

# Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımli Çeliklerin Kaynağı

**Özlem Karaman**

*Metalurji ve Malzeme Mühendisi*

*Kaynak Mühendisi*

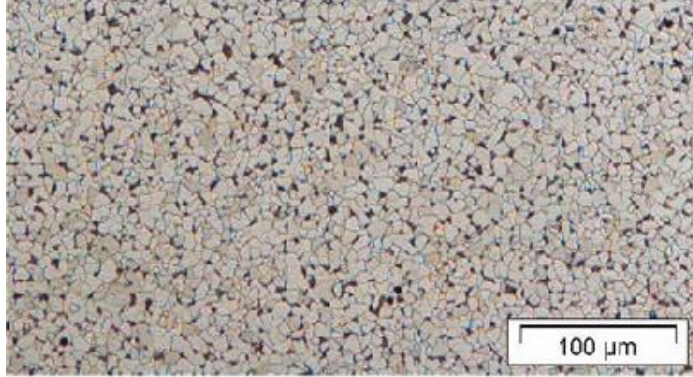
## Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımlı Çelikler

Yüksek mukavemetli ince taneli çelikler, yani **akma noktası 360 N/mm<sup>2</sup>'den fazla olan çelikler**, ekonomide gittikçe daha yaygın şekilde kullanılmaktadır.

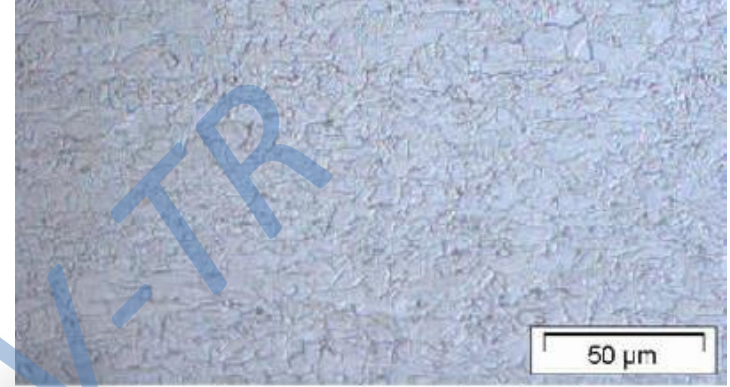
GSI SLV TR



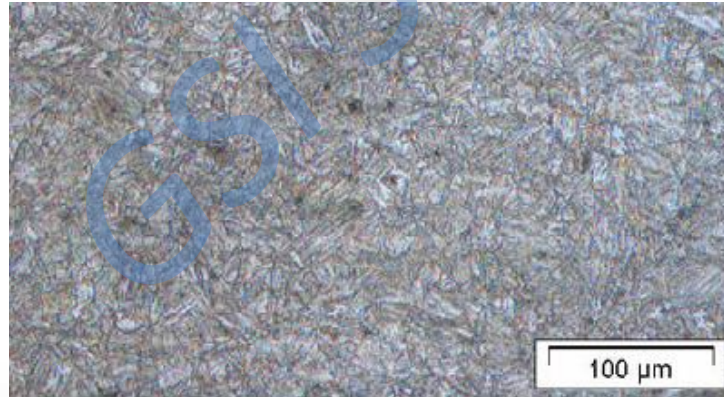
## Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımlı Çelikler



Normalize edilmiş alaşımsız S355N tipi ince taneli yapısal çeliğin mikro yapısı



S460M tipi normalize ince taneli yapısal çeliğin mikro yapısı



S690Q tipi su verilmiş ve temperlenmiş ince taneli yapısal çeliğin mikro yapısı

## Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımlı Çelikler

- normalize edilerek haddelenmiş ince taneli yapısal çelikler (N)

S420N, S460N

- termomekanik olarak haddelenmiş ince taneli yapısal çelikler (M)

S420M, S460M

- su verilmiş ve temperlenmiş ince taneli yapısal çelikler (Q)

