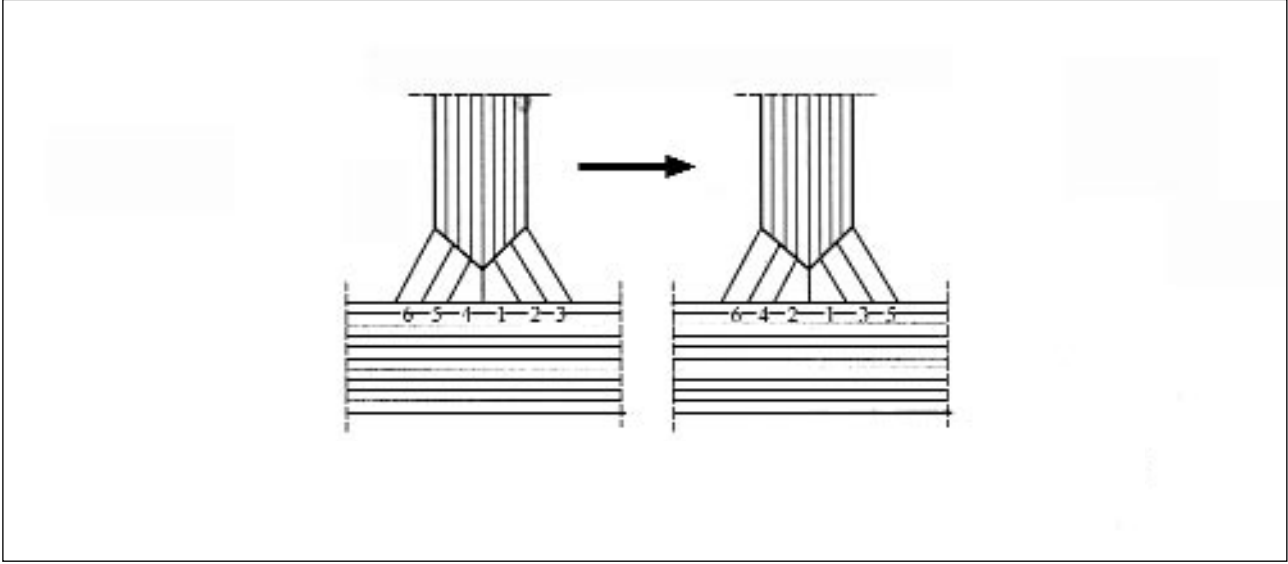
Şekil 5.41. Kaynak metali hacminin azaltılması ile lameler yırtılmaya hassasiyetin azaltılması



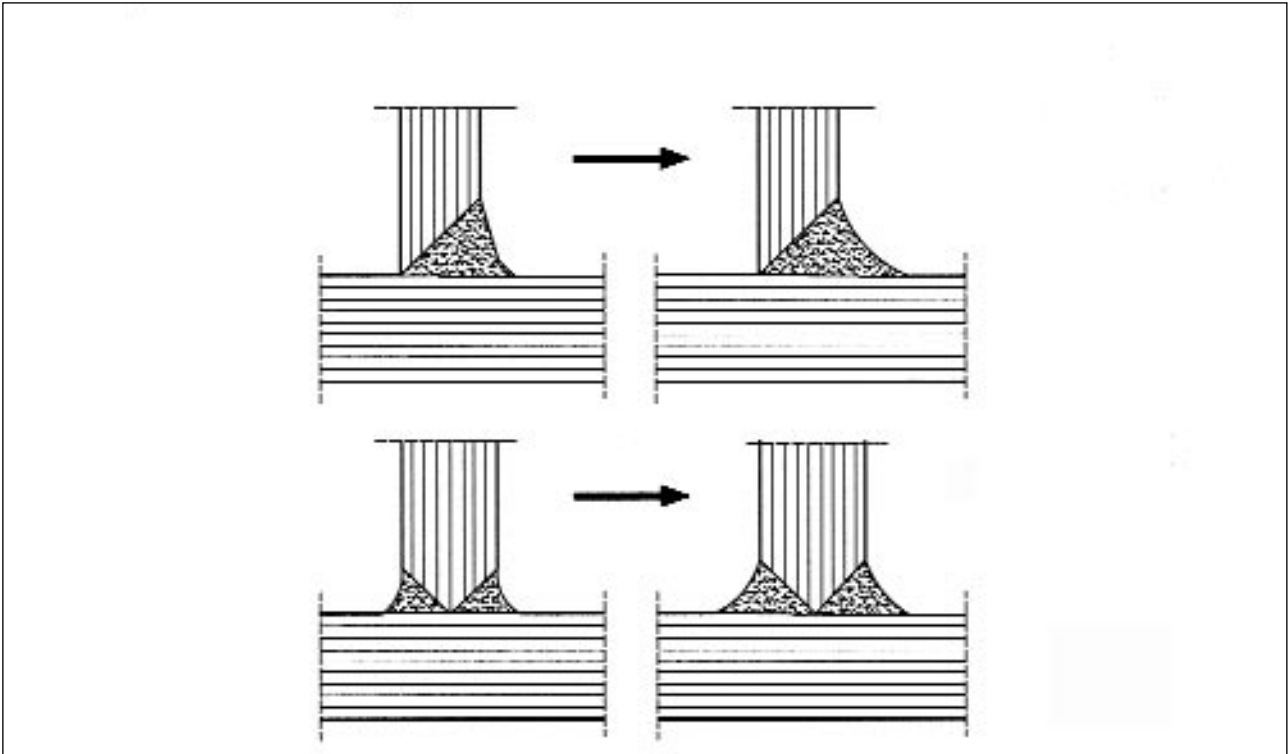
Şekil 5.42. Kaynak paso sayısının azaltılması ile lameler yırtılmaya hassasiyetin azaltılması



