

# S960QL Kalite Yüksek Mukavemetli Çeliklerin Kaynaklı Birleşiminin İncelenmesi

*Yunus Halim UÇ  
Metalurji ve Malz. & Kaynak Müh.*

## İçerik

### 1. Sertleştirme ve Islah İşlemleri

**1.a** Su Verme

**1.b** Denge Dışı Krital Yapı Dönüşümü

**1.c** Q-Çeliklerinin Mekanik Değerleri

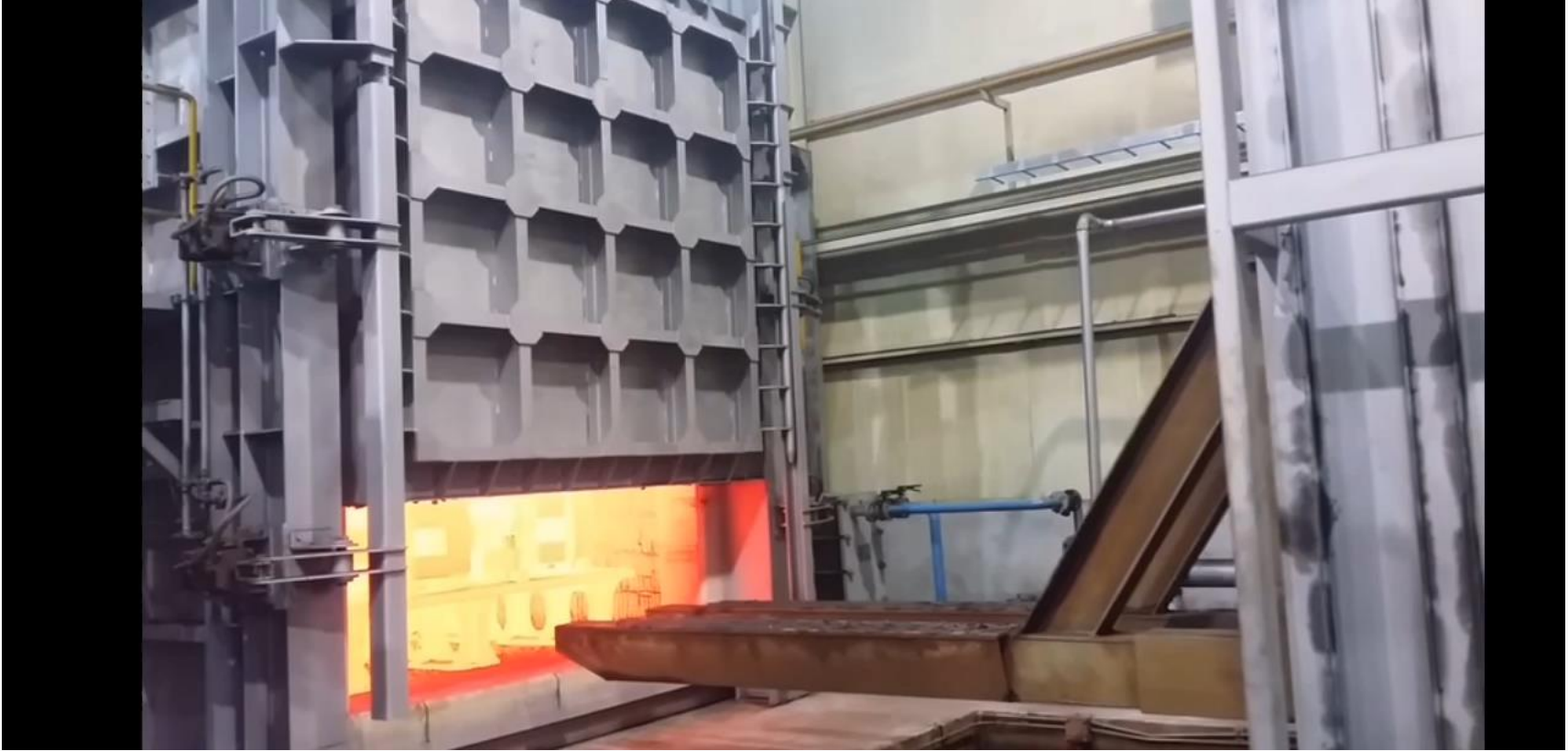
### 2. Kaynak İşlemi

### 3. S960QL Kalite Yüksek Mukavemetli Çeliklerin Kaynağında Farklı Uygulamaların Sonuçlarının Karşılaştırılması

## 1. Sertleştirme – Islah işlemleri

| Sertleştirme<br>( <i>Quench hardening</i> )                 | Islah<br>( <i>Quenching &amp; tempering</i> )                                                                                          |
|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ↓                                                           | ↓                                                                                                                                      |
| Çok hızlı soğutma ile (su verme)<br>Östenit >>> Martensit   | Oluşan martensiti ötektoid sıcaklık altında<br>(723 °C) ısıtarak kullanılabilir hale getirmek<br>için temperleme (menevişleme) yapılır |
| ↓                                                           | ↓                                                                                                                                      |
| «C» atomlarının difüzyonu için<br>yeterli zaman yok         | Yüksek mukavemetle birlikte tok yapı elde<br>edilir                                                                                    |
| ↓                                                           |                                                                                                                                        |
| Aşırı miktarda sıkışmış C atomları<br>(HMT) Gevrek yapı !!! |                                                                                                                                        |

## 1.a Su verme işlemi

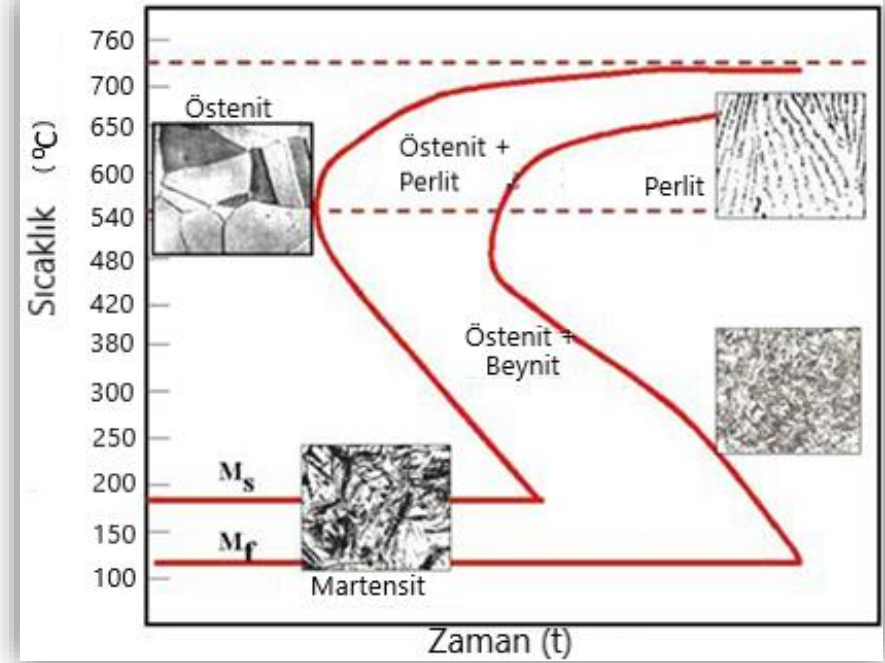


## 1.b Denge Dışı Kristal Yapı Dönüşümü

Çelik, östenit yapıdan kritik soğuma hızından daha yüksek bir hızda soğutulur.