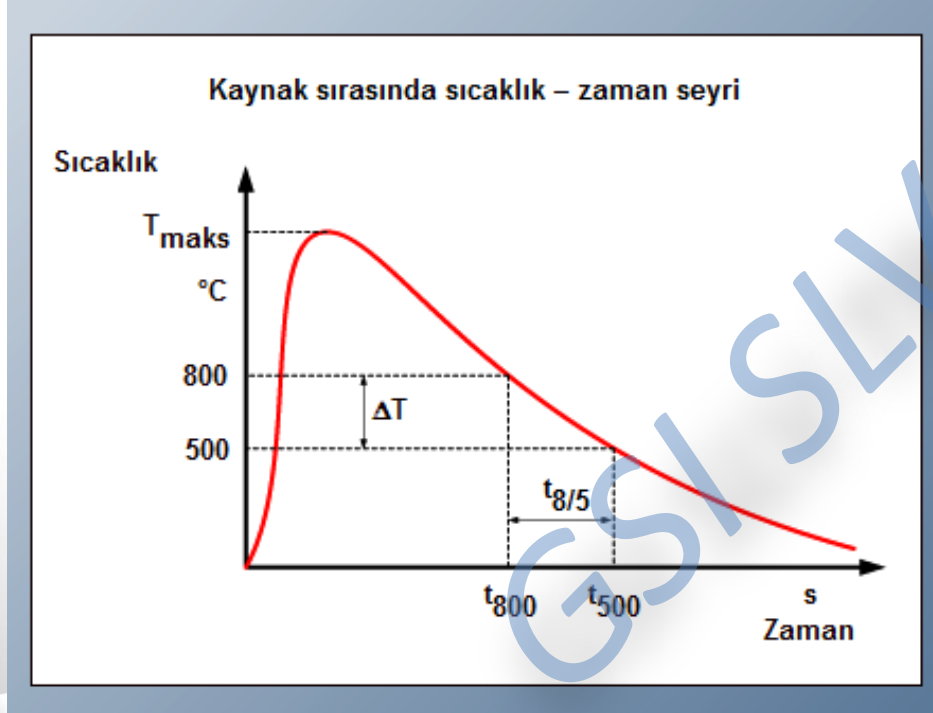
S460Q, S690Q, S890Q, S960Q



## Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımli Çeliklerin Kaynağı

- ✓ Uygulamada, teknik kuralların tümüne uyulduğunda, kaynağa elverişlidir.
- ✓ Kaynak birleşiminin mekanik özellikleri için en önemli parametre, kaynak sırasındaki **sıcaklık-zaman seyridir.**

## Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımlı Çeliklerin Kaynağı



soğuma süresi  **$t_{8/5}$** ,  
bir kaynak katmanında,  
sıcaklık aralığının 800'den  
500°C'ye geçişi sırasındaki  
süredir

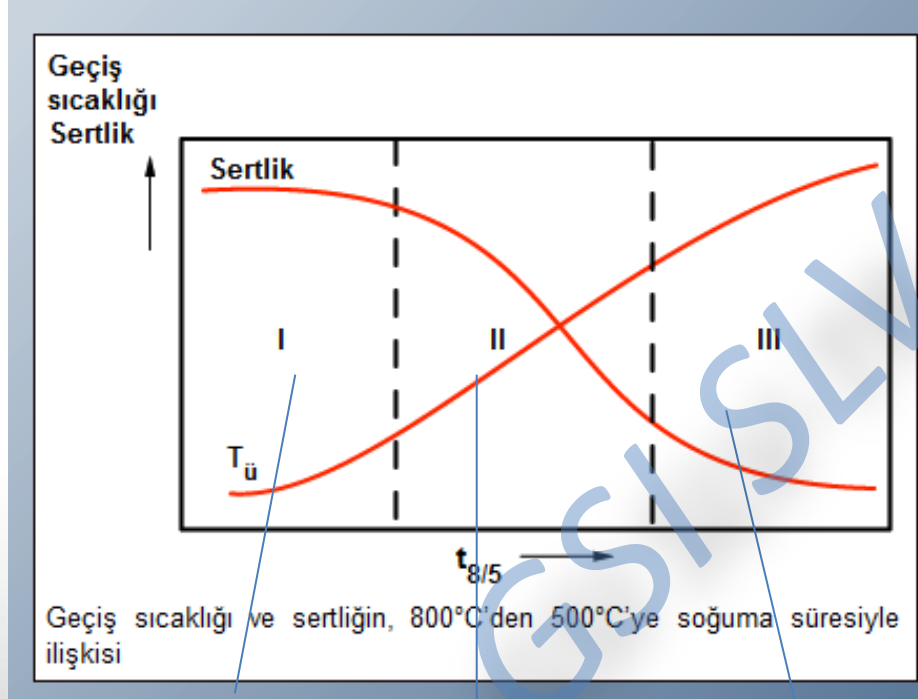
## Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımli Çeliklerin Kaynağı

Sıcaklık-zaman seyri,

- Hat enerjisi
- Plaka kalınlığı
- Ön ısıtma sıcaklığı
- Dikiş şekli ve paso sırası

parametrelerini içerir.

## Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımli Çeliklerin Kaynağı



$t_{8/5}$  ↑

sertlik ↓

tokluk ↓

Soğuk çatlak riski

Tokluk ve mukavemette düşüş

Kontrollü ısı girdisiyle kaynak



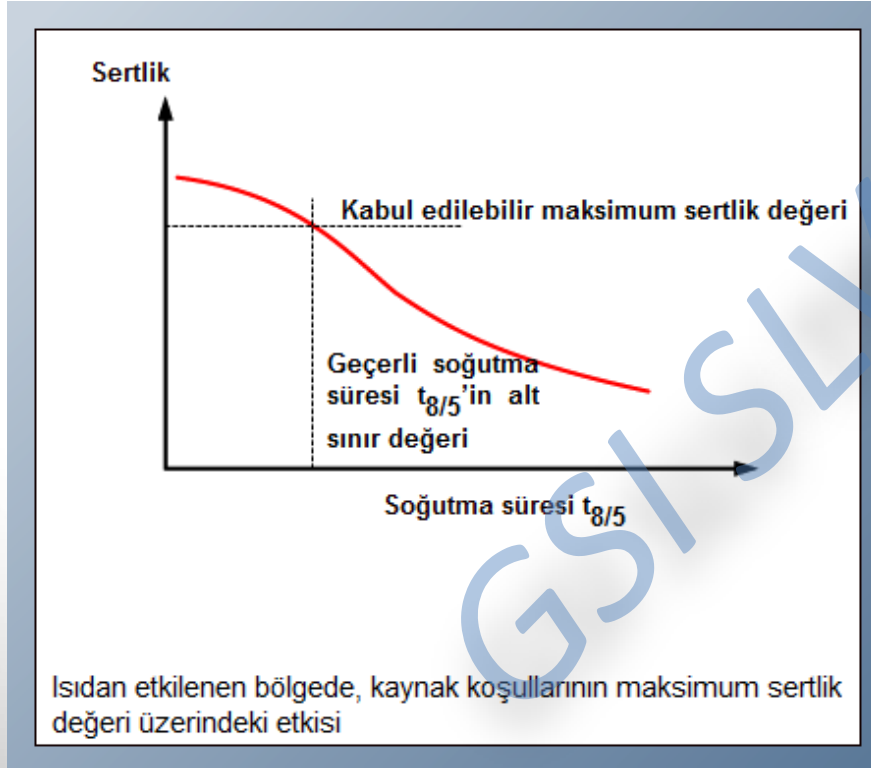
## Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımlı Çeliklerin Kaynağı

Malzeme kalınlığının ve mukavemetin artmasıyla, **soğuk çatlama** riski de artmaktadır.

Soğuk çatlamaya eğilimi etkileyen faktörler :

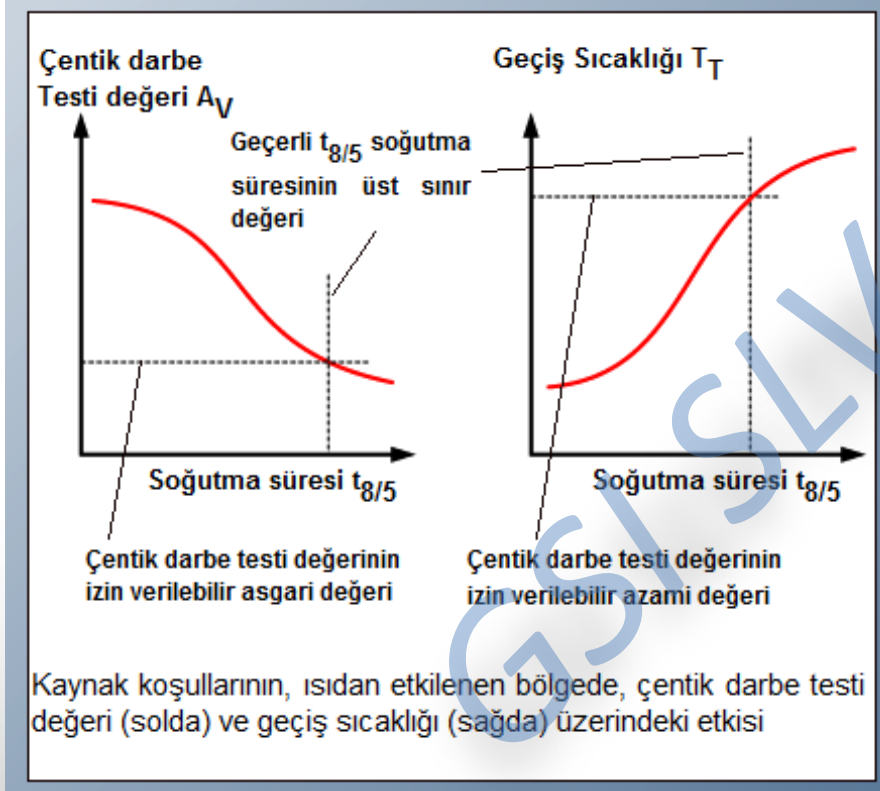
- Kaynak metalindeki çözünabilir Hidrojen miktarı
- Isıdan etkilenen bölgede oluşmuş gevrek yapı
- Kaynaklı birleştirmede yüksek çekme gerilmeleri

## Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımli Çeliklerin Kaynağı



Eğer ısıdan etkilenen bölgede belirli bir **sertliğin** aşılmaması gerekiyorsa, kaynak şartları,  $t_{8/5}$  soğutma süresi tanımlı bir değerin üzerinde kalacak şekilde seçilmelidir.

## Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımlı Çeliklerin Kaynağı



Eğer belirli bir çentik darbe değerinin altında kalınmaması gerekiyorsa, kaynak şartları,  $t_{8/5}$  soğutma süresi tanımlı bir değer altında kalacak şekilde seçilmelidir.

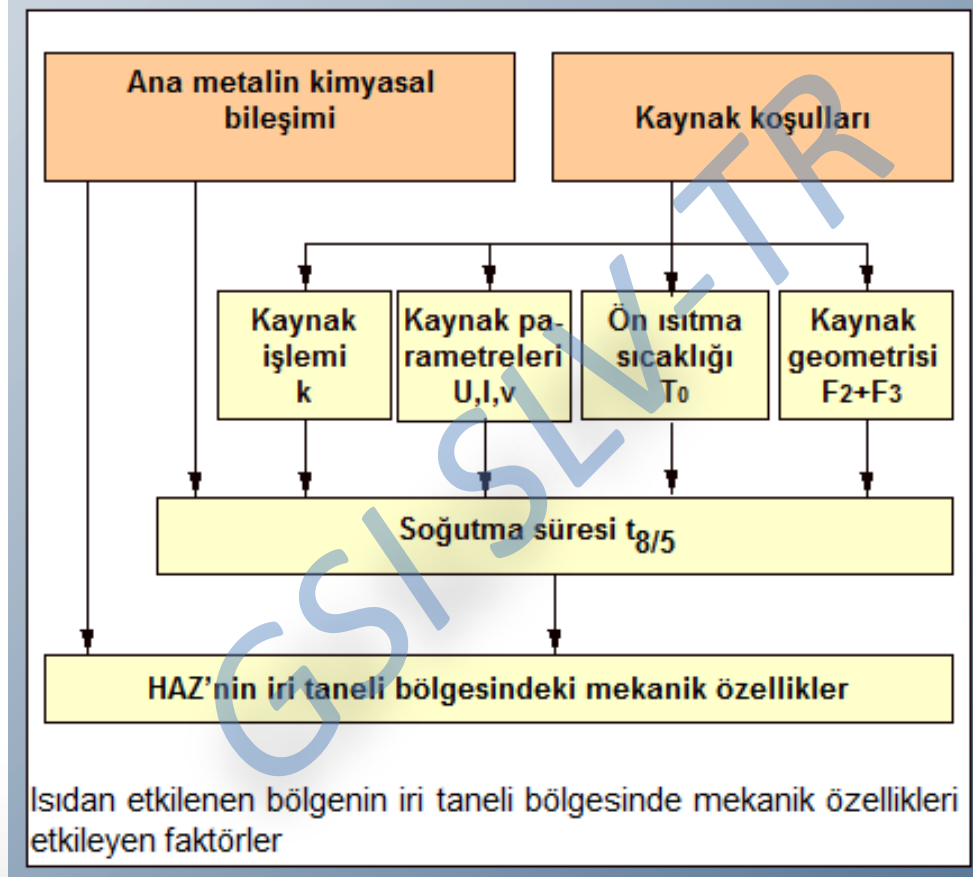
## Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımli Çeliklerin Kaynağı

Standartlarda tanımlanan yüksek mukavemetli düşük alaşımli çelikler için, **10 ile 25 saniye** arasındaki  $t_{8/5}$  soğutma süreleri, istenen mekanik değerleri sağlamaktadır. (*Merkblatt DVS 0916:2012, gaz korumalı kaynaklar için, 5-15 saniye*)

örnek olarak **S690Q** için tavsiye edilen

$t_{8/5}$  soğutma süresi yaklaşık 17-20 saniye'dir

## Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımli Çeliklerin Kaynağı



## Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımlı Çeliklerin Kaynağı

### Normalize (N)

EN 1011-2 uyarınca genel gereksinimler açısından **kaynak edilmeye uygun**

Kaynak edilebilirlikleri, alaşimsız yapı çelikleri ile kıyaslanabilir veya daha iyi düzeydedir.

