

6717

T.C.  
MARMARA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KAYNAKLI BİRLEŞTİRMELERİN  
STATİK MUKAVEMET  
HESAPLARI**

HAZIRLAYAN  
Salih KUZUOĞLU

TEZ DANIŞMANI  
Yrd.Doç.Dr. Zarif ÇATALGÖL

METAL EĞİTİMİ  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

İSTANBUL 1997

T.C.  
MARMARA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

## KAYNAKLI BİRLEŞTİRMELERİN STATİK MUKAVEMET HESAPLARI

Salih KUZUOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd.Doç Dr. Zarf ÇATALGÖL

Jüri Üyeleri : Prof.Dr. İrfan YÜKLER

Doç.Dr. Muhittin ŞİMŞEK

Yrd.Doç.Dr. Serdar SALMAN

İstanbul 1997

## İÇİNDEKİLER

|          |                                                               |     |
|----------|---------------------------------------------------------------|-----|
| TEŞEKKÜR |                                                               | V   |
| ÖZET     |                                                               | VI  |
| SUMMARY  |                                                               | VII |
| BÖLÜM 1  | GİRİŞ VE AMAÇ                                                 | 1   |
| BÖLÜM 2  | KAYNAK KALİTESİ                                               | 3   |
| 2.1.     | KAYNAK KALİTE SEVİYESİNİN SEÇİMİNE TESİR EDEN ŞARTLAR         | 4   |
| 2.1.1.   | Çalışma Şartları                                              | 4   |
| 2.1.2.   | Malzeme Özellikleri                                           | 4   |
| 2.1.3.   | Geometrik Kusurlar                                            | 5   |
| 2.1.4.   | Hata Çıkma Riski                                              | 5   |
| 2.1.5.   | Tespit Edilemeyen Hata Riskleri                               | 5   |
| 2.1.6.   | Hatanın Sonuçları                                             | 5   |
| BÖLÜM 3  | ERGİME KAYNAKLI BİRLEŞTİRMEDE SÜREKSİZLİKLER                  | 6   |
| 3.1.     | KAYNAK SÜREKSİZLİKLERİ, OLUŞUM SEBEPLERİ VE ÖNLEME TEDBİRLERİ | 14  |
| 3.1.1.   | Konum Hatalı Parçalar                                         | 14  |
| 3.1.2.   | Yanma Oluğu                                                   | 15  |
| 3.1.3.   | Yetersiz Kaynak Doldurması                                    | 16  |
| 3.1.4.   | Aşırı Konkav Veya Konveks Dikişler                            | 16  |
| 3.1.5.   | Büzülme                                                       | 19  |
| 3.1.6.   | Aşırı Metal Yığılması                                         | 23  |
| 3.1.7.   | Katmer                                                        | 26  |
| 3.1.8.   | Ark Erimesi                                                   | 26  |
| 3.1.9.   | Yetersiz Ergime                                               | 27  |
| 3.1.10.  | Yetersiz Nüfuziyet                                            | 29  |
| 3.1.11.  | Yüzey Gözenekleri                                             | 30  |
| 3.1.12.  | Ark Çarpmaları                                                | 30  |
| 3.1.13.  | Sıçramalar                                                    | 31  |
| 3.1.14.  | Curuf İnkluzyonları                                           | 32  |
| 3.1.14.1 | Oksit İnkluzyonları                                           | 34  |
| 3.1.14.2 | Tungsten İnkluzyonları                                        | 34  |
| 3.1.15.  | Ark Kraterleri                                                | 34  |
| 3.1.15.1 | Krater Çatlağı                                                | 34  |
| 3.1.16.  | Porozite                                                      | 36  |
| 3.1.17.  | Tabakalaşma                                                   | 41  |

|           |                                        |    |
|-----------|----------------------------------------|----|
| 3.1.18.   | Katlamalar, Dikişler                   | 41 |
| 3.1.19.   | Çatlaklar                              | 41 |
| 3.1.19.1. | Krater Çatlakları                      | 46 |
| 3.1.19.2. | Enine Kaynak Metali Çatlakları         | 46 |
| 3.1.19.3. | Ana Metal Enine Çatlaklar              | 48 |
| 3.1.19.4. | Boyuna Kaynak Metali Çatlakları        | 48 |
| 3.1.19.5. | Ana Metal Ayakucu Çatlağı              | 48 |
| 3.1.19.6. | Dikişaltı Çatlakları                   | 48 |
| 3.1.19.7. | Ergime Hattı Çatlakları                | 49 |
| 3.1.19.8. | Kök Çatlağı                            | 49 |
| 3.1.19.9. | Kaynak Metali Şapka Çatlakları         | 49 |
| 3.2.      | LAMELER YIRTILMA                       | 49 |
| 3.3.      | KAYNAKLARDA KALİTE SEVİYESİNİN TESBİTİ | 55 |
| BÖLÜM 4   | YÖNTEMLER                              | 70 |
| 4.1.      | ÖRTÜLÜ ELEKTROD İLE ARK KAYNAĞI        | 70 |
| 4.1.1.    | Sıçramalar                             | 70 |
| 4.1.2.    | Yanma Olukları                         | 70 |
| 4.1.3.    | Kararsız Ark                           | 71 |
| 4.1.4.    | Porozite ve Yüzey Delikleri            | 71 |
| 4.1.5.    | Yetersiz Ergime                        | 72 |
| 4.1.6.    | Yetersiz Nüfuziyet                     | 72 |
| 4.1.7.    | Çatlaklar                              | 72 |
| 4.1.8.    | Curuf İnkluzyonları                    | 73 |
| 4.1.9.    | Katmer                                 | 73 |
| 4.2.      | TOZALTI ARK KAYNAĞI YÖNTEMİ            | 76 |
| 4.3.      | GAZALTI ARK KAYNAĞI YÖNTEMİ            | 86 |
| 4.3.1.    | Ark Voltajı                            | 86 |
| 4.3.2.    | Kaynak Akımı                           | 86 |
| 4.3.3.    | Kaynak İlerleme Hızı                   | 87 |
| 4.3.4.    | Elektrod uzunluğu                      | 87 |
| 4.3.5.    | Koruyucu Gaz                           | 87 |
| 4.3.6.    | Gazaltı Kaynak Hataları                | 88 |
| 4.3.6.1.  | Kaynak Metali Çatlaması                | 88 |
| 4.3.6.2.  | Porozite                               | 89 |
| 4.3.6.3.  | İnkluzyonlar                           | 89 |
| 4.3.6.4.  | Yetersiz Ergime                        | 89 |
| 4.3.6.5.  | Yetersiz Nüfuziyet                     | 89 |
| 4.3.6.6.  | Yanma Oluğu                            | 90 |
| 4.3.6.7.  | Kaynak Metali Erimesi                  | 90 |

|                |                                                               |     |
|----------------|---------------------------------------------------------------|-----|
| 4.4.           | <b>ÖZLÜ TEL ARK YÖNTEMİ</b>                                   | 91  |
| 4.4.1.         | <b>Gaz Üflemesiz Kaynak Yöntemi</b>                           | 91  |
| 4.4.1.1.       | Ark Voltajı                                                   | 92  |
| 4.4.1.2.       | Tel Besleme Hızı                                              | 92  |
| 4.4.1.3.       | Kaynak İlerleme Hızı                                          | 92  |
| 4.4.1.4.       | Elektrod Elektrik Boyu                                        | 93  |
| 4.4.2.         | <b>Gaz Üflemeli Kaynak Yöntemi</b>                            | 94  |
| 4.5.           | <b>TIG KAYNAK YÖNTEMİ</b>                                     | 95  |
| 4.5.1.         | <b>TIG Kaynak Yöntemlerinde Kaynak Süreksizlikleri</b>        | 95  |
| 4.5.1.1.       | Kaynak Tekniğine Bağlı Hatalar                                | 95  |
| 4.5.1.1.1.     | Tungsten İnkluzyonlar                                         | 95  |
| 4.5.1.1.2.     | Oksit İnkluzyonlar                                            | 96  |
| 4.5.1.1.3.     | Porozite                                                      | 96  |
| 4.5.1.1.4.     | Yanma Olukları                                                | 96  |
| 4.5.1.1.5.     | Yetersiz Ergime                                               | 97  |
| 4.5.1.1.6.     | Katmer                                                        | 97  |
| 4.5.1.1.7.     | Kaynak Dikiş Ergimesi                                         | 97  |
| 4.5.1.1.8.     | Çatlaklar                                                     | 98  |
| 4.6.           | <b>PLAZMA ARK KAYNAK YÖNTEMİ</b>                              | 99  |
| 4.7.           | <b>ELEKTROCURUF KAYNAĞI</b>                                   | 101 |
| <b>BÖLÜM 5</b> | <b>USTALIK STANDARTLARI</b>                                   | 105 |
| 5.1.           | <b>USTALIK STANDARDI KURALLARI</b>                            | 109 |
| <b>BÖLÜM 6</b> | <b>KAYNAKLI BİRLEŞTİRMELERDEKİ STATİK MUKAVEMET HESAPLARI</b> | 111 |
| 6.1.           | <b>KAYNAKLI KONSTRÜKSİYON TASARIMINA YAKLAŞIM</b>             | 111 |
| 6.1.1.         | Başlıca Tasarım Faktörleri                                    | 112 |
| 6.1.2.         | Kaynak Boyut ve Miktarı                                       | 112 |
| 6.1.2.1.       | Alt Montaj Gruplarının Kullanılması                           | 113 |
| 6.1.3.         | Tasarımcının Bilmesi Gereken Hususlar                         | 114 |
| 6.1.4.         | Kuvvetlerin Aktarımı                                          | 115 |
| 6.1.5.         | Uygulama Açısından Gözönüne Alınacak Hususlar                 | 117 |

|               |                                                   |            |
|---------------|---------------------------------------------------|------------|
| <b>6.2.</b>   | <b>KAYNAKLI KONSTRÜKSİYONLARIN HESABINA GİRİŞ</b> | <b>119</b> |
| <b>6.2.1.</b> | <b>Müsaade Edilen Gerilme</b>                     | <b>122</b> |
| 6.2.1.1.      | Alın Kaynaklarının Analizi                        | 122        |
| 6.2.1.2.      | Köşe Kaynaklarının Analizi                        | 123        |
| 6.2.1.3.      | Burulmaya Çalışan Kaynaklar                       | 129        |
| <b>6.2.2.</b> | <b>Amerikan Uygulamaları</b>                      | <b>131</b> |
| 6.2.2.1.      | Müsaade Edilen Makaslama ve Birim Kuvvetler       | 132        |
| 6.2.2.2.      | Tozaltı Nüfuziyetinde Tanıman Fazlalık            | 133        |
| 6.2.2.3.      | Köşe Kaynaklarının Minimum Boyutları              | 134        |
| 6.2.2.4.      | Kaynak Metali İçin Müsaade Edilen Gerilmeler      | 134        |
| <b>6.3.</b>   | <b>MUKAVEMET SORUNLARI</b>                        | <b>136</b> |
| <b>6.3.1.</b> | <b>Dış Köşe Birleştirmelerinin Mukavemeti</b>     | <b>136</b> |
| <b>6.4.</b>   | <b>KAYNAK MUKAVEMET HESAPLARI</b>                 | <b>144</b> |
| <b>6.4.1.</b> | <b>Alın Kaynakları</b>                            | <b>150</b> |
| <b>6.4.2.</b> | <b>Bindirme Kaynakları</b>                        | <b>160</b> |
|               | <b>KAYNAKLAR</b>                                  | <b>174</b> |
|               | <b>ÖZGEÇMİŞ</b>                                   | <b>175</b> |

## **TEŞEKKÜR**

Tezimi yöneten, Sayın hocam Yrd.Doç.Dr. Zarf ÇATALGÖL'e teşekkür ederim.

Mesleki çalışmalarımın yönlendirilmesinde her zaman tavsiye ve yardımlarını esirgemeyen Sayın hocam Prof.Dr.İrfan YÜKLER'e teşekkür ederim.

Tezimin tasnifinde ve yazılmasında bana yardım eden kıymetli ablacığım Selma GÜRSOY'a ve imkanlarını seferber eden çok kıymetli arkadaşım Sayın Arş.Grv. H.Özkan GÜLSOY'a teşekkür ederim

Beni büyük zorluklara katlanarak bu günlere getiren Anneme, Babama ve Aileme teşekkür ederim.

Tezime başladığım günlerde genç yaşta kaybettiğim sevgili eniştem Erdoğan BERBEROĞLU'nu rahmetle anıyorum.