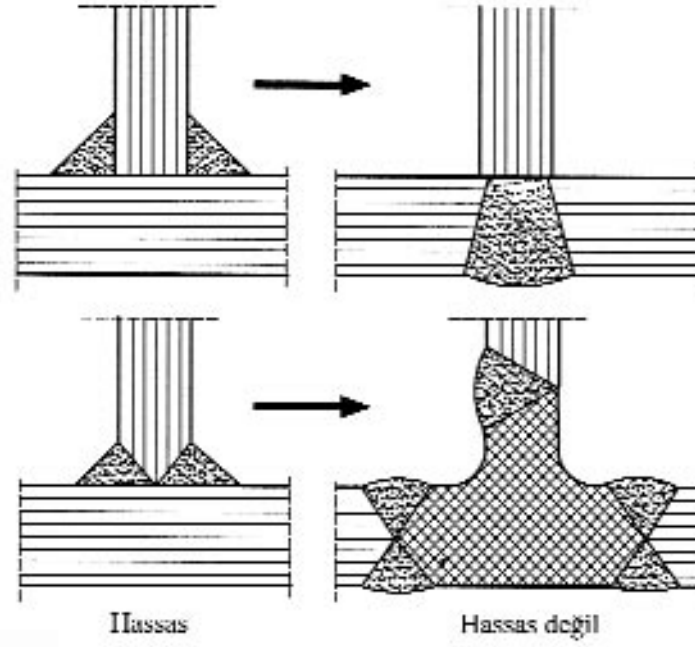
Şekil 5.43. Tampon paso sırası ile lameler yırtılmaya hassasiyetin azaltılması