Karbon difüzyonu baskılandığından denge yapısı sağlanamaz.

Difüzyon sıcaklık (T) ve zamana (t) bağlı olarak gerçekleşir.



Östenit fazı oluşumundan sonra, soğuma sırasında çelik tipi ve soğuma hızına bağlı olarak faz dönüşümleri olur.

Alaşım elementleri (Ni, Mn, Cr, V vs.) ile C eğrisi sağ tarafa kayar. Alaşım elementlerinin eklenmesi sertleştirilebilirliği olumlu etkiler.

## Isıl İşlem

S960QL malzeme sertifikası (EN 10204 / 3.1) üzerinde

### 15mm kalınlık - ısıt işlemler detayı

| B07<br>HEAT-<br>NO. | C00<br>SAMPLE<br>NO. | C01/<br>C2<br>POSIT | B05<br>STAT. | C40<br>TYPE | C41<br>B mm | AGED | C03<br>TEST-<br>TEMP.<br>°C | C42<br>ENERGY [Joule] | C42<br>1 | C42<br>2 | C42<br>3 | C43<br>M |
|---------------------|----------------------|---------------------|--------------|-------------|-------------|------|-----------------------------|-----------------------|----------|----------|----------|----------|
| 665534              | 56546                | 0101                | 0000         | 0007        | 10,00       | 0006 | -40                         | 49                    | 52       | 54       | 52       |          |
| 665838              | 67364                | 0101                | 0000         | 0007        | 10,00       | 0006 | -40                         | 66                    | 91       | 57       | 71       |          |
| 665838              | 67371                | 0101                | 0000         | 0007        | 10,00       | 0006 | -40                         | 108                   | 113      | 137      | 119      |          |

| HEAT TREATMENT PRODUCT |               |           |
|------------------------|---------------|-----------|
| TEMP °C                | HOLDTIME MIN. | COOL DOWN |
| 920                    | 7,00          | WATER     |
| 600                    | 15,00         | AIR       |

#### LEGENDS

STAT.  
0000 = CONDITION OF DELIVERY

AGED  
0006 = NOT AGED

TYPE IMPACT TEST  
0007 = CHARPY- V

POSIT (IST)  
C101 = LONG. TOP S  
C401 = TRANS. TOP S.

TYPE TENSILE TEST  
C002 = FLAT TENSILE TEST

### 8mm kalınlık - ısıt işlemler detayı

| B07<br>HEAT-<br>NO. | C00<br>SAMPLE<br>NO. | C2<br>POSIT | B05<br>STAT. | C40<br>TYPE | C41<br>B mm | AGED | C03<br>TEST-<br>TEMP.<br>°C | C42<br>ENERGY [Joule] | C42<br>1 | C42<br>2 | C42<br>3 | C43<br>M |
|---------------------|----------------------|-------------|--------------|-------------|-------------|------|-----------------------------|-----------------------|----------|----------|----------|----------|
| 625093              | 58522                | 0101        | 0005         | 0007        | 10,00       | 0006 | -40                         | 181                   | 187      | 181      | 183      |          |
| 625093              | 58525                | 0101        | 0005         | 0007        | 10,00       | 0006 | -40                         | 173                   | 168      | 167      | 169      |          |
| 625587              | 64574                | 0101        | 0005         | 0007        | 7,50        | 0006 | -40                         | 85                    | 96       | 73       | 85       |          |
| 625587              | 64575                | 0101        | 0005         | 0007        | 7,50        | 0006 | -40                         | 61                    | 76       | 90       | 76       |          |

| HEAT TREATMENT PRODUCT |               |           |
|------------------------|---------------|-----------|
| TEMP °C                | HOLDTIME MIN. | COOL DOWN |
| 920                    | 7,00          | WATER     |
| 620                    | 1,00          | AIR       |