## ÖZET

Hazırlanan bu tezin Birinci bölümünde kaynağın kalitesi,, İkinci ve Üçüncü bölümde kaynak hataları ve çözümleri incelenmiştir. Bunun sebebi kaynaklı birleştirmelerin statik mukavemetini direkt etkileyen kaynak hatalarının bilinmesidir. Kaynak hatalı bir birleşmenin mukavemet hesabının müspet netice vermesi beklenemez.

Dördüncü bölümde ise kaynak yöntemleri ve bu kaynak yöntemlerine bağlı olarak kaynak kusurları ve bunların giderilmesine ilişkin açıklamalar yer almıştır.

Beşinci bölümde iyi bir kaynakçada bulunması gereken hususlar ustalık standartları adı altında verilmiştir.

Altıncı bölümde Kaynaklı birleştirmelerin statik mukavemet hesaplarına giriş yapılmıştır. Kaynaklı birleştirmelerin statik mukavemet hesaplarında da gerekli ön açıklamalar yapılmış, Alın ve Bindirme Kaynakları başlığıyla, şekiller yardımıyla kaynaklı birleştirmelere ilişkin formüller irdelenmiştir.

## **SUMMARY**

The quality of welding in the first chapter, welding defects and their solutions in the second and the third chapter of prepared this thesis had been investigated. The welding defects which direct affect at the static rigidity of welding joints should be known. The calculations of rigidity that welding joints with welding defect is not true.

The welding processes and welding defects connected with welding processes and explanations about getting better welding defects had located in the fourth chapter.

The fifth chapter has constituted characteristics of a good welder and masterly standarts connected with a good welder.

The sixth chapter has constituted static rigidity calculations of welding joints. Some necessary foremost explanations about static rigidity calculations welding joints had done. Welding joints' formulas with helping figures had considered in the lap and butt welding headline.

# GİRİŞ

ve

## AMAÇ

Kaynak iki parçanın ısı ve / veya basınç tesiri altında birleştirilip tek parça elde etme yöntemidir. Birleştirme geometrisi uygulanan kaynak yöntemine bağlıdır. Elektrik ark kaynak birleştirmelerinde kaynak enerjisi, kullanılan sarf malzemesinin kimyasal bileşimi, iş parçalarının kimyasal bileşimi ve kaynak ağzı birleştirme geometrisini etkiler

Hazırlanan bu tezde öncelikle kaynak kalitesi, kaynak süreksizlikleri ve kaynak yöntemlerinde parametrelere bağlı olarak meydana gelen hatalar ve bu hataları önleme tedbirleri ele alınmıştır. Ayrıca usta kaynakçada bulunması gereken özellikler belirtilmiştir.

Bu konulara öncelikle yer verilmesinin sebebi kaynak hatalarının kaynak kalitesini belirlemesidir. Statik mukavemet hesapları kusursuz bir kaynakta müspet netice verir. Hatalı bir kaynakta yapılacak hesaplamalar güvenilir olamaz.

Kaynaklı birleştirmenin statik mukavemeti kaynak geometrisi, kaynak uzunluğu, kaynak metali, kimyasal bileşimi ve kaynak bölgesi mikroyapısına bağlıdır.

Son bölümde ise kaynaklı konstrüksiyon tasarımına açıklama ve kaynaklı konstrüksiyon kısmına giriş kısmı ve alın ve bindirme kaynak birleştirmelerinde burulma, eğme, normal ve kayma kuvvetlerinin tesiri altında statik mukavemet ile ilgili hesaplamalara yer verilmiştir.

Bu hazırlanan tez kaynak eğitimi yüksek lisans tezidir. Bu tezin tamamı literatür araştırması şeklinde hazırlanmıştır.

**Birçok kaynakta parça parça olan bilgiler bir bütün haline getirilerek kaynak konstrüksiyonu dersi yardımcı ders kitabı olarak kullanımı hedeflemiştir. Tezin içerdiği konular bahis konusu dersin müfredatının ancak belli bir kısmını içerdiği için yardımcı ders kitabı özelliğini taşımaktadır.**



## BÖLÜM 2. KAYNAK KALİTESİ

Kaynak edilmiş bir parçanın kullanım ömrü sırasında istenen emniyeti mümkün kılması için kaynaklı parçanın yeterli seviyede kalitesi veya kullanım amacına uygunluğu olması gerekir. Kalite izafi bir terimdir. Genellikle kaynaklı birleştirmelerde iş parçasının kullanım şartlarına bağlı olarak farklı seviyede kalite aranır. Kaynaklı konstrüksiyonda uygulanan kuvvet ve momentler, konstrüksiyonda kullanılan malzemeler ve bunların özellikleri, üretim şartları ile hizmet sırasında beklenen performans kalite seçiminde önemli olur. Kalite tasarım düşüncesinin içermelidir; yani her kaynaklı birleştirmede aşağıdaki hususlar gerçekleştirilmelidir.

- 1) İş parçasının tespit edilen ömür süresince hizmet vermesini mümkün kılacak yeterli tasarım hazırlanmalı,
- 2) Tasarım görüşlerine uygun malzemeler kullanılmalı ve tasarlanan kaynaklar yapılmalı,
- 3) Üretim ve koruma işlemleri uygun olmalı.

Kaynak kalitesi terimi dar anlamda bir kaynaktaki geometrik türdeki kusurların seviyesi olarak anlaşılmaktadır. Ancak bir kaynağın kullanım amacına bağlı olarak sertlik, kimyasal bileşim, tokluk gibi özelliklerin de terimin içinde yer alması gereklidir.

Bir kaynaklı iş parçasının çalışması sırasında oluşacak hasar türüne bağlı olarak kaynaktan beklenen emniyeti sağlayacak kalitenin seçimi yapılır. Genellikle emniyetli çalışma için gerekli kalitenin üzerinde bir kalite seviyesi uygulanır. Bu durumda da maliyette artışa yol açar.

Kaynak kalitesi kaynaklı birleştirmenin bütünlüğü ile doğrudan bağlantılıdır. Kaynaklı parçanın istenen ömürde öngörülen fonksiyonunu yerine getirmesini garanti edecek olan gerekli üretim ve muayene işlemleri kalitenin temelini teşkil eder. Ekonomik ve emniyet şartları kaynak kalite düşüncesini etkiler. Ekonomiklik şartı ürünün piyasa fiyatları ile rekabetini ister. Emniyet şartı ise çalışanları yaralama veya tesis ve cihazlara zarar verme ihtimallerini önlemeye çalışır.

Kaynaklı üretim için yayınlanmış olan standartlar, şartnameler ve nizamnameler kaynaklı parçanın emniyetli olarak çalışması için gerekli kaliteyi tanımlamıştır. Bu standartlarda belirtilen sınırlar minimum kabul edilmelidir. Ancak ciddi çalışma yapmadan kaynak şartnamelerinde tanımlanan sınırların çok üzerinde şartlar aramamak gereklidir. Ancak kritik uygulamalarda emniyeti sağlamak için standartların çok üzerine çıkmak gerekli olabilir.

Yapılan kaynakların kabul edilmesi genellikle tahribatsız muayene işlemlerinden sonra gerçekleşir. Tahribatsız muayene yöntemleri için bir kaynaklı birleştirmenin kabul ve red olma sınırları tam olarak tanımlanmıştır. Kusurlu kaynakların tekrardan yapılması ise kabul edilir kaynak seviyesine ulaşmak mümkün olur. Kaynaklı ürünü kullanan kişi standartlarda belirtilen minimum kalite şartlarını aynen koruyup koruyamayacağını, şartları arttırıp veya azaltacağına karar vermesi gerekir.

Anlatılanlardan anlaşıldığı gibi kaynak kalitesi tam olarak tanımlanamamıştır. Ekonomiklik ve emniyet faktörlerinin dikkatle değerlendirilmesini gözönünde tutan standart, şartname ve nizamnamelere bağlı olarak kalite tanımlaması genel olarak uygulanmaktadır. Özel şartlarda kaynaklı birleştirmede kaynak kalitesinin sınırı ise tasarım mühendisi veya kullanıcı tarafından tesbit edilmektedir.

## **2.1. KAYNAK KALİTE SEVİYESİNİN SEÇİMİNE TESİR EDEN ŞARTLAR**

Bir kaynaklı birleştirme için gerekli kalite gereksinimi tasarım ve muayene grupları tarafından müştereken tespit edilmelidir. Gereksiz yüksek kalite hiç bir avantaj sağlamadan üretim maliyetini arttırır. Düşük kalite seviyesi ise bakım onarım maliyetini arttırırken çalışmada da hizmet kayıplarına yol açabilir. Bu nedenle kalite derken amaca uygunluk prensibini anlamalıyız.

Yayınlanan standartlar ve tüzükler tecrübeye dayalıdır ve emniyet şartlarını sağladıklarını ispat etmişlerdir. Bu yayınlarda müsaade edilen gerilme değerleri, kaynak bölgesi özellikleri ve süreksizlikler tanımlanmıştır.

Standartlar dışında kalite sınırı seçilirken aşağıdaki faktörler gözönünde tutulur.

### **2.1.1. Çalışma Şartları**

- a)Gerilme Şiddeti : Gerilme şiddetinin fazla olmaması için uygun kesin ebatları seçilmelidir.
- b)Gerilme Türleri : Gerilmeler statik veya dinamik şeklinde olabilir. Dinamik yükler için ayrıca yorulma hesabı yapılmalıdır.
- c)Çalışma Sıcaklığı : Düşük sıcaklıklar gevrek kırılmaya, yüksek sıcaklıklar ise sürünmeye sebep olabilir.
- d)Korozyon ve Aşınma

### **2.1.2. Malzeme Özellikleri**

Tasarıma uygun özellikleri (Mukavemet, tokluk, korozyon direnci, aşınma direnci v.b.) olan malzeme kullanılmalıdır. Ayrıca kaynaklı üretim sırasında kullanılan düşük veya çok yüksek kaynak enerjisi tesiri ile kaynak sonrası ısı işlem ile malzeme özelliklerinde kayıplar meydana gelmemelidir.

### **2.1.3. Geometrik Kusurlar**

Geometrik kusurların çatlamaya veya sızıntıya yol açmaması için tasarıma dikkat edilmelidir. Kaynak üretimi sırasında bu hataların oluşmamasına dikkat edilmelidir.

### **2.1.4. Hata Çıkma Riski**

Kaynak kabiliyeti düşük metallerin kaynaklı birleştirilmelerinde, zor kaynak yapılan pozisyonlarda ve kaynak muayenesinin zor yapıldığı pozisyonlarda hata riski artar.

### **2.1.5. Tespit Edilemeyen Hata Riskleri**

İç köşe kaynaklarının iç hatalarını tespit etmek zordur. Muayenenin limitli uygulanabildiği kaynaklarda da risk yüksek olur.

### **2.1.6. Hatanın Sonuçları**

Hata ihtimalinin yüksek olduğu durumlarda yüksek kalite ve fazla miktarda muayene gereklidir. Hata ihtimali aşağıdaki şartlar ile doğru orantılı olarak artar.

- a) Kaynak birleştirme boyutu
- b) Yüksek enerji (Uzun kulelerde ve basınçlı kaplarda yüksek potansiyel enerji varken hareket halindeki tren veya gemide yüksek kinetik enerji vardır.)
- c) Üretim kaybı (Bir buhar kazan hatasının onarımı ucuz ve basit olabilir; ama kazanda ve sistemde üretim kaybı büyük olur.)

Belirtilen şartlardan anlaşılacağı gibi ayrıntılı (overal) kalite tasarım, üretim ve muayene işlemlerinin tümüne bağlıdır. Ayrıntılı kalite kaynaklı birleştirmenin ömründeki toplam maliyetin en düşük kalmasını sağlar. Düşük üretim maliyeti, düşük ağırlık, az kaynak, az kusur v.b. tek başına kalite seçiminde temel şart olamaz.

Optimum maliyet kalitesi üç şarta bağlıdır:

- (1) Tasarım maliyeti, üretim maliyeti, malzeme maliyeti, kalite garantisi ve finans,
- (2) Mümkün hata veya başarısızlık maliyeti,
- (3) Bakım onarım maliyeti dahil çalışma maliyetleri. Bir kaynaklı birleştirmelerde en düşük üretim maliyeti en düşük toplam maliyeti ifade etmeyebilir.