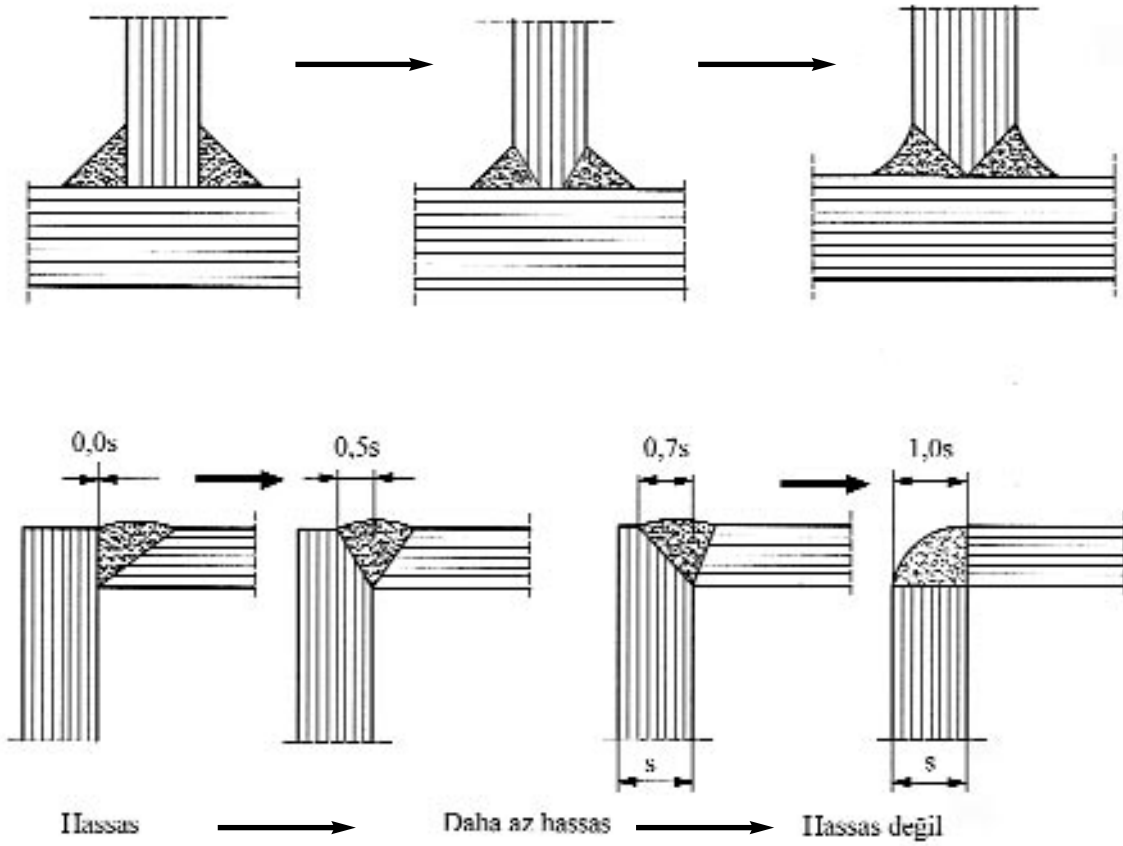
Şekil 5.44. Simetrik paso sırası düzeni ile lameler yırtılmaya hassasiyetin azaltılması



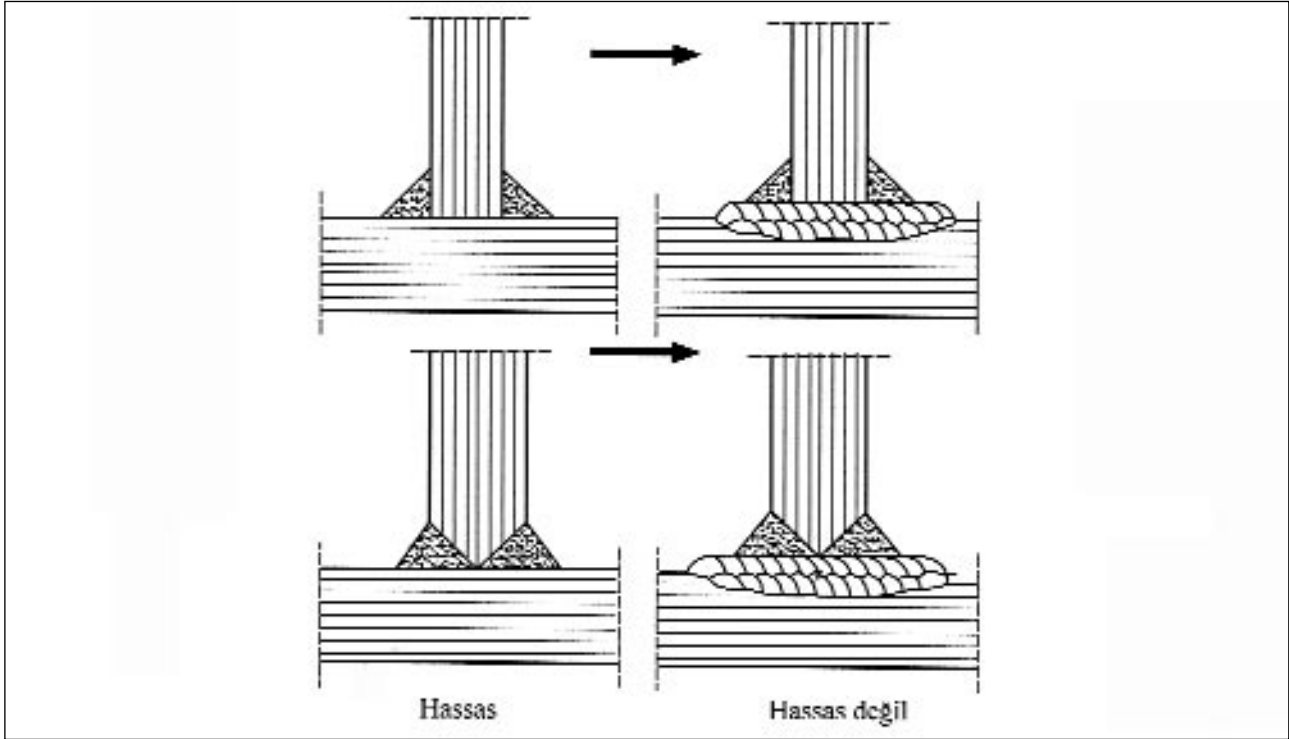
Şekil 5.45. Kaynak metalinin hadde ürünü levhanın daha büyük kalınlık bölgesi boyunca temasta olacak şekilde düzenlenmesi ile lameler yırtılmaya hassasiyetin azaltılması