**Ön ısıtma gereklidir.** Ön ısıtma sıcaklığı, soğuk çatlak oluşma olasılığına bağlı olarak belirlenir.



## Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımlı Çeliklerin Kaynağı

### Termomekanik haddelenmiş (M)

EN 1011-2 uyarınca genel gereksinimler açısından **kaynak edilmeye uygun**

Kaynak edilebilirlikleri, alaşımsız yapı çelikleri ile kıyaslanabilir veya daha iyi düzeydedir.



## Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımlı Çeliklerin Kaynağı

### Termomekanik haddelenmiş (M)

125 mm flanş kalınlığına kadar ve 5°C üzeri sıcaklıklarda,

**ön ısıtmasız kaynak** (düşük C içeriği)

**Yüksek ısı girdisinden kaçınılması gerekir** (çizgisel paso)



## Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımli Çeliklerin Kaynağı

### Su verilmiş ve temperlenmiş (Q)

EN 1011-2 uyarınca genel gereksinimler açısından kaynak edilmeye uygun

Akma mukavemetine göre genel olarak kaynaklanabilir veya **sınırlı kaynaklanabilir** özelliktedir

## Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımli Çeliklerin Kaynağı

### Su verilmiş ve temperlenmiş (Q)

Soğuk çatlakların oluşumuna olan duyarlılık durumu (hem sertleşme çatlakları hem de Hidrojen destekli çatlaklar) dikkate alınmalıdır.

**Ön ısıtma sıcaklığı özel olarak ölçülmelidir**

**Sınırlı ısı girdisiyle (hat enerjisi) kaynak yapılmalıdır**



## Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımlı Çeliklerin Kaynağı

### Kaynak sırasında Isı Girdisi

Birim uzunluk başına enerji, kaynak metalinde ve ısıdan etkilenen bölgede yeterli mukavemet özelliklerini garanti etmek için çelik üreticisi tarafından verilen bilgilere göre üst sınırla kısıtlanmaktadır.

$$E = \frac{U \cdot I \cdot 10^{-3}}{v} \quad \text{kJ/cm}$$

$$Q = E \cdot k$$

## Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımlı Çeliklerin Kaynağı

### Kaynak sırasında Isı Girdisi

Diğer yandan, çatlama riskini önlemek için birim uzunluk başına asgari bir enerji de gereklidir.

Normal koşullar altında, **kaynak ve punta kaynağında 50° ile 150° C arası ön ısıtma** uygulanmalıdır.



## Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımli Çeliklerin Kaynağı

### Kaynak sırasında Isı Girdisi

**Maksimum pasolararası sıcaklığa dikkat edilmelidir.**

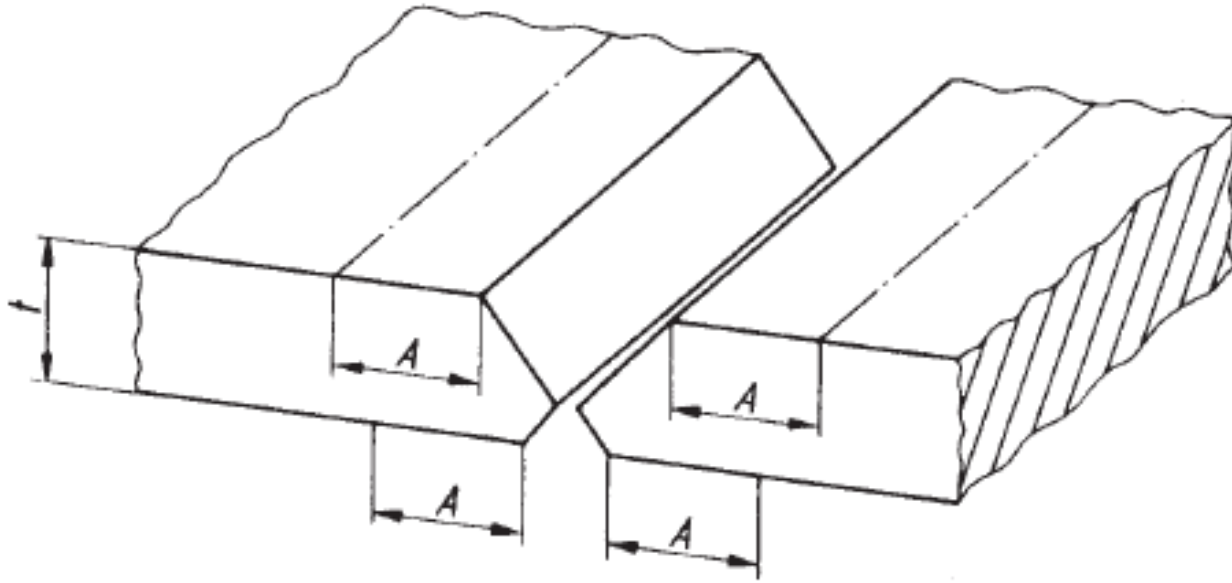
Genel olarak,

**Pasolararası sıcaklık 200°C ile sınırlandırılmalıdır.**

Sıcaklıklar EN ISO 13916'da belirtildiği gibi ölçülür.

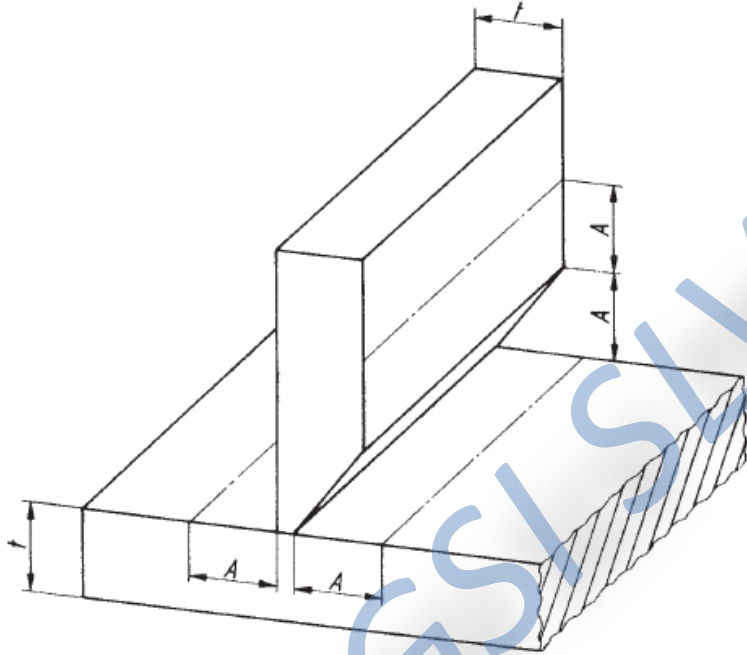


EN ISO 13916 standardına göre ön ısıtma sıcaklığı ( $T_p$ ) nereden ölçülür



$t \leq 50$ :  $A = 4 \times t$ , max. 50 mm  
 $t > 50$ :  $A = 75$

EN ISO 13916 standardına göre ön ısıtma sıcaklığı ( $T_p$ ) nereden ölçülür



$t \leq 50$ :  $A = 4 \times t$ , max. 50 mm

$t > 50$ :  $A = 75$



EN ISO 13916 standardına göre pasolararası sıcaklık ( $T_i$ ) nereden ölçülür

- Çok pasolu kaynaklarda, bir sonraki pasoya başlamadan hemen önce
- Kaynak metalinden veya hemen ana malzemenin kaynak ağzı kenarından