### **BÖLÜM 3. ERGİME KAYNAKLI BİRLEŞTİRMEDE SÜREKSİZLİKLER**

Bir kaynağın fiziki yapısındaki kesikliklere süreksizlik denir. Bu süreksizlik mekanik, metalurjik veya fiziki özelliklere sahip olabilir. Diğer bir tanımla süreksizlik, kaynakla birleştirilen iş parçasının malzemesinde veya birleştirme bölgesinde mekanik, metalurjik veya fiziksel özelliklerin homojenliğini bozan sebepler olarak tanımlanmaktadır. Kaynak birleştirmelerinde oluşan bir süreksizlik her zaman bir kaynak hatası olarak kabul edilmez. Kaynaktaki bir süreksizlik kaynaklı birleştirmenin kullanım amacı uygunluğuna engel teşkil ederse kaynak hatası olarak tanımlanır.

Ergime ile birleştirme yapılan kaynak işlemlerinde meydana gelen süreksizlikler başlıca üç gruba ayrılır:

Kaynak yöntemi ve kaynak uygulamasına bağlı oluşanlar, metalurjik mikroyapıdan dolayı oluşanlar ve tasarıma bağlı olarak oluşan süreksizlikler. Tablo 3.1’de bu üç ana gruba giren süreksizlikler liste olarak gösterilmiştir. Tablodaki süreksizliklerin tek bir gruba bağlı olarak oluştuğu düşünülmemelidir. Bazı süreksizliklerin oluşumunda bağlı olmadığı grupların da tesiri mevcut olabilir. Bu sınıflama AWS’nin (Amerikan Kaynak Cemiyeti) yaptığı sınıflamadır. DIN Normuna göre süreksizlikler iki gruba ayrılır; dış kusurlar ve iç kusurlar. Tablo 3.2’de DIN Normuna göre süreksizliklerin sınıflandırılması verilmiştir. Uluslararası Kaynak Enstitüsü (International Institute of Welding, IIW) süreksizlikleri çatlaklar, boşluklar, kalıntılar, yetersiz ergime ve nufuziyet, dış yüzey hataları ve çeşitli hatalar diye altı grupta incelenmektedir.

Metalik malzemeler ve bunların kaynak edilmesi ile oluşan konstrüksiyonlar mükemmel (hata ve süreksizlikten %100 arınmış olma durumu) değildir. Kaynaklı konstrüksiyonlarda tamir kaynağı olağan bir işlemdir. Bir kaynaktaki süreksizliklerin yeri, boyutu ve önemi tam tanımlandıktan sonra kabul edilir sınırdaki ise kaynak tamirine gidilmez. Süreksizlik hata halinde ise giderilmesi gerekir. Yani süreksizlikten yapılan kaynağın amacına veya kaynaklı konstrüksiyonun kullanım ömür süresine menfi tesir ederse kaynak hatasına dönüşür.

Kaynak hatası kaynak yapımı sırasında oluştuğu gibi iş parçasının kullanımı sırasında da oluşabilir. Mesela çeşitli sebeplere bağlı olarak kaynak bölgesinde yorulma çatlakları oluşabilir. Kaynak hatalarını tespit edebilmek için tahribatsız muayene yöntemlerinden faydalanılmaktadır. En fazla kullanılan tahribatsız muayene yöntemleri ile ilgili kısa bilgiler Tablo 3.3’de özetlenmiştir. Bu yöntemler içerisinde en fazla kullanılan gözle muayene yöntemidir. Giderilmesi gereken kaynak hataları için hatalı bölge kesilir, gerekirse kaynak ağzı açılır ve yeniden kaynak (tamir kaynağı) yapılır.

Süreksizlikler kaynak bölgesinde gerilme yığılmalarına yol açarlar. Yani kaynak bölgesinde gerilme dağılımını etkilemektedirler. Kaynak metali ve ITAB'da meydana gelen gerilme konsantrasyonunun ana sebebi süreksizliklerdir. Kırılma mekaniği açısından kaynak süreksizlikleri düzlemsel (iki boyutlu) ve hacimsal (üç boyutlu) olarak sınıflandırılır. Çatlaklar, tabaka ayrımı, yetersiz ergime, yetersiz nüfuziyet gibi süreksizlikler düzlemseldir. Boşluklar ise hacimsaldır. İki boyutlu süreksizlikler çerçevesinde gerilme konsantrasyonu daha çok olur. Bu nedenle bunların kaynaktaki menfi tesiri daha fazladır.

Bu süreksizliğin kaynak bölgesindeki tesirini tam olarak bilmek için aşağıdaki özelliklerini göz önünde bulundurmak gerekir: Boyutları, keskinliği veya köşelerinin keskinliği, asal gerilmeler ve kalıntı gerilmelere göre yönelmesi, kaynak bölgesindeki konumu (dış yüzeye olan mesafesi). Boyutların tesirleri üst paragrafta açıklanmıştır. Süreksizliğin keskinliği arttıkça gerilme yığılma değeri artar. Kaynak bölgesine gelen gerilmeler veya kaynak bölgesinde oluşan kalıntı gerilmeler süreksizlikleri ilerletmeye veya yüzeylerin açıklığını arttırmaya teşvik edici konumda ise tehlike, risk artar; yani benzer hatalar içerisinde büyümesi kaynak gerilmeleri ile kolaylaşan hata daha tehlikelidir. Yüzeye çıkmış veya yüzeye yakın olan süreksizlikler yüzeyin altında kalmış olan benzer hatalardan daha zararlı rol oynarlar.

Uygulanan kaynak yöntemlerinde karşılaşılan süreksizlik türleri Tablo 3.4.'de gösterilmiştir.

Elektrik ark kaynak yöntemleri ile kaynak yapıldığında karşılaşılan süreksizlikler, azalan oluşum sırası ile aşağıda gösterilmiştir.

#### **Örtülü Elektrod İle Kaynak Yöntemi**

Curuf İnklüzyonları

Porozite

Yetersiz Ergime, Yetersiz Nüfuziyet

Yanma Oluğu

#### **Tozaltı Kaynak Yöntemi**

Yetersiz Ergime, Yetersiz Nüfuziyet

Curuf İnklüzyonları

Porozite

#### **Özlü Tel Kaynak Yöntemi**

Curuf İnklüzyonları

Porozite

Yetersiz Ergime, Yetersiz Nüfuziyet

#### **MIG-MAG Yöntemi**

Porozite

Yetersiz Ergime, Yetersiz Nüfuziyet

### **TIG Yöntemi**

Porozite

Yetersiz Ergime, Yetersiz Nüfuziyet

Kaynak süreksizliğinin oluşumunda etkin olan faktörler:

Kaynak yöntemi, kaynak parametreleri, kaynak geometrisi, sarf malzeme cinsi, konstruksiyonun rijitetisi (büzülmeleri sınırlama miktarı) olarak sınıflanabilir. Örtülü elektrodlu elektrik ark kaynak yönteminin uygulama yöntemine ve kaynağa uygulanan tahribatsız muayene yöntemine bağlı olarak tesbit edilen hatalar ve bunların yüzde oranları Tablo 3.5.'de görülmektedir.



**TABLO 3.1.**

**Kaynak Birleştirme Süreksizliklerinin Sınıflandırılması**

---

**1) Kaynak yöntemi ve uygulanmasına bağlı süreksizlikler**

**A- Geometrik Olanlar**

Konum Hatalı Birleştirme  
Yanma Oluğu  
Yetersiz Kaynak Doldurması  
Aşırı İç Bükey ve Dış Bükey Kaynak Düzeyi  
Aşırı Metal Yığılması  
Katmer  
Ark Erimesi  
Arkalık Kalıntısı  
Yetersiz Ergime  
Yetersiz Nüfuziyet  
Büzülme  
Yüzey Düzensizliği

**B- Diğerleri**

Ark Çarpmaları  
Curuf İnküzyonları  
Tungsten İnküzyonları  
Oksit Filmler  
Sıçramalar  
Ark Kraterleri

**2) Metalurjik Sebepli Olan Süreksizlikler**

**A- Çatlaklar**

Sıcak Çatlaklar  
Soğuk Çatlaklar  
Tekrar Isıtma, gerilme, giderme veya deformasyon yaşanması çatlakları  
Lameler Yırtılma

**B- Porozite**

Küresel  
Uzamış  
Solucan Boşluklar

**C- Ana Metalde Tabakaların Ayrılması**

**3) Tasarıma Bağlı Olan Süreksizlikler**

**A- Gerilme Konsantrasyonuna Yol Açan Sebepler (Kesit Değişimi, v.b.)**

**B- Kaynak Birleştirme Türü**

**TABLO 3.2.**

**DIN 8563'e Göre Kaynak Süreksizlikleri**

---

**I. DIŞ KUSURLAR**

Aşırı Yığılmış Kaynak Metali  
Yetersiz Metal Doldurma  
Hatalı Konumlu Kaynak  
İç Köşe Kaynaklarında Aşırı Asimetri  
Yanma Oluğu  
Açık Uç Kraterleri  
Yüzey Gözenekleri  
Yüzey Curuf Kalıntıları  
Sıçrama  
Ark Boşluğu  
Aşırı Nüfuziyet  
Kökte Ergime Noksanlığı  
Kökte Çatlak

**II. İÇ KUSURLAR**

Gaz Boşlukları  
Katı Kalıntılar  
Yetersiz Ergime  
Yetersiz Nüfuziyet  
Çatlaklar  
Krater Boşlukları

TABLO 3.3.

## TAHRİBATSIZ MUAYENE YÖNTEMLERİNİN ÖZELLİKLERİ

| MUAYENE YÖNTEMİ   | GEREKLİ TEÇHİZAT                                        | YAKALANAN HATA TÜRÜ                                    | DİĞER ÖZELLİKLER                                                                                |
|-------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ÇIPLAK GÖZLE      | Büyüteç ve Basit Ölçme Aletleri                         | Yüzey Süreksizlikleri, Kaynak Dış Boyutları            | En yaygın kullanılan yöntem, çok ucuz ve basit                                                  |
| PENETRAN SIVI     | Penetran Sıvı, Penetra Developer                        | Yüzeye Çıkan Süreksizlikler                            | Yüzey hazırlığı gerektirir. Çok zaman alır.                                                     |
| MAGNETİK PARTİKÜL | Demir Partikülleri                                      | Yüzeydeki veya Yüzeye Yakın Çatlak, Porozite, Curuf    | Sadece magnetik malzemelere uygulanır.                                                          |
| RADYOGRAFİK       | X veya Gama Işın Kaynağı ve Filmler ile Film Banyo Seti | Yüzey Altı Süreksizlikleri                             | Her metale uygulanabilir film ile kalıcı elde edilir, iç köşe kaynaklarında uygun sonuç vermez. |
| ULTRASONİK        | Ultrasonik Ünitesi ve Problem ile Referans Örnekleri    | En Küçük Yüzey Altı Süreksizliklerini Bile Tesbit Eder | Çok hassastır, hızla netice almır. Kalifiye personel gerektirir. Her metale uygulanır.          |

**TABLO 3.4. KAYNAK YÖNTEMİNE BAĞLI OLUŞAN SÜREKSİZLİKLER**

| <u>KAYNAK YÖNTEMİ</u> | <u>POROZİTE</u> | <u>CURUF</u> | <u>YETERSİZ ZERGİM</u> | <u>YETERSİZ NÜFÜZİYE</u> | <u>YANMA OLUĞU</u> | <u>KATMER CATLAK</u> |
|-----------------------|-----------------|--------------|------------------------|--------------------------|--------------------|----------------------|
| PLASMA ARK            | X               |              | X                      | X                        |                    | X                    |
| ÖRTÜLÜ ELEKTROD       | X               | X            | X                      | X                        | X                  | X                    |
| TIG                   | X               |              | X                      | X                        |                    | X                    |
| MIG-MAG               | X               | X            | X                      | X                        | X                  | X                    |
| ÖZLÜ TEL              | X               | X            | X                      | X                        | X                  | X                    |
| TOZALTI               | X               | X            | X                      | X                        | X                  | X                    |
| ELEKTRO CURUF         | X               | X            | X                      | X                        | X                  | X                    |
| LASER                 | X               |              | X                      |                          |                    | X                    |
| ELEKTRON IŞINI        | X               |              | X                      |                          |                    | X                    |
| OKSİASETİLEN          | X               |              | X                      | X                        |                    | X                    |
| SÜRTÜNME              |                 |              | X                      | X                        |                    |                      |
| ULTRASONİK            |                 |              | X                      |                          |                    |                      |
| PUNTA                 |                 |              | X                      |                          |                    | X                    |
| DİKİŞ                 |                 |              | X                      |                          |                    | X                    |