#### LEGENDS

STAT.  
0005 = QUENCHED AND TEMPERED

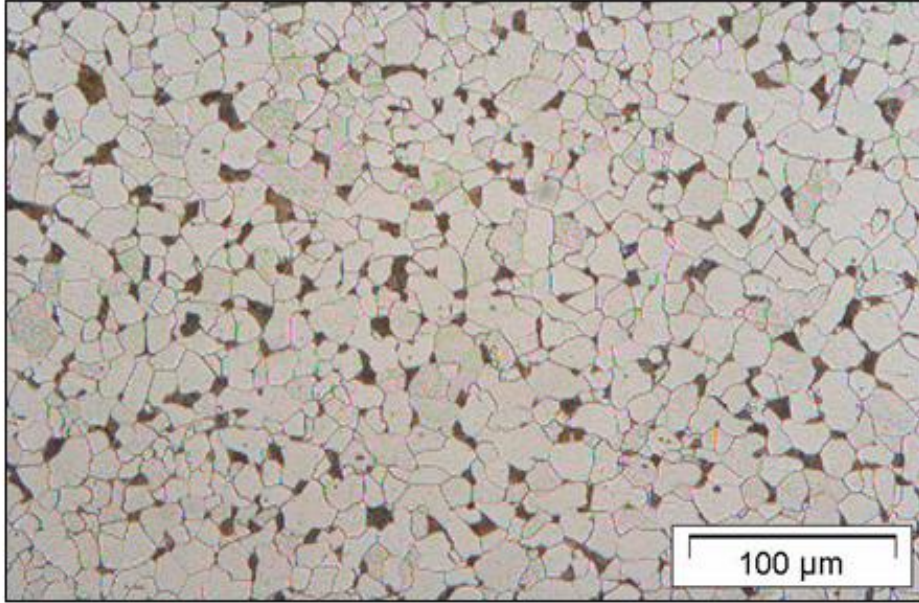
AGED  
0006 = NOT AGED

TYPE IMPACT TEST  
0007 = CHARPY- V

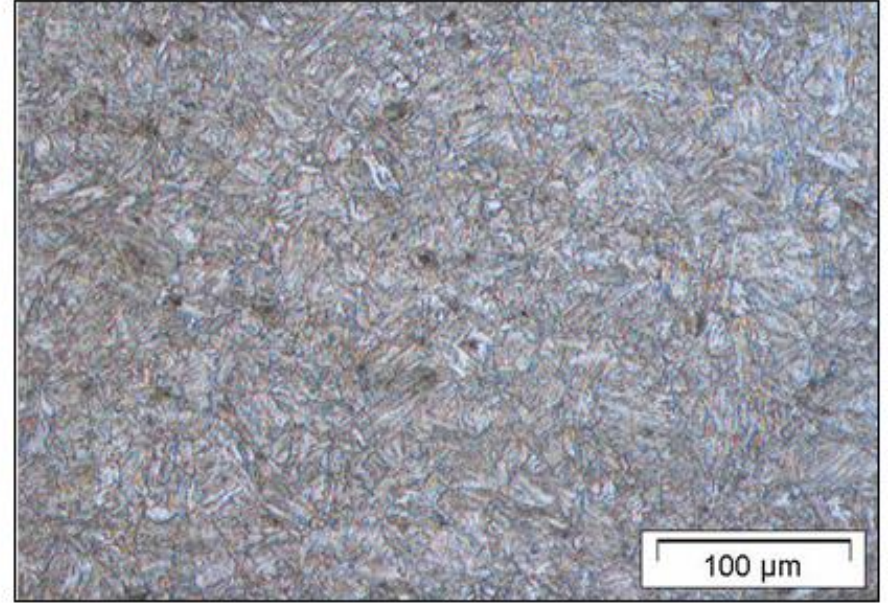
POSIT (IST)  
0101 = LONG. TOP S  
0401 = TRANS. TOP S.

TYPE TENSILE TEST  
0002 = FLAT TENSILE TEST

## İç yapının karşılaştırılması



Yapı çeliği S355J2+N



İslah edilmiş ince taneli yapı çeliği  
S690Q

## 1.c Q-çeliklerinin mekanik değerleri

Q, QL ve QL1 kalitelerin tokluk değeri sıcaklık (T) ilişkisi

|     | 0 °C | -20 °C | -40 °C | -60 °C |
|-----|------|--------|--------|--------|
| Q   | 40J  | 30J    | -      | -      |
| QL  | 50J  | 40J    | 30J    | -      |
| QL1 | 60J  | 50J    | 40J    | 30J    |

Q, QL ve QL1 kalitelerin mukavemet % uzama ilişkisi

|         | Q, QL, QL1 kalitelerin hepsi için |      |      |      |      |      |
|---------|-----------------------------------|------|------|------|------|------|
| Kalite  | S460                              | S550 | S620 | S690 | S890 | S960 |
| % Uzama | 17                                | 16   | 15   | 14   | 11   | 10   |



## EN 10025-6 standardına göre Q – çeliklerinin mekanik değerleri

**Tabelle 5 — Mechanische Eigenschaften - Kerbschlagarbeit  $KV_2$  an Längsproben<sup>a</sup>**

| Bezeichnung |                 | Mindestwerte der Kerbschlagarbeit $KV_2$<br>in J<br>bei der Prüftemperatur<br>in °C |      |      |      |
|-------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|
| Kurzname    | Werkstoffnummer | 0                                                                                   | - 20 | - 40 | - 60 |
| S460Q       | 1.8908          |                                                                                     |      |      |      |
| S500Q       | 1.8924          |                                                                                     |      |      |      |
| S550Q       | 1.8904          |                                                                                     |      |      |      |
| S620Q       | 1.8914          | 40                                                                                  | 30   | -    | -    |
| S690Q       | 1.8931          |                                                                                     |      |      |      |
| S890Q       | 1.8940          |                                                                                     |      |      |      |
| S960Q       | 1.8941          |                                                                                     |      |      |      |
| S460QL      | 1.8906          |                                                                                     |      |      |      |
| S500QL      | 1.8909          |                                                                                     |      |      |      |
| S550QL      | 1.8926          |                                                                                     |      |      |      |
| S620QL      | 1.8927          | 50                                                                                  | 40   | 30   | -    |
| S690QL      | 1.8928          |                                                                                     |      |      |      |
| S890QL      | 1.8983          |                                                                                     |      |      |      |
| S960QL      | 1.8933          |                                                                                     |      |      |      |
| S460QL1     | 1.8916          |                                                                                     |      |      |      |
| S500QL1     | 1.8984          |                                                                                     |      |      |      |
| S550QL1     | 1.8986          |                                                                                     |      |      |      |
| S620QL1     | 1.8987          | 60                                                                                  | 50   | 40   | 30   |
| S690QL1     | 1.8988          |                                                                                     |      |      |      |
| S890QL1     | 1.8925          |                                                                                     |      |      |      |
| S960QL1     | 1.8934          |                                                                                     |      |      |      |

Für Untermaßproben sind die Mindestwerte direkt proportional zum Querschnitt der Probe zu reduzieren.

<sup>a</sup> Ausnahmen bedingt durch Einschränkungen bei der Erzeugnisabmessung, siehe 9.2.3.3.