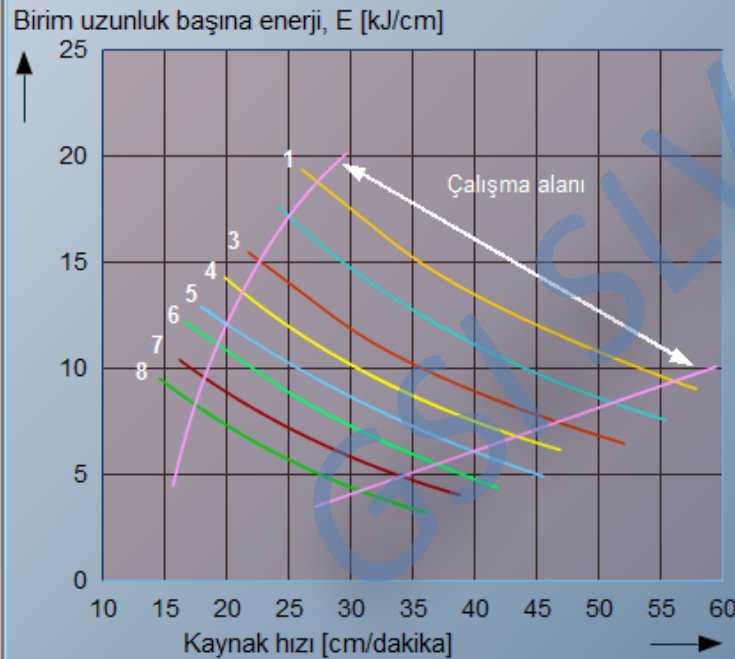
## Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımli Çeliklerin Kaynağı

### Kaynak sırasında Isı Girdisi

Kaynak Koordinatörü saniyelerle ölçebilecek bir termometreye sahip olmalıdır.

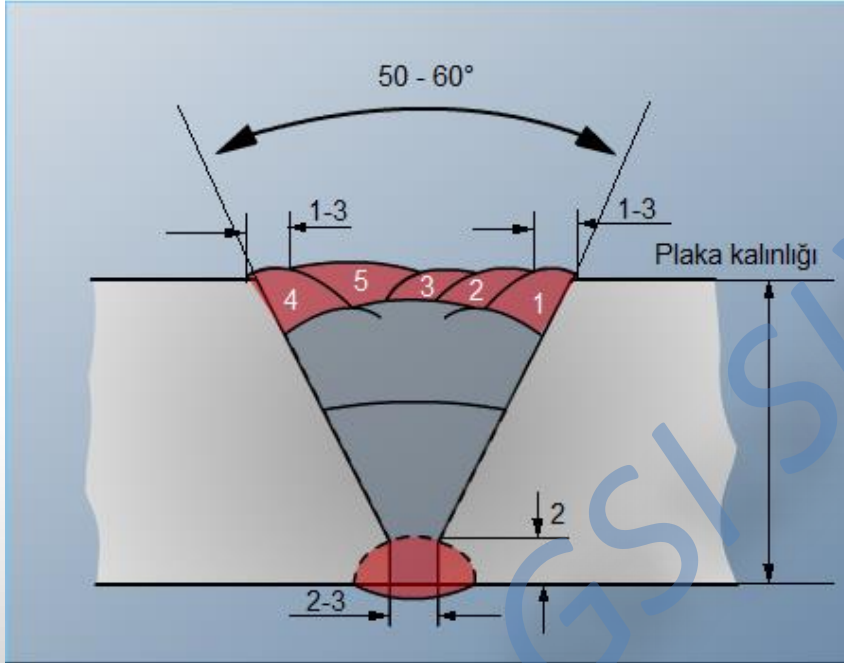
Kaynakçı ise farklı sıcaklıklarda 2 ısı tebeşirine (minimum ön ısıtma sıcaklığı ve maksimum pasolararası sıcaklık) sahip olmalıdır.

Eđri	1	2	3	4	5	6	7	8
V	29	27	24	22	20	19	18	17
A	300	275	250	225	200	175	150	125
$V_z$ [ m/dak ]	10.5	9.0	8.0	7.0	5.5	4.5	3.5	3.0



kaynak parametreleri ve gaz korumalı kaynak sırasında birim uzunluk başına maksimum enerji arasındaki ilişki  
(DVS 0916 2b)

## Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımlı Çeliklerin Kaynağı



Plaka kalınlığı ve hat enerjisine dikkat ederek çok pasolu teknik (çizgisel paso tekniği)

Kapak paso sırası (ıslah pasosu)

## Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımlı Çeliklerin Kaynağı

Köşe kaynakları ve montaj kaynaklarının, ön ısıtma yaparak, çizgisel paso ile birleştirilmesi önerilir.

Tek pasolu köşe kaynaklarının punta boyu en az 50 mm uzunluğunda ve **minimum kaynak dikişi kalınlığı 4 mm** olmalıdır.



## Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımli Çeliklerin Kaynağı

Kaynak dikişindeki **hidrojen** genellikle ya dolgu telinden/elektrottan veya arkı çevreleyen atmosferden gelir.