**TABLO 3. 5.**

**Manuel ve otomatik yapılan kaynaklarda tahribatsız muayene yöntemleri ile tesbit edilen kaynak süreksizlikleri,**

| <b><u>Manuel Kaynak</u></b>                     |                      | <b><u>Otomatik Kaynak</u></b> |                |
|-------------------------------------------------|----------------------|-------------------------------|----------------|
| <b>Süreksizlik Türü</b>                         | <b>% Oranı</b>       | <b>Süreksizlik Türü</b>       | <b>% Oranı</b> |
| <b>Radyografik Muayene İle Tesbit Edilenler</b> |                      |                               |                |
| <b>Curuf</b>                                    | <b>35-40</b>         | <b>YE/YN*</b>                 | <b>30-40</b>   |
| <b>Porozite</b>                                 | <b>10-20</b>         | <b>Çatlaklar</b>              | <b>19-25</b>   |
| <b>YE/YN*</b>                                   | <b>8-20</b>          | <b>Curuf</b>                  | <b>5-25</b>    |
| <b>Çatlaklar</b>                                |                      | <b>Porozite</b>               | <b>5-15</b>    |
| <b>Ultrasonik Muayene İle Tesbit Edilenler</b>  |                      |                               |                |
| <b>Curuf</b>                                    | <b>50-60</b>         | <b>YE/YN*</b>                 | <b>50-60</b>   |
| <b>YE/YN*</b>                                   | <b>20-30</b>         | <b>Curuf</b>                  | <b>20-30</b>   |
| <b>Porozite</b>                                 | <b>5-30</b>          | <b>Porozite</b>               | <b>5-20</b>    |
| <b>Gözle Yapılan Muayenede Tesbit Edilenler</b> |                      |                               |                |
| <b>Yanma Oluğu</b>                              | <b>15-80</b>         |                               |                |
| <b>Yüzey Porozitesi</b>                         | <b>5-20</b>          |                               |                |
| <b>Curuf</b>                                    | <b>13 (Ortalama)</b> |                               |                |
| <b>Hatalı Kaynak Profili</b>                    | <b>2-15</b>          |                               |                |
| <b>YE/YN*</b>                                   | <b>7(Ortalama)</b>   |                               |                |
| <b>Krater Çatlağı</b>                           | <b>1-10</b>          |                               |                |

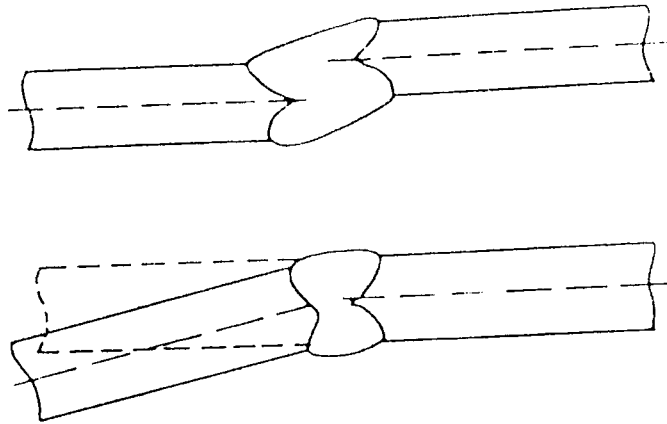
**\* (YE: Yetersiz Ergime; YN Yetersiz Nüfuziyet)**

### 3.1 KAYNAK SÜREKSİZLİKLERİ, OLUŞUM SEBEPLERİ VE ÖNLENME TEDBİRLERİ

Bu bölümde, kaynak yöntemi ve kaynak parametreleri ile metalurjik meydana gelen süreksizlikler üzerinde durulacaktır. Süreksizlikler tek tek tanıtıldıktan sonra oluşumunu önleyecek tavsiye tedbirler verilecektir. Tasarıma bağlı olarak oluşan süreksizlikler ise kaynaklı konstrüksiyon tasarımında yapılacak değişimler ile önlenemediğinden bu bölüme alınmıştır.

#### 3.1.1. Konum Hatalı Parçalar

Kaynak parçalarının kaynak öncesi hatalı yerleştirilmesi veya punto edilmesine bağlı olarak ortaya çıkan hata türüdür. Şekil 3.1.'de tipik konum hatalı kaynaklar görülmektedir. Kaynak edilen parçaların kaynak eksenleri ile çakışır konumda yerleştirilmemesi veya hatalı açıda yerleştirilmesi veya bu konumlarda puntolama yapıldıktan sonra kaynaklama yapılırsa bu hatalar meydana gelir. Kaynak öncesi yeterli dikkat gösterilmesi ile bu hata önlenir.



Şekil 3.1 Konum hatalı kaynak birleştirmeleri

### 3.1.2 Yanma Oluğu

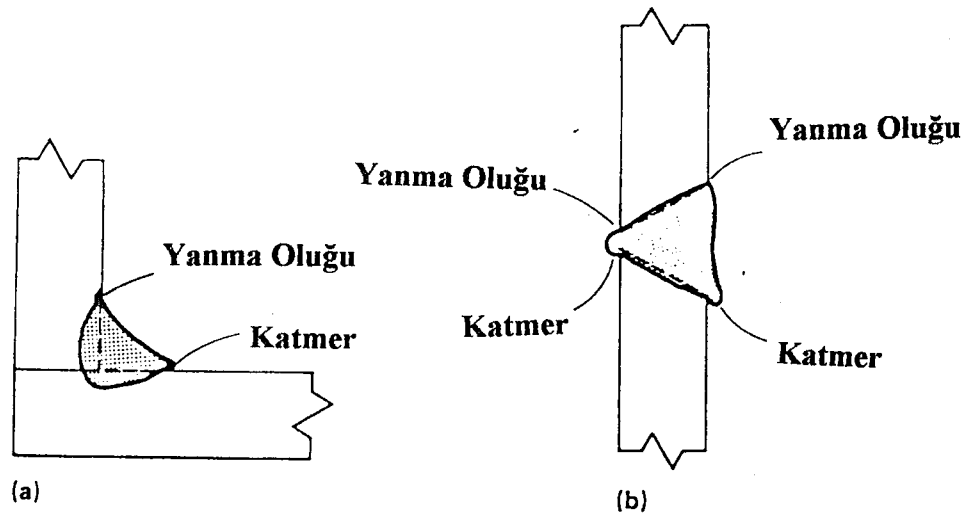
Yanma oluğu genellikle kaynakların kökünde veya ucunda ana metal ile kaynak metalin birleştii noktaya paralel olarak bulunur. Şekil 3.2.'de yanma oluklarını görmekteyiz. Şekil 3.2a 'da iç köşe kaynağı kökündeki yanma oluğunu görmekteyiz. Kaynak metalinin en dış (son) noktasını tam doldurulmaması yüzünden yanma oluğu meydana gelir.

Dikkatli incelenirse bütün kaynaklarda küçük veya büyük yanma oluğu meydana geldiğini görürüz. Kaynak kesidi metalografik olarak incelenirse yanma oluğu açıkça belli olur. Yanma oluğu yüzeyde bir çentik oluşturarak gerilme konsantrasyonu yapar. Gerilme Konsantrasyon şiddeti oluğun geometrisine bağı olarak değışir. Yanma oluğu bilhassa iş parçası dinamik yükler altında çalışıyorsa veya düşük sıcaklıkta hizmet görüyorsa büyük tehlike arz eder. Eğer yanma oluğu standartların öngördüğü sıcaklıklar içinde kalırsa; yani derin veya keskin çentik oluşturmuyorsa kaynak hatası olarak kabul edilmez.

Dinamik yüklere maruz kalan kaynaklarda yanma olukları yorulma oluşumuna tesir eden önemli faktörlerden biridir. Dinamik yüklere maruz kalan parçalarda yanma olukları minimum olmalıdır.

Gözle görülebilecek kadar büyük olan yanma olukları hatalı kaynak parametrelerinden yüksek kaynak akımından veya her ikisinin beraber olmasından dolayı oluşur. Yanma oluğunu minimuma indirmek için alınması gereken tedbirler aşağıda verilmiştir.

- Akım yoğunluğunu düşürmek,
- Elektrod çapını küçültmek,
- Kaynak hızını azaltmak ve sabitlemek,
- Uygun aralık kullanmak,
- Elektrod açısı değıştirilerek ark kuvvetinin sıvı metali köşelerde tutması sağlanır.
- Aşırı elektrod zig zag hareketini önlemek.

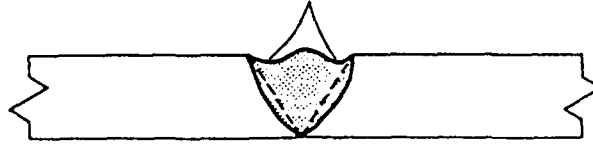


Şekil 3.2 Kaynak kesit geometrisini etkileyen süreksizlikler

### 3.1.3. Yetersiz Kaynak Doldurması

Kaynakçının tasarıma uygun olarak birleştirme bölgesini kaynak metali ile doldurmamasından oluşan süreksizliktir. (Şekil 3.3.) Bu süreksizlik kaynağın kesit alanını azaltarak yük taşıma kapasitesini azaltır ve ayrıca gerilme yığılması yaparak parçanın servisi sırasında hasara yol açar. Kaynak gerilimi, kaynak ilerleme hızı ve kök açıklığı azaltılarak yetersiz kaynak doldurma hatası minimize edilir. Gerekli görülürse kaynak bölgesine bir veya daha fazla paso çekilerek hata yok edilir.