**Tabelle 4 — Mechanische Eigenschaften - Zugversuchseigenschaften bei Raumtemperatur**

| Bezeichnung |                 | Mindeststreckgrenze $R_{eH}$<br>MPa<br>Nennstärke<br>mm |                    |                     |                     | Zugfestigkeit $R_m$<br>MPa<br>Nennstärke<br>mm |                    |                     | Mindest-<br>bruchdehnung<br>%<br>$L_0 = 5,65 \sqrt{S_0}$ |
|-------------|-----------------|---------------------------------------------------------|--------------------|---------------------|---------------------|------------------------------------------------|--------------------|---------------------|----------------------------------------------------------|
| Kurzname    | Werkstoffnummer | $\geq 3$<br>$\leq 50$                                   | > 50<br>$\leq 100$ | > 100<br>$\leq 125$ | > 125<br>$\leq 200$ | $\geq 3$<br>$\leq 50$                          | > 50<br>$\leq 100$ | > 100<br>$\leq 150$ |                                                          |
| S460Q       | 1.8908          |                                                         |                    |                     |                     |                                                |                    |                     |                                                          |
| S460QL      | 1.8906          | 460                                                     | 440                |                     | 400                 | 550 bis 720                                    | 500 bis 670        |                     | 17                                                       |
| S460QL1     | 1.8916          |                                                         |                    |                     |                     |                                                |                    |                     |                                                          |
| S500Q       | 1.8924          |                                                         |                    |                     |                     |                                                |                    |                     |                                                          |
| S500QL      | 1.8909          | 500                                                     | 480                |                     | 440                 | 590 bis 770                                    | 540 bis 720        |                     | 17                                                       |
| S500QL1     | 1.8984          |                                                         |                    |                     |                     |                                                |                    |                     |                                                          |
| S550Q       | 1.8904          |                                                         |                    |                     |                     |                                                |                    |                     |                                                          |
| S550QL      | 1.8926          | 550                                                     | 530                |                     | 490                 | 640 bis 820                                    | 590 bis 770        |                     | 16                                                       |
| S550QL1     | 1.8986          |                                                         |                    |                     |                     |                                                |                    |                     |                                                          |
| S620Q       | 1.8914          |                                                         |                    |                     |                     |                                                |                    |                     |                                                          |
| S620QL      | 1.8927          | 620                                                     | 580                |                     | 560                 | 700 bis 890                                    | 650 bis 830        |                     | 15                                                       |
| S620QL1     | 1.8987          |                                                         |                    |                     |                     |                                                |                    |                     |                                                          |
| S690Q       | 1.8931          |                                                         |                    |                     |                     |                                                |                    |                     |                                                          |
| S690QL      | 1.8928          | 690                                                     | 650                |                     | 630                 | 770 bis 940                                    | 760 bis 930        | 710 bis 900         | 14                                                       |
| S690QL1     | 1.8988          |                                                         |                    |                     |                     |                                                |                    |                     |                                                          |
| S890Q       | 1.8940          |                                                         |                    |                     |                     |                                                |                    |                     |                                                          |
| S890QL      | 1.8983          | 890                                                     | 830                | 830                 | -                   | 940 bis 1 100                                  | 880 bis 1 100      | -                   | 11                                                       |
| S890QL1     | 1.8925          |                                                         |                    |                     |                     |                                                |                    |                     |                                                          |
| S960Q       | 1.8941          |                                                         |                    |                     |                     |                                                |                    |                     |                                                          |
| S960QL      | 1.8933          | 960                                                     | 850                | 850                 | -                   | 980 bis 1 150                                  | 900 bis 1 100      | -                   | 10                                                       |
| S960QL1     | 1.8934          |                                                         |                    |                     |                     |                                                |                    |                     |                                                          |

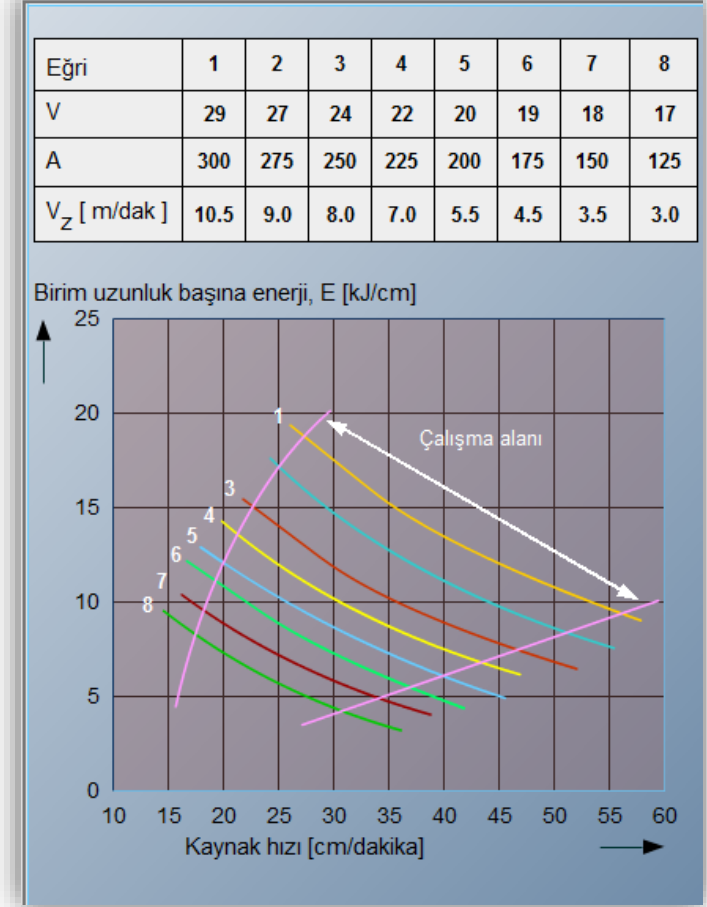
Su verilmiş – temperlenmiş / *quenched and tempered (Q)*,  
Düşük sıcaklıkta tok / *low temperature tough (L)*

## 2. Kaynak işlemi

Tokluk kaybı olmaması için birim uzunluk başına enerji, yeterli mukavemet özelliklerini garanti etmek için sınırlandırılır.

Soğuk çatlak riskini önlemek için kaynak ve punta kaynağında genel olarak en az 80° ile 150°C arası ön ısıtma uygulanmalıdır.

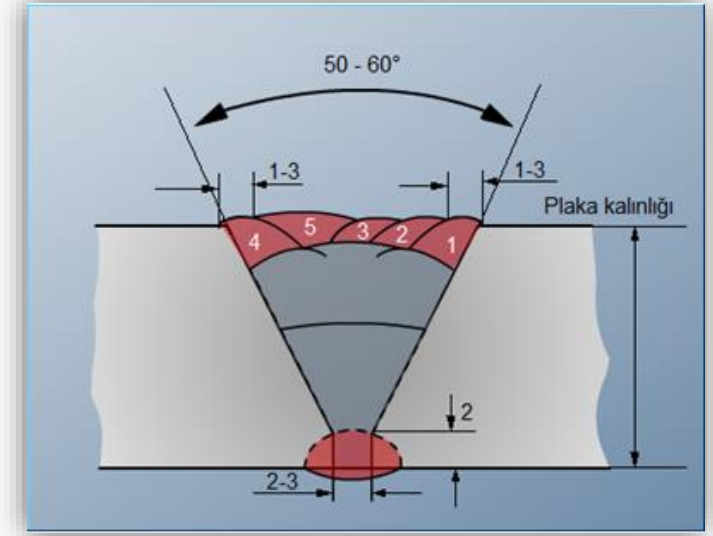
Pasolar arası sıcaklık en çok 200°C ile sınırlandırılmalıdır.