Hadde ürünü levhaların tlm kalınlığı içerecek şekilde kaynak yaparak lameler yırtılmaya hassasiyetin azaltılması



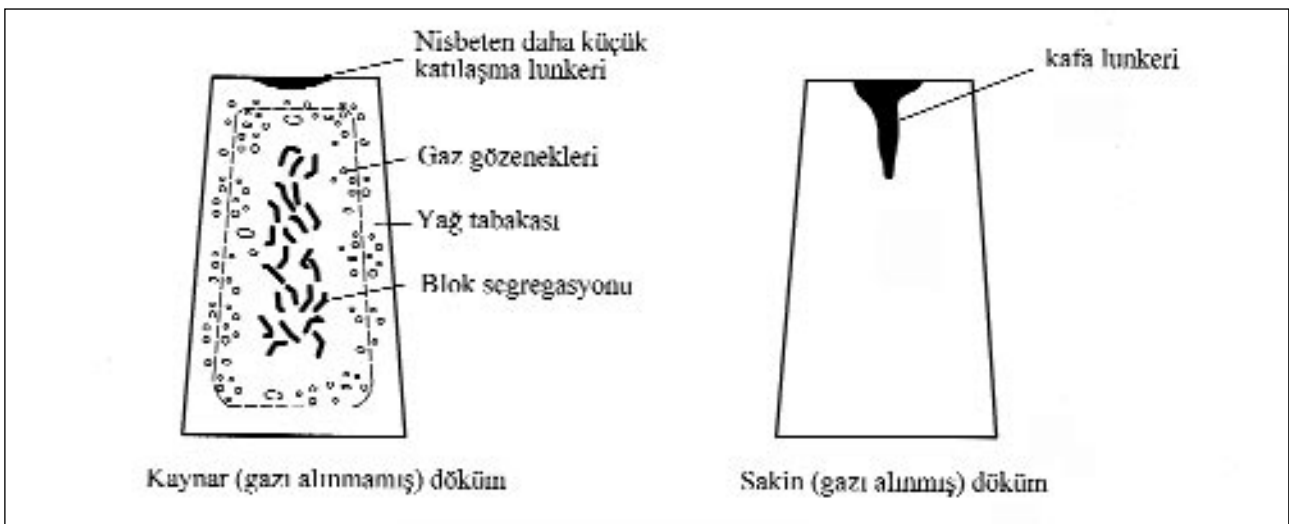
Şekil 5.46. Kalınlık yönünde sınırlamanın azaltılması ile lameler yırtılmaya hassasiyetin azaltılması



Şekil 5.47 . Tercihan düşük mukavemetli, yüksek süneklikli kaynak metaliyle tamponlama yaparak lameler yırtılmaya hassasiyetin azaltılması (2 tabaka, 1 tabakaya göre daha uygundur.)

5.7. Kaynar Dökülmüş (Gazı Alınmamış) Çeliklerden Levha ve Profillerin Kaynağında Çatlama ve Gözenek Tehlikesi

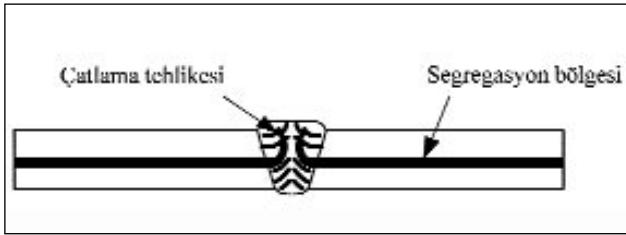
Kaynar dökülmüş (gazı alınmamış, sakınleştirilmemiş) çeliklerden (bkz. Şekil 5.48) üretilen levha ve profillerin kaynağında, levhanın veya profilin ortasındaki segregasyon bölgesi kaynak sırasında eritilmeyecek şekilde kaynak yapılmalıdır.