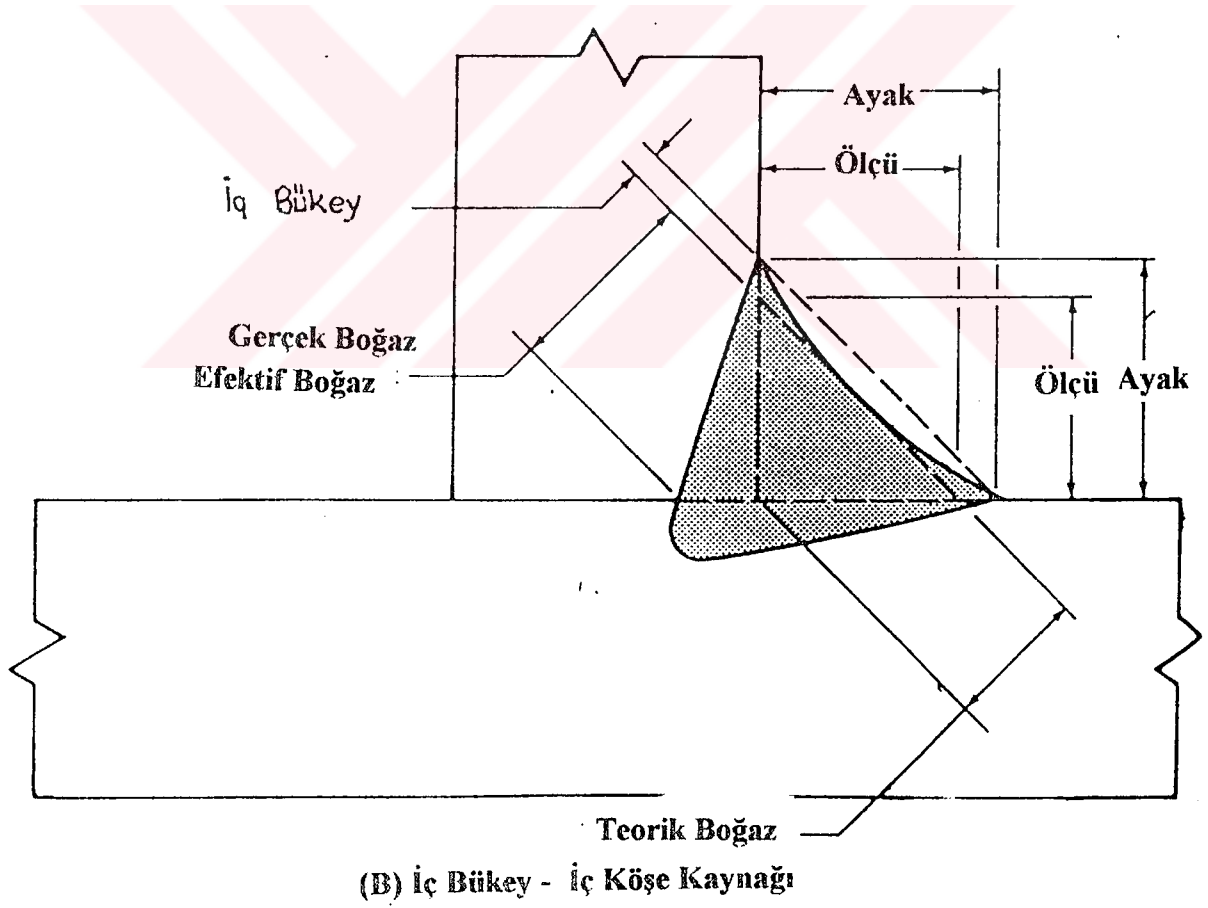
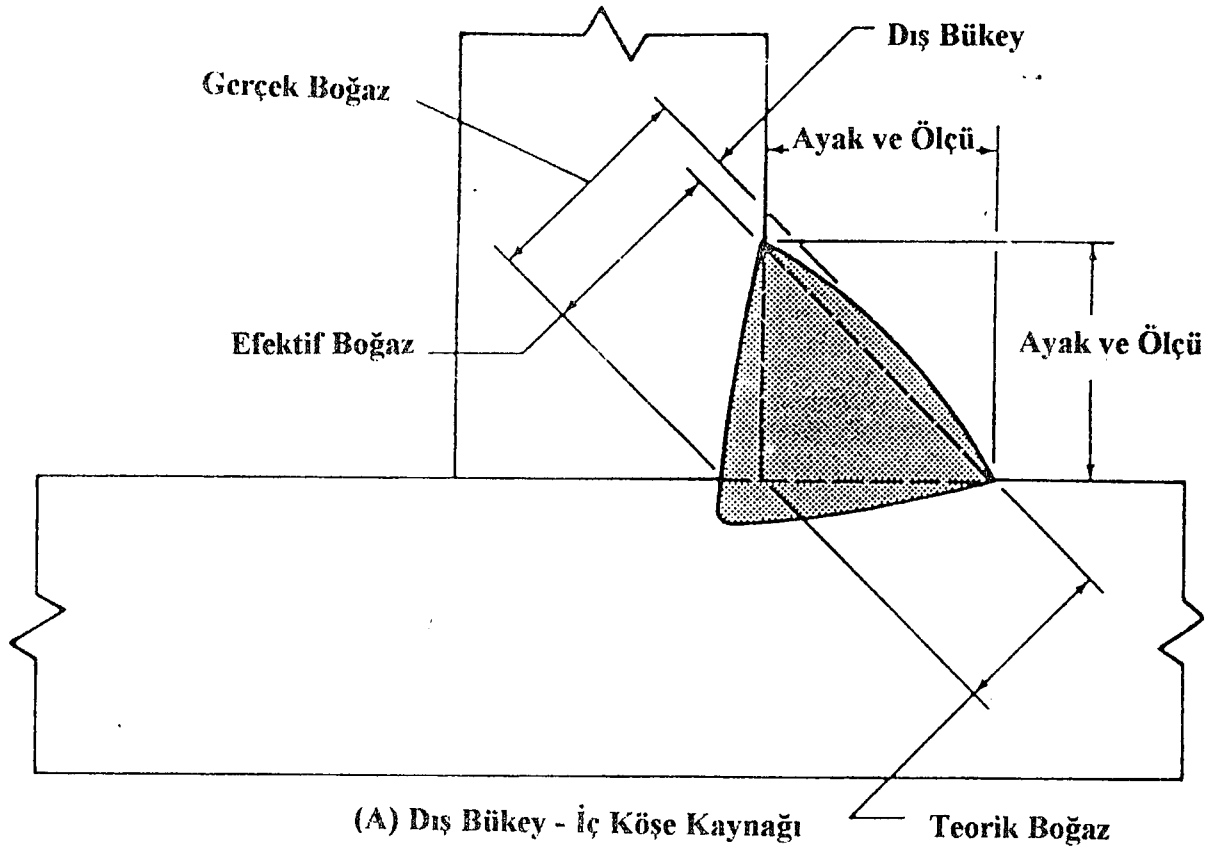
**Yetersiz kaynak Doldurması**



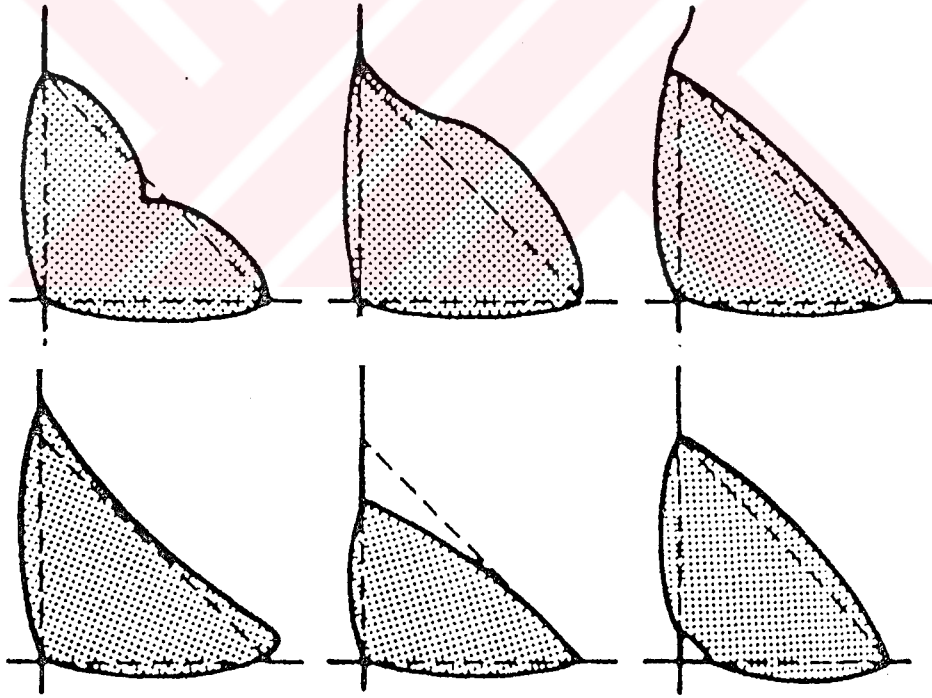
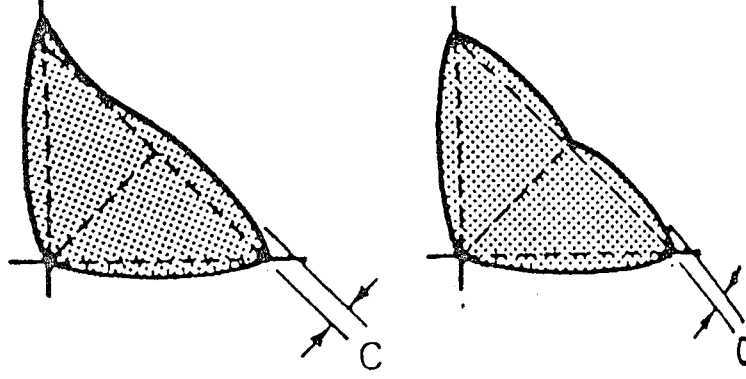
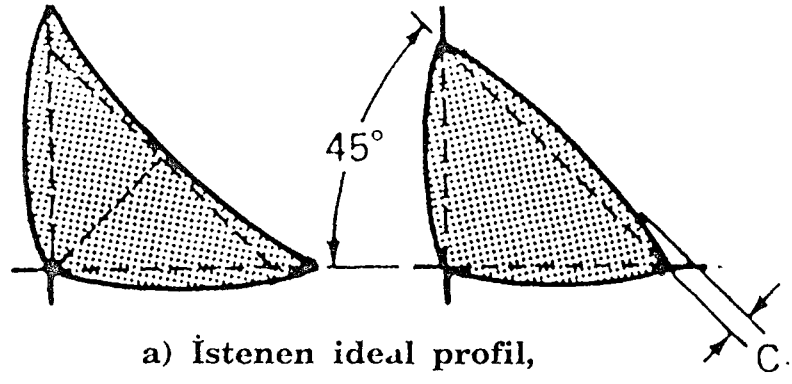
**Şekil 3.3 Tipik yetersiz kaynak doldurma süreksizliği**

### 3.1.4. Aşırı Konkav veya Konveks Dikişler

Bilhassa iç köşe kaynaklarında dikiş profili önemlidir. Şekil 3.4.'de iç köşe kaynaklarının profili görülmektedir. Kaynağın boğaz diye adlandırılan kısmı mukavemet için önemlidir. Kaynak dikişinin kesiti boğaz boyutunu tayin eder. Boğaz teorik, gerçek ve efektif olarak üçe ayrılır. Yük taşıyan gerçek boğazdır; ancak biz teorik hesaplamalarda teorik boğazı kullanırız. Fazla dışbükey kaynaklarda daha fazla metali mevcut olmasına rağmen kaynağın yük taşıma kapasitesi artmaz. Kaynakta içbükeylik arttıkça boğaz küçülür ve bunun sonucu olarak yük taşıma kapasitesi düşer. Şekil 3.5.'de arzu edilen, kabul edilebilir ve kabul edilemez iç köşe kaynak profillerini görmekteyiz. Kabul edilemez profillerde teorik boğaz istenilen seviyenin altına düşmüştür veya yığılan kaynak metali aşırı olduğundan ekonomiklik kaybolmuştur.



Şekil 3.5. İç Köşe Kaynağı Boyutları



Sekil 3.5. İç Köşe Kaynak Profilleri

### 3.1.5 Büzülme

Isıtılan bütün katı metaller genişir. Sıvı metallerin yoğunluğu katıdan daha küçük olur. Sıvı metal katılaşırken ve katılaşma sıcaklığından oda sıcaklığına soğurken büzülme gösterir. Kaynaklı birleştirmelerde sıvılaştıran kaynak metali ve çevresindeki ısınan bölgeler oda sıcaklığına soğurken büzülme gösterir. Bu büzülme engellenirse iç gerilmeler doğar. Bu gerilmelerin tesiri ile kalıntı gerilmeler, distorsiyon ve hatta çatlamlar oluşur. Kaynak şartlarına ve kaynaklı konstrüksiyonun rijitliğine (Büzülmelere engel olma durumuna) bağlı olarak bu üç şarttan biri oluşur.