Yukarıda kaynak parametreleri ve gaz korumalı kaynak sırasında birim uzunluk başına maksimum enerji arasındaki ilişkiye örnek verilmiştir. (DVS 0916 2b)

## Kaynak İşlemi

- ✓ Çok pasolu teknik (çizgisel paso tekniği)
- ✓ Islah pasosu
- ✓ Tek pasolu köşe kaynaklarının punta boyu en az 50 mm uzunluğunda ve minimum kaynak dikişi kalınlığı 3-4 mm

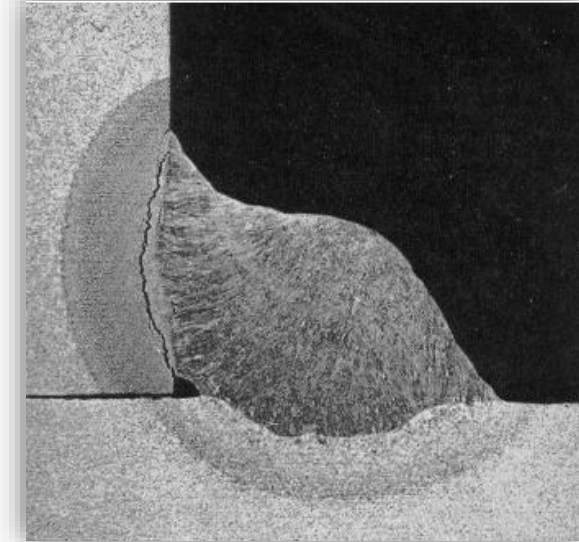
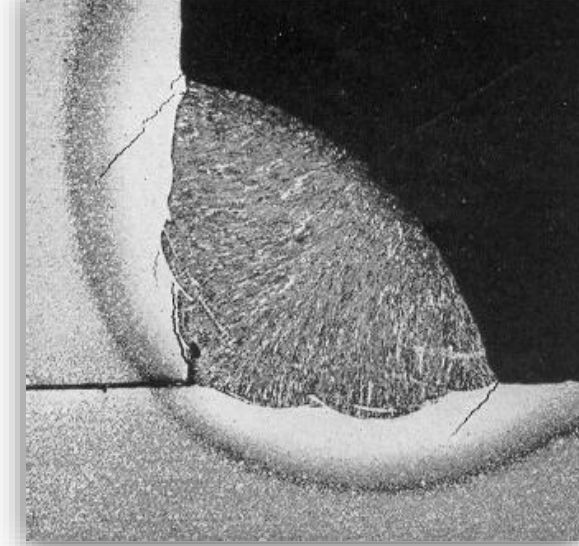


## Kaynak İşlemi

Soğuk çatlak, sertleşmeye bağlıdır.

Kaynak metalindeki hidrojen miktarının artması ile Hidrojenin tetiklediği soğuk çatlak tehlikesi de artar.

Isıdan etkilenmiş bölgede (IEB) martensit miktarının artması ile şekil değiştirme kabiliyeti (süneklik) düşer >>> (Soğuk çatlak riski !)



## Kaynak İşlemi

Akma mukavemeti  $> 460 \text{ N/mm}^2$  olan N ve Q ince taneli yapı çeliklerinde soğuk çatlakları önlemek için,

- Özellikle 30 mm üzeri kalınlıklarda, kaynaktan sonra yaklaşık  $200^\circ\text{C}$ 'de Hidrojen giderme tavlaması yapılması gereklidir. (Ref. EN 1011)
- Kaynak sırasında minimum ön ısıtma sıcaklığının altına soğutmaktan kaçınılmalıdır.
- Dolgu malzemelerinin doğru ve yeterli kurutulması



### **3. S960QL Kalite Yüksek Mukavemetli Çeliklerin Kaynağında Farklı Uygulamaların Sonuçlarının Karşılaştırılması**

## Dolgu Teli ve Elektriksel Parametrelerin Değişimi

G 69 4 Mn<sub>3</sub>Ni<sub>1</sub>CrMo (ER110S-G)

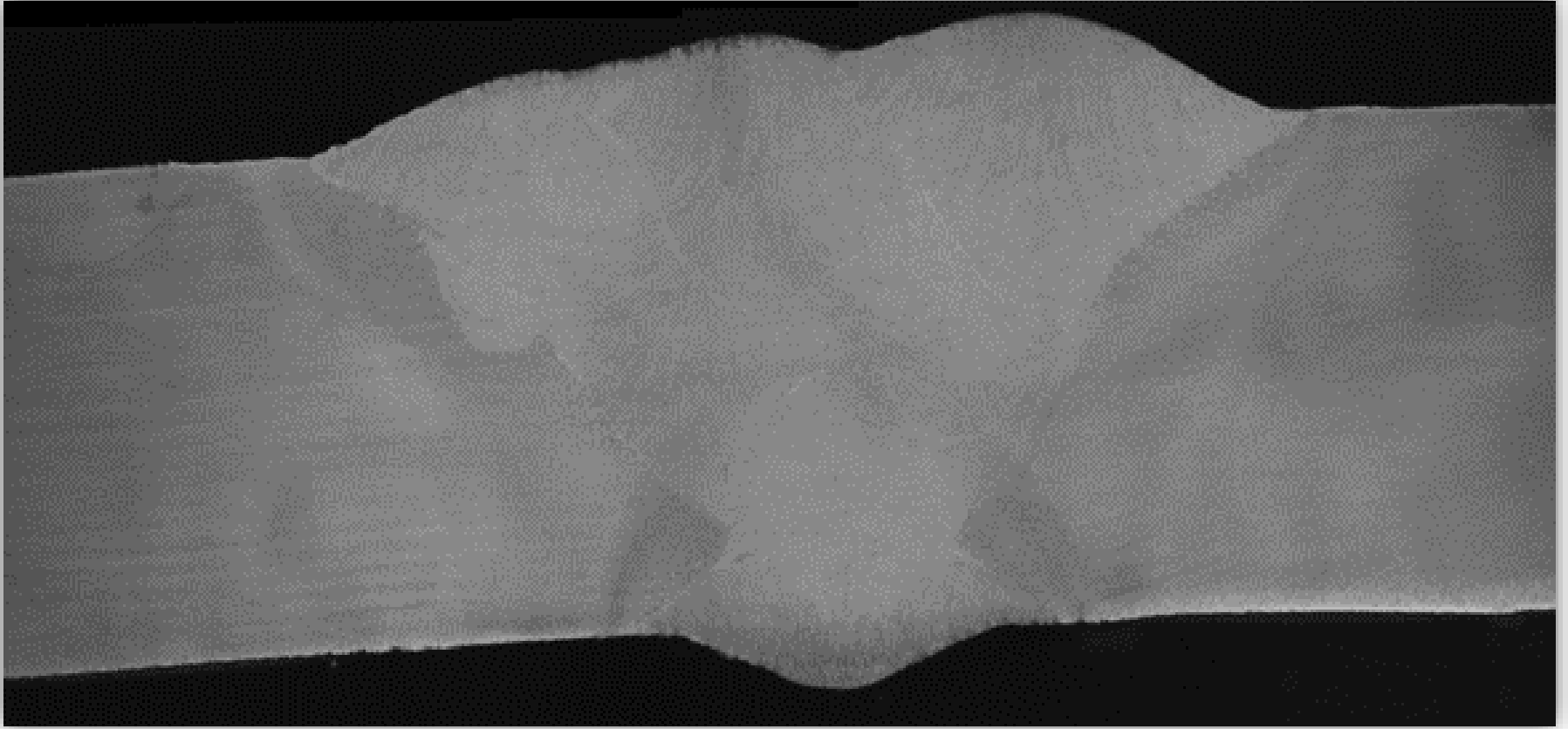
G 89 5 M Mn<sub>4</sub>Ni<sub>2,5</sub>CrMo (ER120S-G)