**Soğuk çatlakları** önlemek için, özellikle min. akma mukavemeti  $\geq 460 \text{ N/mm}^2$  olan N ve Q ince taneli yapı çeliklerinde, düşük hidrojen içerikli bir kaynak metali elde etmek için uygun dolgu malzemesinin kullanılması gerekir.

## Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımlı Çeliklerin Kaynağı

Soğuk çatlamayı önlemek için, özellikle 30 mm üzeri kalınlıklarda ve minimum akma mukavemeti  $\geq 460 \text{ N/mm}^2$  olan çeliklerin kaynağında, kaynaktan sonra yaklaşık **200°C'de hidrojen giderme tavlama**sı yapılması gereklidir.

Tavlama süresi minimum 2 saat olmalıdır.

Kaynak sırasında minimum ön ısıtma sıcaklığının altına soğutmaktan kaçınılmalıdır

## Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımli Çeliklerin Kaynağı

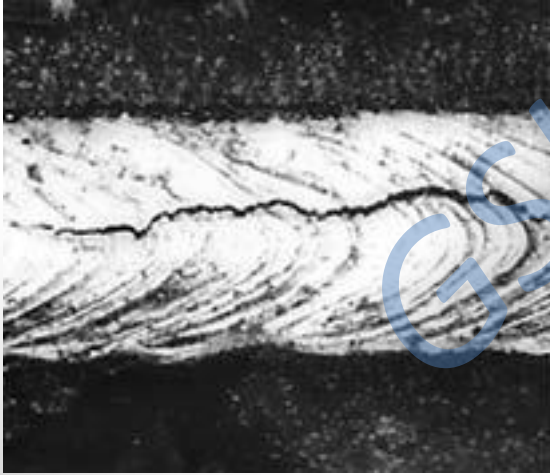
Kaynak metalinde soğuk çatlak oluşma riski, ısıdan etkilenen bölgeye göre daha fazladır.

- ✓ Ana malzemenin yüksek mukavemeti, kaynak sırasında yüksek kalıntı gerilimlere neden olabilir
- ✓ Ana malzemenin yüksek çekme mukavemeti ve tokluğuna uygun dolgu malzemeleri daha yüksek alaşımli ve daha yüksek Cev'e sahip olduğu için

## Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımlı Çeliklerin Kaynağı

- ✓ Kaynak metali, ana malzemeye göre daha düşük sıcaklıkta östenitten ferrite dönüşür.

Kaynak metalinin kompozisyonuna göre ön ısıtma sıcaklığı belirlenmesi tavsiye edilir





## Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımli Çeliklerin Kaynağı

Yüksek ısı girdisi ile kaynak, tane irileşmesine ve ısıdan etkilenen bölgede **tokluk ve mukavemette düşüşe** neden olur.

Pratik bir yaklaşım olarak:

- ✓ ısı girdisi yaklaşık 2.5 kJ/mm ile sınırlandırılır
- ✓ pasolararası sıcaklık max. 200°C ile sınırlandırılır
- ✓ çizgisel paso tekniği uygulanır



## Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımli Çeliklerin Kaynağı

### Isıl İşlem

Normalizasyon ve temperleme uygulanmaması gerekir. Malzeme kalınlığı 35-40 mm'den fazlaysa gerilim giderme tavlaması genellikle uygulanır.

Özellikle termomekanik haddelenmiş türde 530 ile 580°C arasında bir sıcaklık belirlenir. Çekme mukavemetinin düşmemesi için 600°C'yi geçmemek gerekir.



## Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımlı Çeliklerin Kaynağı

### Kaynak Yöntem Onayı

#### **EN ISO 15614-1**

Metalik malzemeler için kaynak prosedürlerinin şartnamesi ve vasıflandırılması - Kaynak prosedürü deneyi - Bölüm 1: Çeliklerin gaz ve ark kaynağı, nikel ve nikel alaşımlarının ark kaynağı

#### **EN ISO 15613**

Metalik malzemeler için kaynak prosedürlerinin şartnamesi ve vasıflandırılması - İmalât öncesi kaynak deneyini esas alan vasıflandırma



## Referanslar

EN 10025-3:2005 Hot rolled products of structural steels

Part 3: Technical delivery conditions for normalized/normalized rolled weldable fine grain structural steels

EN 10025-4:2005 Hot rolled products of structural steels

Part 4: Technical delivery conditions for thermomechanically rolled weldable fine grain structural steels

EN 10025-6:2013 Hot rolled products of structural steels - Part 6: Technical delivery conditions for flat products of high yield strength structural steels in the quenched and tempered condition

SEW088:1993 Weldable fine grained steels. Guidelines for processing