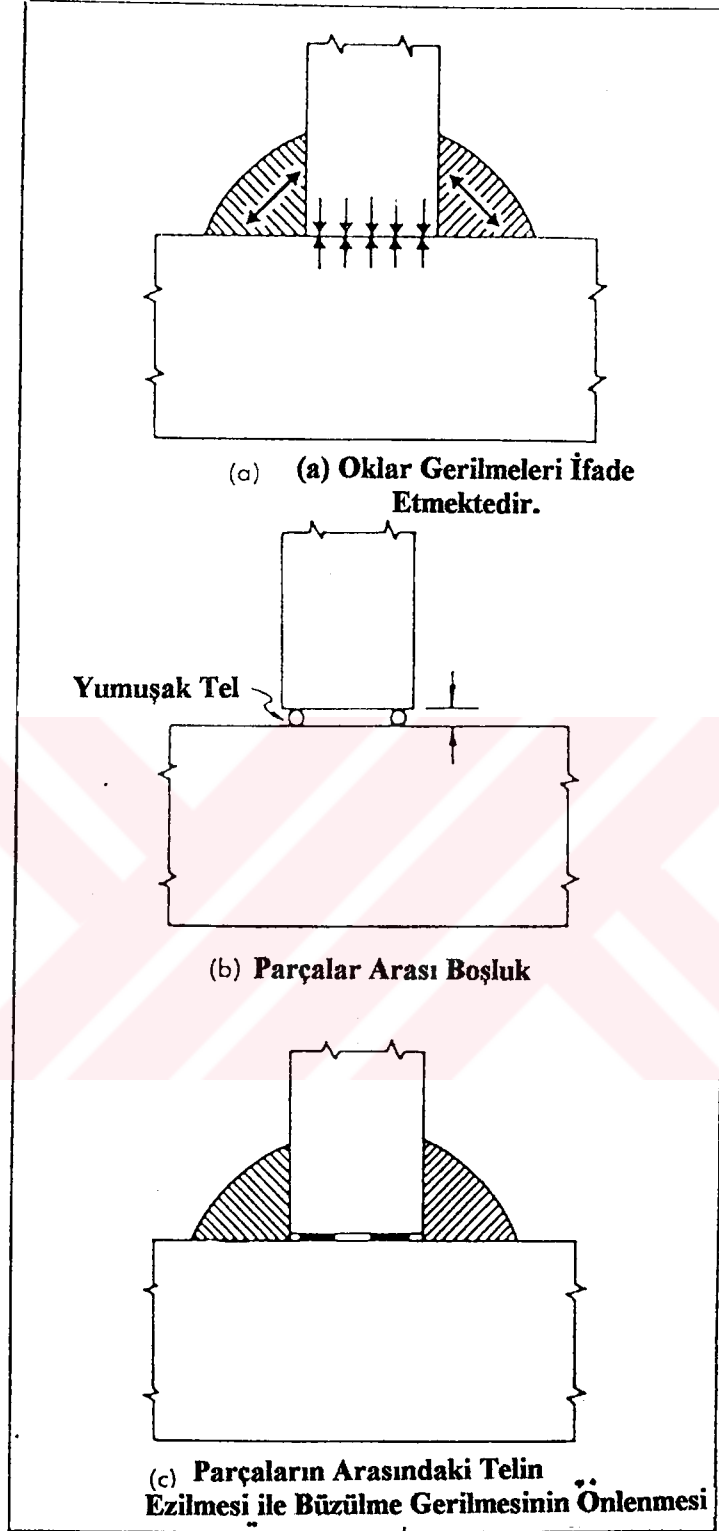
Kalın levhaların kaynağında kaynak metali bölgesi de geniş olur. Mesela kalın levhaların iç köşe kaynağında metal metale temas olduğunu düşünelim. (Şekil 3.6a) Kaynak soğuması sırasında levhaların hareket etmesi mümkün değildir. Bu nedenle büzülme sırasında oluşan bütün gerilmeler kaynak metalini etkileyecektir. Ancak levhalar arasında boşluk varsa levhalar birbirine gerilme tesiri ile yaklaşırsa kaynak metalinde oluşan gerilme şiddeti azalır. (Şekil 3.6 b ve c) Kalın levhaların iç köşe kaynaklı birleştirmelerinde levhalar arasında 0,8-1,6 mm boşluk bırakılır. Bu boşluk çeşitli yöntemlerle sağlanır:

- 1) Levhalar arasında yumuşak ve sünek çelik tel sokulur. Kaynak büzülürken bu teller gerilme ile yassılaşır. Eğer bakır tel kullanılırsa telin erimemesine dikkat edilir.
- 2) Alevli kesme ile kaba yüzey elde edilir. Kaynak büzülme gerilmeleri tesiri ile sivri kısımlar plastik şekil değişimine uğrar ve dikey parça yatay parçaya yaklaşır.

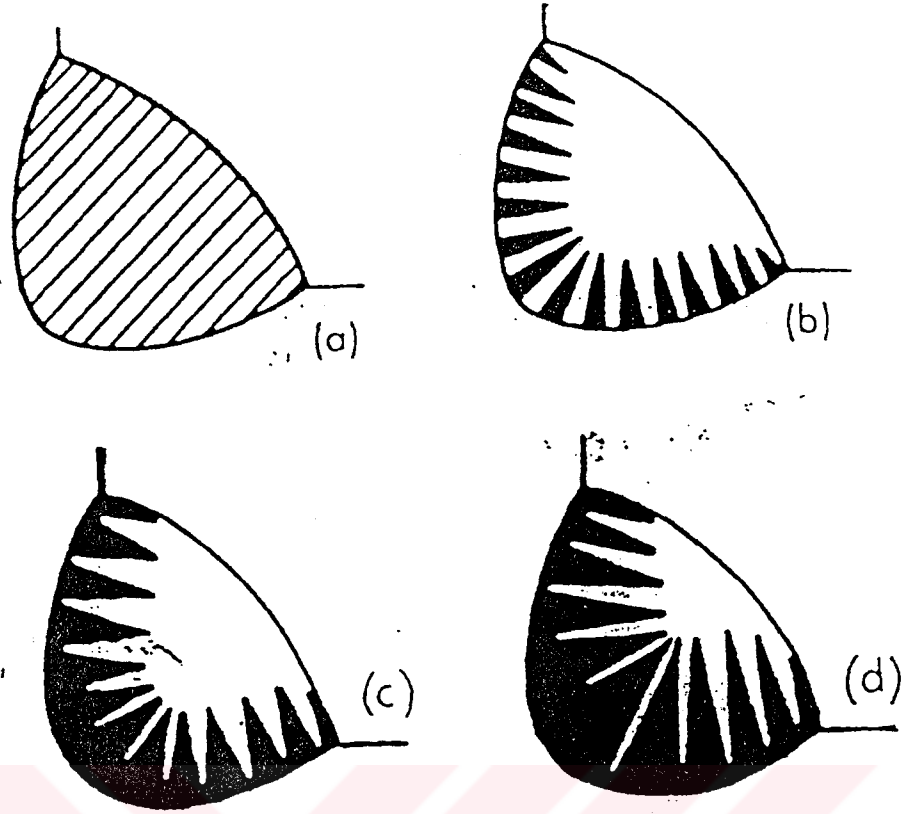
İç köşe kaynağında katılaşma şematik olarak Şekil 3.7.'de gösterilmiştir. Şekil 3.7 a'da sıvı metali görmekteyiz. Sıvı metalin ısısı esas olarak komşu sıvı metale akar ve bu akışa bağlı olarak katılaşma meydana gelir. Şekil 3.7.'nin b, c ve d bölümlerindeki siyah kısımlar katıyı, beyaz kısımlar ise sıvıyı temsil eder. En son katılaşan kısım kaynak merkez hattındaki düzlemde gerçekleşir. Bu düzlemde normal şartlarda çatlak olmaması kaynak geometrisine bağlıdır. Kaynak genişliğinin kaynak derinliğine oranı 1,0 - 1,4 arasında ise çatlama olmaz. Bu sınır aşıldığında Şekil 3.8'de görüldüğü gibi büzülme çatlama olur. Hatalı kaynak parametreleri, hatalı kaynak ağızları büzülme çatlama yol açar.

Kaynak dikişinin şekli de büzülme gerilmeleri üzerinde etkili olur. İç bükey ve dış bükey iç köşe kaynaklarının soğumasından sonra kaynak yüzeyinde oluşan gerilmeler Şekil 3.9'da görülmektedir. İç bükey yüzeyde çekme gerilmeleri oluşurken dış bükey yüzeyde çekme gerilmeleri oluşmaz ve basma gerilmeleri oluşur. Eğer yüzeyde büzülmeden dolayı büzülme çatlağı oluşursa dış bükey kaynak dikişi ile kaynak yapılmalıdır. Çok pasolu iç köşe kaynaklarında ilk dikiş dış bükey çekilir. Sonraki dikişler aşırıya kaçmadan iç bükey olabilir.

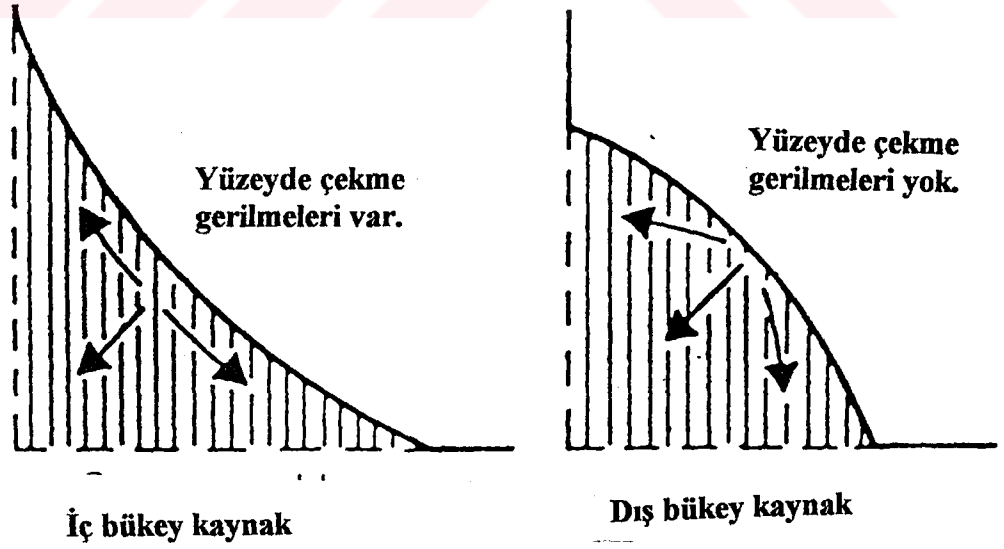
Dikiş geometrisi kaynak ağızı açılmış alın kaynaklarında da önemlidir. Çok pasolu kaynakların kök pasosunda hem de ara pasolarında büzülme çatlakları olabilir. Bu çatlakların olmaması için Şekil 3.10 ve 3.11'de görüldüğü gibi düz yüzeyli veya hafif dış bükey dikiş çekmek lazımdır. Ayrıca ara pasolarda kaynak genişliğinin yüksekliğe olan oranı da kontrol altında tutulmalıdır. Yukarıda verilen 1,0 - 1,4 oranı bu kaynaklar için geçerlidir.



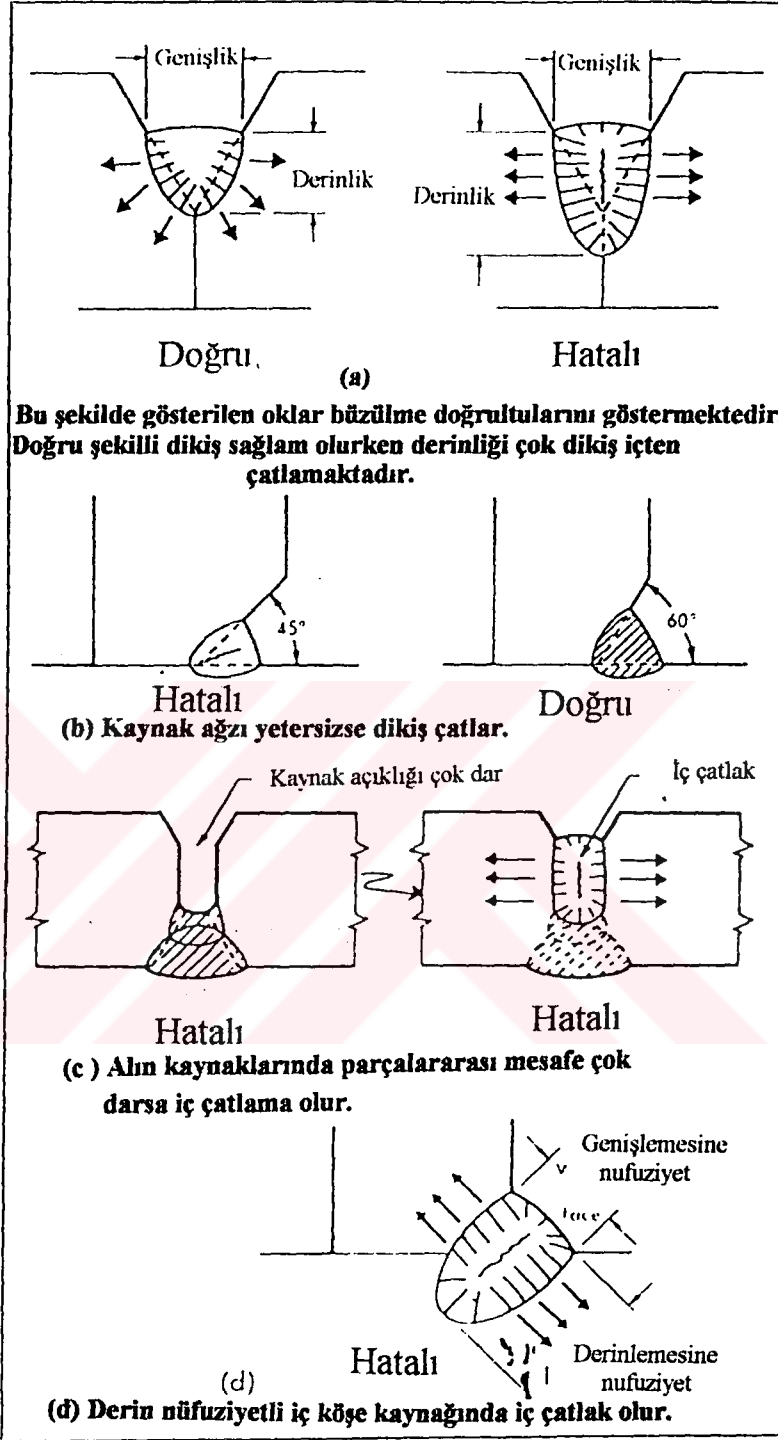
**Şekil 3.6. Kalın Levhaların İç Köşe Kaynağı ve Büzülme Gerilmeleri**