## Çalışma-1

| EN 10025-6 malzeme standardı ve ISO 15614-1 yöntem onayı standardına göre olması gereken mekanik değerler |                      |                          |                              |                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Ref. Çekme Muk.(MPa)                                                                                      |                      | Ref. Sertlik (HV)        |                              | Ref. ÇD                      |
| 980-1150                                                                                                  |                      | Maks. 450                |                              | -40 C°/30 J                  |
| <b>Başarısız</b> -135-BW bs-S960QL-12mm-G 69 4 Mn3Ni1CrMo- Tp: min.100°C Ti: maks.280°C                   |                      |                          |                              |                              |
| Ortalama Akım şiddeti (A)                                                                                 | Ortalama Gerilim (V) | Ortalama Tel hızı (m/dk) | Ortalama Kaynak hızı (mm/dk) | Ortalama Isı Girdisi (KJ/cm) |
| 250-260<br>*1.Paso 140-150                                                                                | 26-27                | 12<br>*1.Paso 6,7        | 392<br>*1.paso: 240          | 9.4 - 10.2                   |
| Maks. Sertlik(HV)                                                                                         | Min. Sertlik (HV)    | Çekme Değerleri (MPa)    | KM Tokluk Değerleri (J)      | HAZ Tokluk Değerleri (J)     |
| 362 (HAZ)                                                                                                 | 258                  | 782<br>772               | 77<br>56<br>71               | 32<br>40<br>28               |



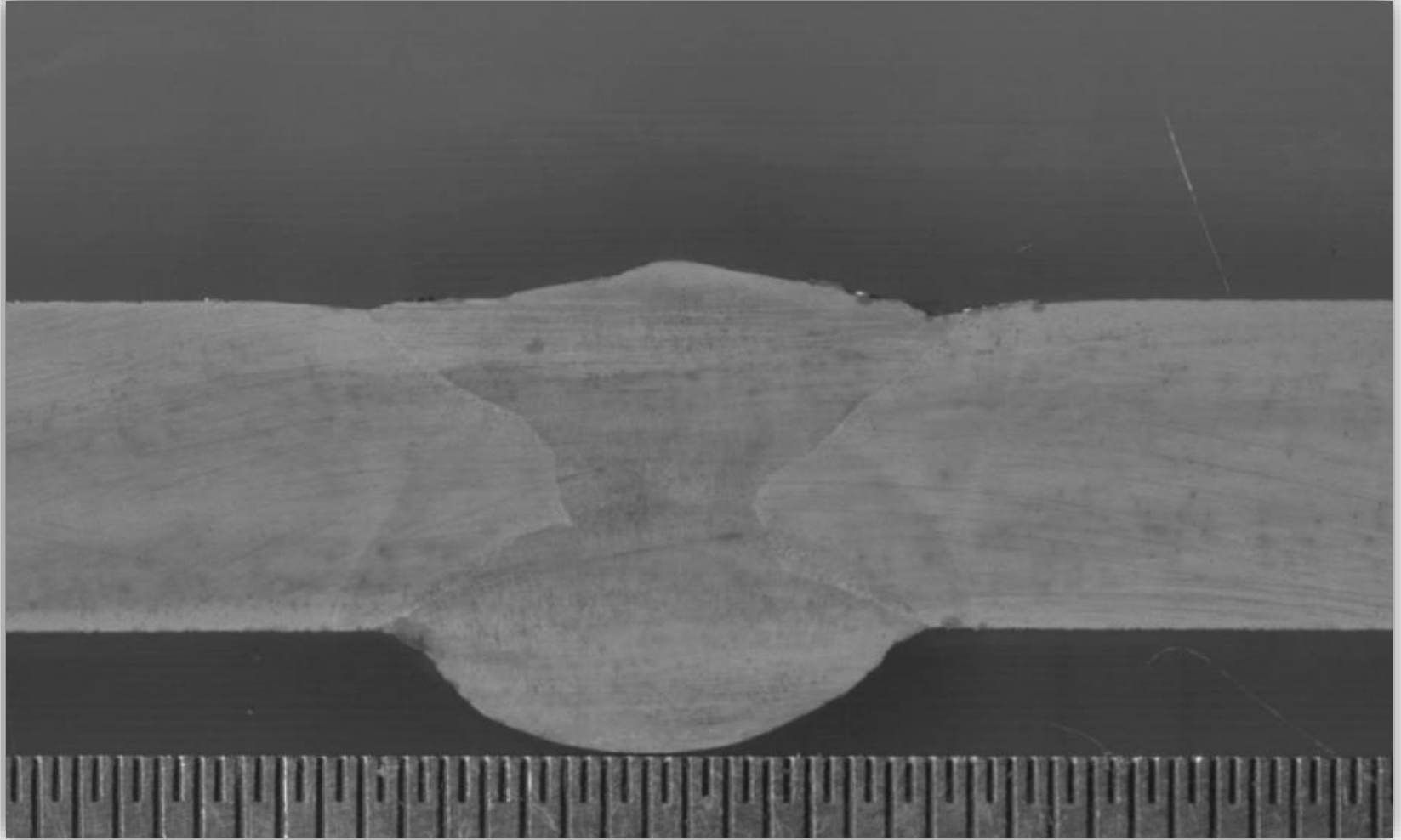
## Çalışma-1 Makro Kesit İncelemesi / S960 QL / 12mm / 7 Paso