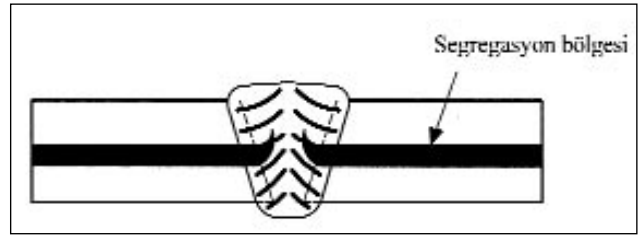
Şekil 5.48. Döküm türleri

İnce levhaların küt kaynaklı birleşimlerinde, dikiş içine karışan segregasyon bölgesinin dikiş içindeki oranı kalın levhalara göre daha büyük olduğundan, ince levhalarda daha yüksek bir çatlama riski mevcuttur (bkz. Şekil 5.49 ve 5.50). Bu tip çeliklere elektrik ark kaynağı uygulamalarında bazik elektrotlarla kaynak yapılmalıdır.

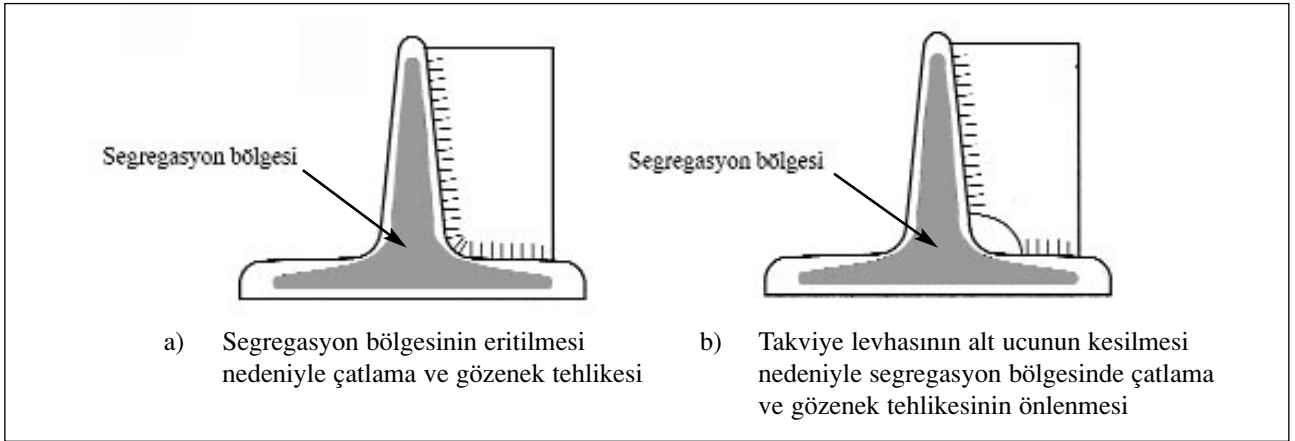
T- profillerin levhalarla takviye edilmesinde, profil içindeki segregasyon bölgesinin eritilmesinden kaçınmak için takviye levhasının ucu kesilmelidir. (bkz. Şekil 5.51)



Şekil 5.49. I-küt kaynak dikişinde yüksek karışım oranı nedeniyle yüksek çatlama tehlikesi



Şekil 5.50. V-küt kaynak dikişinde düşük karışım oranı.



Şekil 5.51. T-profillerdeki takviyelerde köşe dikişleri

5.8. Çatlamaların Genel Nedenleri

Kaynaklı birleşimlerde meydana gelen çatlamaların genel nedenleri Tablo 5.20’de özet olarak verilmiştir.

Tablo 5.20. Kaynaklı birleşimlerde meydana gelen çatlamaların nedenleri	
Çatlak Türü	Nedeni
Sıcak çatlak	Biraraya toplanmış, düşük sıcaklıkta eriyen çelik fazlar
Soğuk çatlak	Şekil değiştirme kabiliyetinin aşılması
Çentik çatlağı	Gerilme tepesi (pik noktaları)
Lameler çatlak	Segregasyonlar