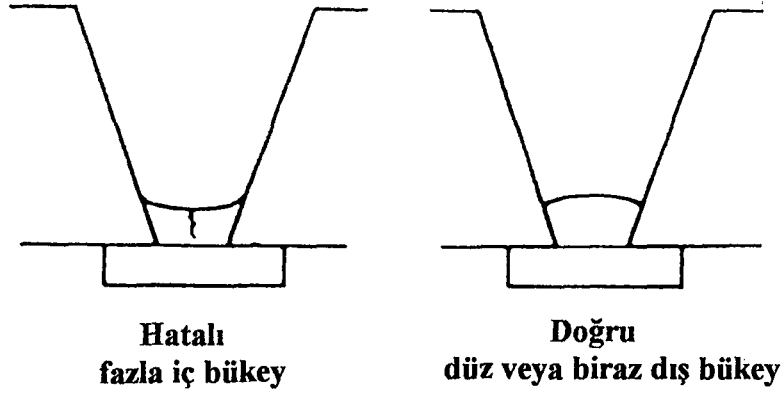
Şekil 3.7. İç Köşe Kaynağının Katılaşma Safhaları



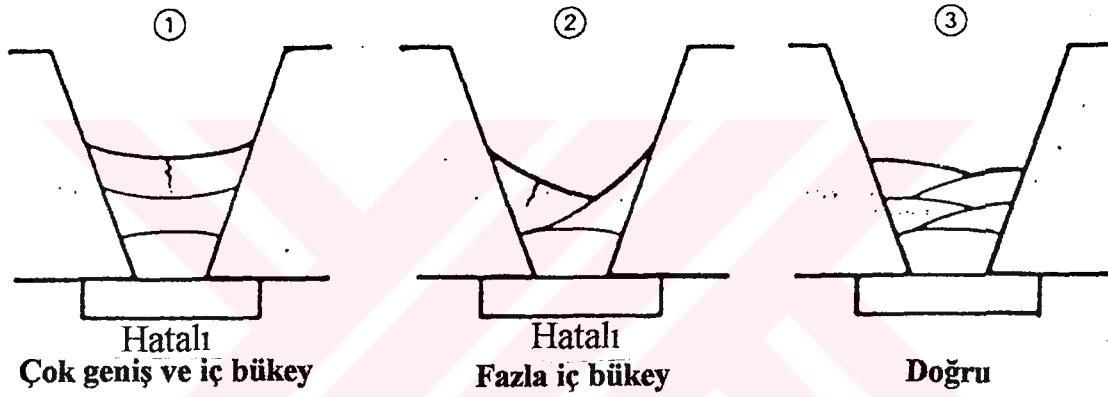
Şekil 3.9. İç Köşe Kaynak Yüzeyinde Oluşan Gerilmeler



**Şekil 3.8. Kaynak Ağzı Açılmış Kaynaklı Birleştirmelerde Dikiş Boyutları**



**Şekil 3.10. V Alın Kaynağı Kök Pasosunda Büzülme Çatlağı**

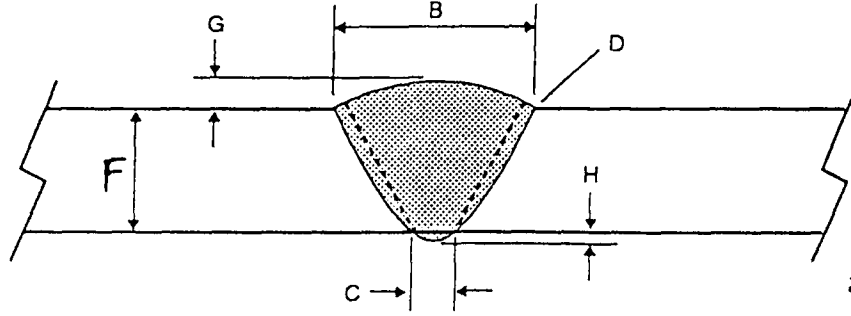


**Şekil 3.11. Çok Pasolu V Alın Kaynağında Ara Paso Büzülme Çatlağı**

### 3.1.6. Aşırı Metal Yığılması

Alın kaynaklarında Şekil 3.12’de görüldüğü gibi fazla kaynak metali vardır. Yetersiz kaynak doldurma hatası oluşmaması için kaynak metali gereğinden biraz fazla kullanılır. Gazla kaynak metali yığmak aşırı kaynak metali sarf edilmesine yol açar, maliyeti artırır.

Aşırı metal yığılması bilhassa yorulma mukavemetini etkilemektedir. Şekil 3.13 a ‘da alın kaynağında aşırı metal yığılma açısının nasıl ölçüldüğünü görmekteyiz. Eğer bu fazla kaynak metali uygun bir şekilde taşlanmazsa açı aynen kalır. (Şekil 3.13b) Ancak taşlama doğru uygulanırsa açı küçülür. (Şekil 3.13c) Alın kaynaklarında aşırı metal açısının yorulma mukavemeti üzerindeki tesirini Şekil 3.14’de görmekteyiz. Açı arttıkça yorulma mukavemeti azalmaktadır. Şekil 3.14’deki mukavemet değerleri  $2 \cdot 10^6$  kere tekrarlanan çekme gerilmeleri için tesbit edilmiştir.

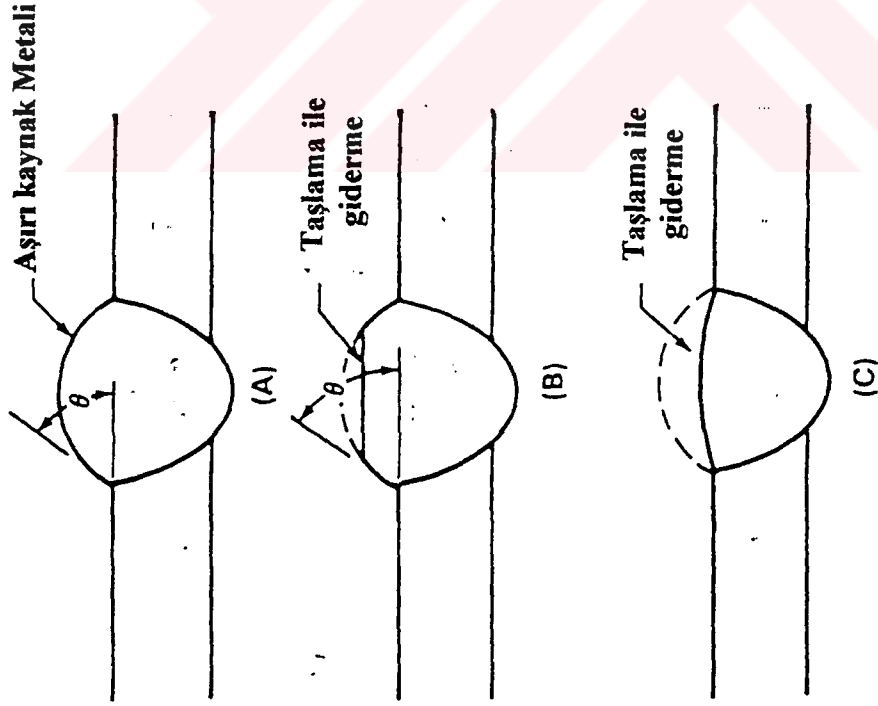


**Şekil 3.12. V Ahn Kaynağı Kesit Geometrisi**

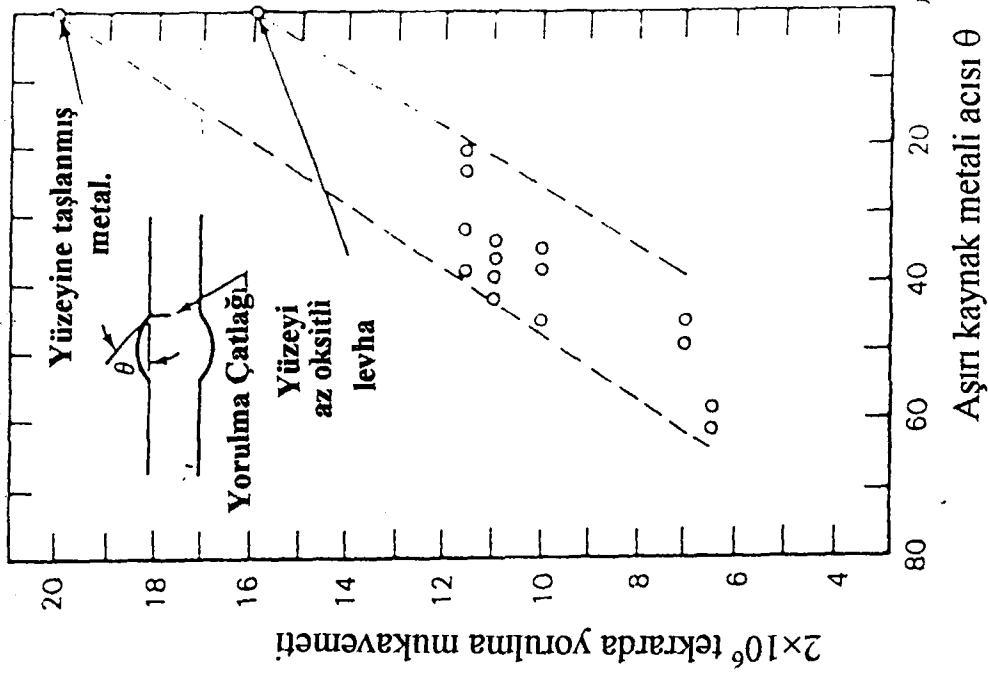
**\*G : Aşırı Kaynak Metali**

**\*H : Kök Takviyesinin Yüksekliğini Gösterir,**

**\*F : Nüfuziyet Derinliğini Gösterir.**



Şekil 3.13. (a) Aşırı Metal Yığılması Alın Kaynak Birleştirilmesi, (b) Yığılma Açısını Gösterir. (c) Aşırı Yığılma Metalin Hatalı Düzeltilmesi. (c.) Yorulma Şartlarında Çalışacak Uygun Birleştirme Profili.



Şekil 3.14. Kaynaklı Birleştirmede Aşırı Yığılma Kaynak Metali Açısını Yörulma Mukavemeti Üzerindeki Tesiri

### 3.1.7. Katmer

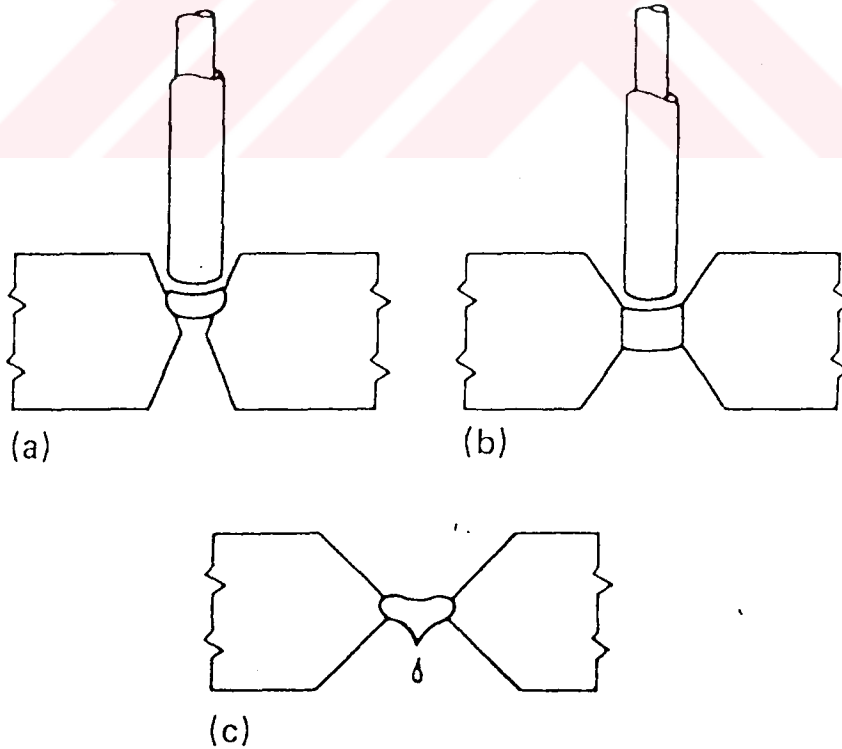
Kaynak metalinin kaynak dikişinin ucunda veya kökünden dışarı taşmasına katmer denir. (Şekil 3.2) Katmerin altındaki metal ile bağlantısı, nüfuziyeti yoktur. Bu nedenle katmer yetersiz ergimiş bir bölge oluşturur. Katmerler kaynak eksenine paralel çentikler oluşturur. Bu nedenle gerilme yığılmasına yol açarak servis sırasında çatlak başlamasına yol açabilirler.