## Çalışma-2

| EN 10025-6 malzeme standardı ve ISO 15614-1 yöntem onayı standardına göre olması gereken mekanik değerler |                      |                          |                              |                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Ref. Çekme Muk.(MPa)                                                                                      |                      | Ref. Sertlik (HV)        |                              | Ref. ÇD                      |
| 980-1150                                                                                                  |                      | Maks. 450                |                              | -40 C°/30 J                  |
| Başarılı-135-BW bs-S960QL-8mm-G 89 5 M Mn4Ni2,5CrMo- Tp:min.100°C Ti: maks.200°C                          |                      |                          |                              |                              |
| Ortalama Akım şiddeti (A)                                                                                 | Ortalama Gerilim (V) | Ortalama Tel hızı (m/dk) | Ortalama Kaynak hızı (mm/dk) | Ortalama Isı Girdisi (KJ/cm) |
| 165-175                                                                                                   | 24-25                | 6                        | 255                          | 7.4 - 8.2                    |
| Maks. Sertlik(HV)                                                                                         | Min. Sertlik (HV)    | Çekme Değerleri (MPa)    | KM Tokluk Değerleri (J)      | HAZ Tokluk Değerleri (J)     |
| 372 (HAZ)                                                                                                 | 300                  | 1026<br>1050             | 79<br>80<br>81               | 71<br>69<br>69               |

## Çalışma-2 Makro Kesit İncelemesi / S960 QL / 8mm / 3 Paso



## Koruyucu Gaz ve Elektriksel Parametrelerin Değişimi

%93 Ar + %2 O<sub>2</sub> + %5 CO<sub>2</sub> (M14 / EN ISO 14175)

%78 Ar + %2 O<sub>2</sub> + %20 CO<sub>2</sub> (M26 / EN ISO 14175)

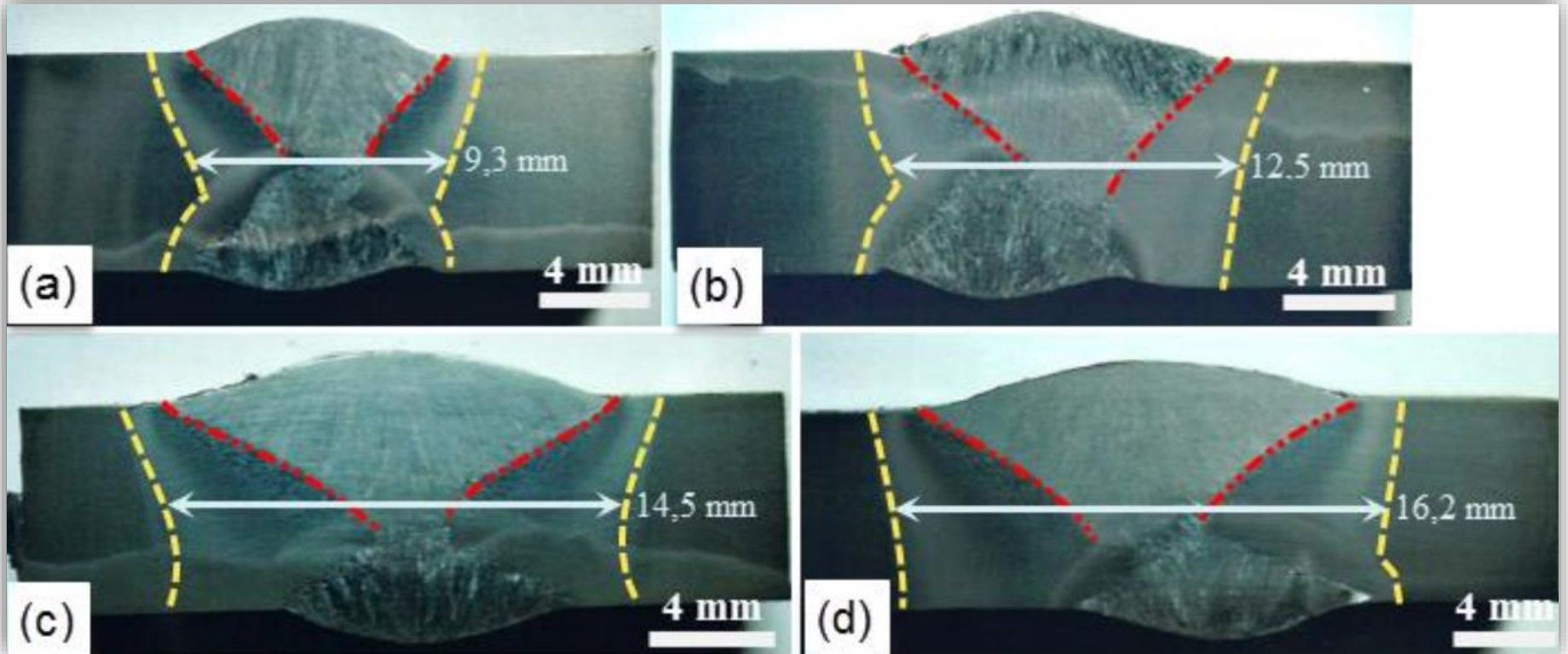
MAG yöntemiyle, S960QL kalite 8 mm plakada G 89 5 M Mn4Ni2,5CrMo dolgu telini kullanarak;

**185 A ve 215 A** iki farklı kaynak akımıyla,

**%93 Ar + %2 O<sub>2</sub> + %5 CO<sub>2</sub>** ve **%78 Ar + %2 O<sub>2</sub> + %20 CO<sub>2</sub>** olmak üzere iki farklı gaz kompozisyonu denenerek 4 farklı çalışma yapılmıştır.

| Çalışma kodu  | Gaz Kompozisyonu (%)                       | Akım (Amper, A) | Gerilim (Voltaj, V) | Tel Sürme Hızı (mm/dak) | Kaynak Hızı (mm/dak) | Isı Girdisi (kJ/mm) |
|---------------|--------------------------------------------|-----------------|---------------------|-------------------------|----------------------|---------------------|
| <b>185/5</b>  | 93Ar + 2O <sub>2</sub> + 5CO <sub>2</sub>  | 185             | 24,6                | 6,7                     | 224                  | 0,97                |
| <b>185/20</b> | 78Ar + 2O <sub>2</sub> + 20CO <sub>2</sub> |                 |                     |                         |                      |                     |
| <b>215/5</b>  | 93Ar + 2O <sub>2</sub> + 5CO <sub>2</sub>  | 215             | 27,1                | 8,5                     |                      | 1,25                |
| <b>215/20</b> | 78Ar + 2O <sub>2</sub> + 20CO <sub>2</sub> |                 |                     |                         |                      |                     |

185/5, 215/5, 185/20, 215/20 çalışmalarının makro kesit incelemesi



185/5 (a), 185/20 (b) / 215/5 (c), 215/20 (d)

## Sertlik testi değerleri

| Çalışma Kodu  | En düşük sertlik değeri | Nokta Yeri | En yüksek sertlik değeri | Nokta Yeri | Ortalama sertlik değeri |
|---------------|-------------------------|------------|--------------------------|------------|-------------------------|
| <b>185/5</b>  | 340                     | Ana malz.  | <b>399</b>               | IEB        | <b>377</b>              |
| <b>215/5</b>  | 310                     | Ana malz.  | 370                      | IEB        | <b>340</b>              |
|               |                         |            |                          |            |                         |
| <b>185/20</b> | 338                     | Ana malz.  | 385                      | IEB        | <b>355</b>              |
| <b>215/20</b> | <b>290</b>              | KM         | 345                      | IEB        | <b>315</b>              |

## Çekme testi değerleri

| Çalışma Kodu | Akma Dayanımı (MPa) | Akma Performansı (%) | Çekme Dayanımı (MPa) | Çekme Performansı (%) | Uzama (%) | Kopma Yeri |
|--------------|---------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------|------------|
| <b>185/5</b> | 969                 | 101,7                | 1043                 | 98,3                  | 4,87      | IEB        |
| <b>215/5</b> | 920                 | 96,6                 | 1018                 | 96                    | 4,08      | HAZ        |

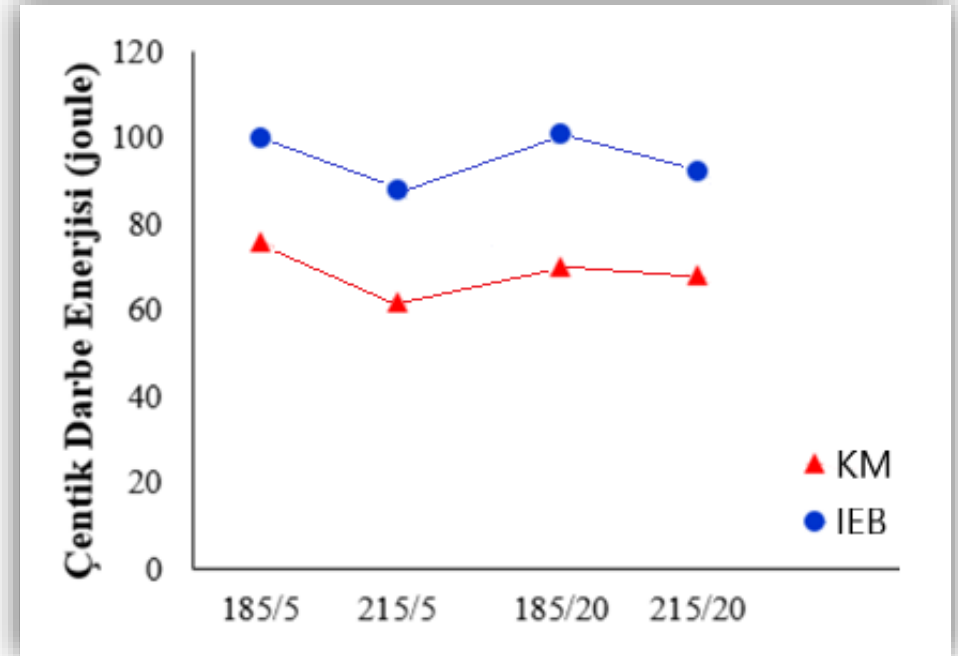
|               |     |      |      |      |      |     |
|---------------|-----|------|------|------|------|-----|
| <b>185/20</b> | 945 | 99,2 | 1031 | 97,2 | 4,24 | HAZ |
| <b>215/20</b> | 874 | 91,8 | 968  | 91,3 | 2,52 | KM  |



## Çentik darbe testi değerleri

Bu çalışma kapsamında darbe enerjisi için belirleyici faktör kullanılan akım değeridir.

En yüksek tokluk değerleri 185 A değerindeki kaynak denemelerinde elde edilmiş, bu akım şiddetiyle CO2 içeriğinin %5 veya %20 olması belirgin bir farklılığa neden olmamıştır (sırasıyla 100 ve 101 J).



## Sonuç

- Kaynak işleminde dolgu teli seçimi, kaynak sonrası mukavemet (özellikle çekme mukavemeti) özelliklerine önemli derecede etki etmektedir. Doğru kaynak parametreleriyle yapılan kaynak işleminde sonuçlar standartta verilmiş referans değerleri sağlayabilmektedir.
- Yapılan kaynak çalışmalarında akım şiddetinin arttırılmasının mekanik değerlere olumsuz etki ettiği görülmüştür.
- Daha kararlı ve düşük ark ısıyı elde etmek için koruyucu gaz seçimi önemlidir. Bu nedenle S960QL çeliğinin MAG kaynağı birleştirmelerinde koruyucu gazda bulunan CO<sub>2</sub> miktarının belirli bir değeri aşmaması gerekmektedir. Koruyucu gazda CO<sub>2</sub> miktarının %12'yi geçmemesi tavsiye edilmiştir.
- Akım şiddeti ve CO<sub>2</sub> oranındaki artışın, kaynak metali ve ısıdan etkilenen bölgelerdeki sertlikleri, mukavemet ve tokluk değerlerini düşürdüğü görülmüştür.

## Referanslar

**EN 10025-3:2005** Hot rolled products of structural steelsPart 3: Technical delivery conditions for normalized/normalizedrolled weldable fine grain structural steels

**EN 10025-4:2005** Hot rolled products of structural steelsPart 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

**HSS S960QL Çeliğinin MAG Kaynağında Kaynak Akımı ve Gaz Kompozisyonundaki CO2 Oranının Birleştirme Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi / Barlas Z / (2021) Journal of the Institute of Science and Technology**

*Dinlediğiniz için teşekkürler...*