Katmer oluşumunu en aza indirmek için tavsiye edilen tedbirler ise aşağıdadır:

- Kaynak ilerleme hızını arttırınız.
- Kaynak akımını yükseltiniz.
- İlave metal miktarını azaltınız.
- Ark kuvvetinin sıvı metali ana metalin erimemiş kısımları üzerine itmesini önleyecek uygun elektrod açısı ile çalışınız.

### 3.1.8. Ark Erimesi

Kaynak sırasında arkın altındaki metalin tamamen erimesi sonucunda kaynak metalinde bir delik oluşursa buna ark erimesi denir. Ark erimesini önlemek için kaynak enerjisi azaltılmalıdır. denir. Ark erimesini önlemek için kaynak enerjisi azaltılmalıdır. Yani akım düşürülmeli ve ilerleme hızı arttırılmalıdır. V, X, J alın kaynaklarında levhalar arası açıklık azaltılmalıdır. Kök pasosu yapılan ana metalin kalınlığı tamamen erimeyecek kalınlıkta olmalıdır. Şekil 3.15’de fazla kök açıklığı nedeni ile alın kaynağı kök pasosunda ark erimesinin oluşumu görülmektedir. Açıklığın uygun ayarlanması ile istenen kök pasosu elde edilir.

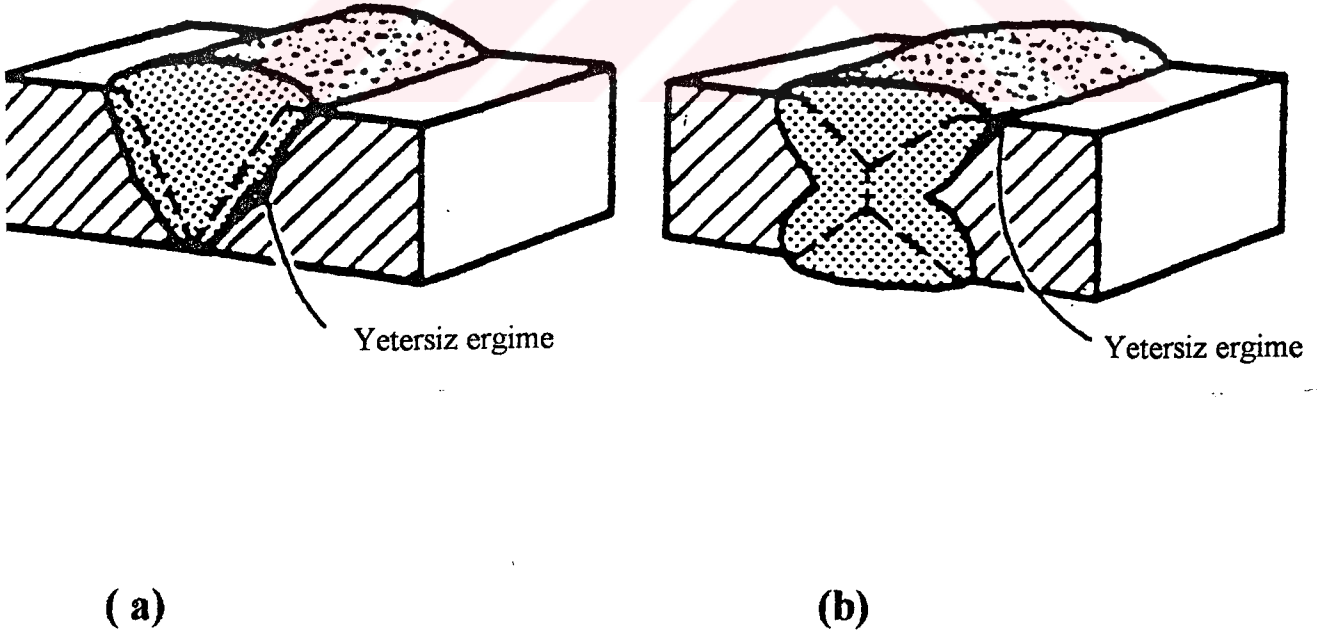


Şekil 3.15. Kök açıklığının kaynak birleştirmesindeki tesiri

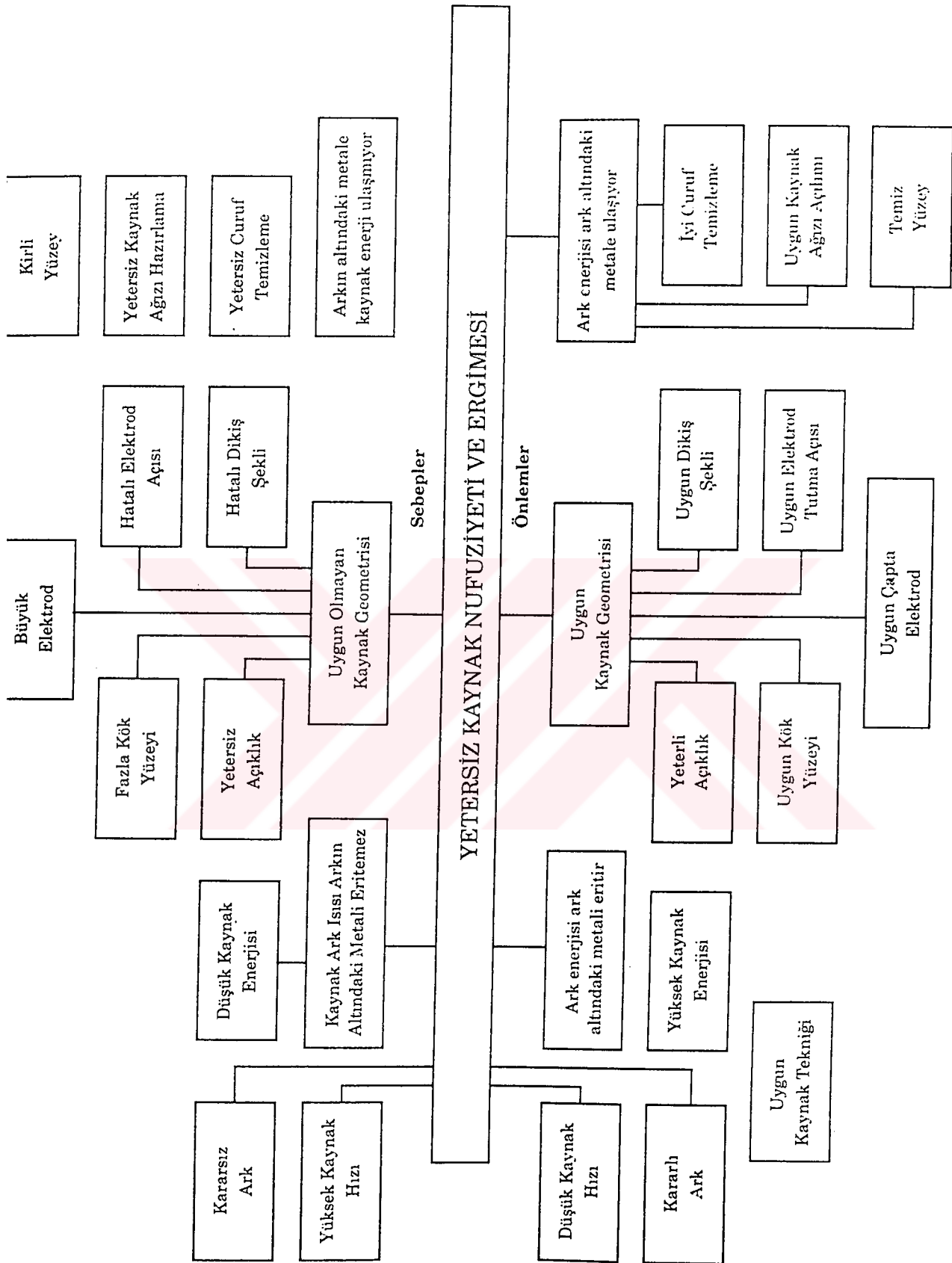
### 3.1.9. Yetersiz Ergime

Şekil 3.16'da yetersiz ergime şematik olarak görülmektedir. İş parçasının yüzeyinde veya köşelerindeki erime kaynak sırasında yetersiz kalınca birleşme eksik olmaktadır. Bu olay tek pasolu kaynaklarda olduğu gibi çok pasolu kaynaklarda da görülmektedir. Hatalı kaynak teknikleri, kaynak parçalarının yetersiz ön hazırlığı, yanlış birleştirme dizaynı gibi hatalar yetersiz ergimeye yol açar. Ana metalin kaynağa girecek yüzeyinin erimemesi de bu süreksizliğe yol açar. Bazı metallerde iş parçası yüzey erimesine rağmen kaynak metali ile birleşmez. Çünkü çok sıkı bağlayıcı karakterli oksitler metal yüzeyinde mevcuttur. Bu durum iş parçası yüzeyinin yetersiz temizlendiğini göstermektedir. Şekil 3.17'de yetersiz ergimeye tesir eden faktörler ve bunları önleme tedbirleri görülmektedir. Mesela yetersiz kaynak açıklığı büyütülürse veya büyük elektrod optimal boyutlu elektrod optimal boyutlu elektrod ile değiştirilirse yetersiz ergime önlenir.

Yetersiz ergime sonucu kaynak ilerleme doğrultusunda iki boyutlu bir hata oluşur. Hatanın kenar keskinliği direkt olarak oluşum hatalarına bağlıdır. Servis sırasında oluşacak gerilme konsantrasyonu da keskinlikle doğru orantılı olarak değişir.



Şekil 3.16 Yetersiz Ergime Süreksizliği. a) v kaynak, b) çift v kaynak birleştirmesi.

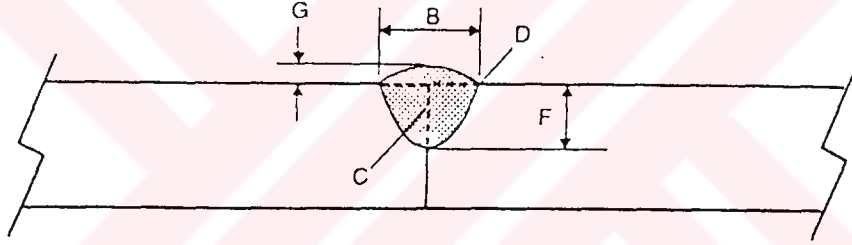


**Şekil 3.17. Yetersiz Kaynak Nüfuziyetine ve Yetersiz Erimeye Tesir Eden Faktörler ve Önlemler**

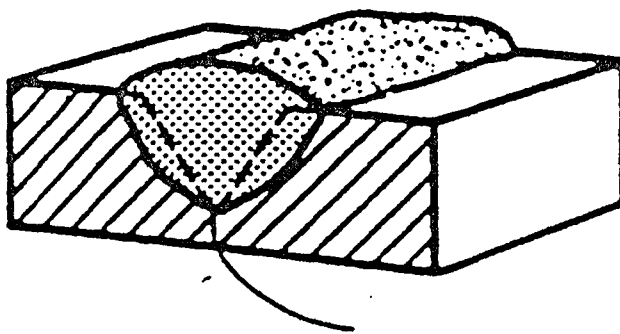
### 3.1.10. Yetersiz Nüfuziyet

Şekil 3.18’de küt alın kaynağında nüfuziyetin şematik tanımını görmekteyiz. Küt alın, V, X, J ve benzeri alın birleştirmelerinde nüfuziyet derinliği olarak en fazla olarak parça kalınlığı alınır. Farklı kalınlıkta iki parça alın kaynak ile birleştirilirse nüfuziyet derinliği olarak ince parçanın yüksekliği alınır. Yani nüfuziyet derinliğinde aşırı yığılan metal hesaba alınmaz. Tek pasolu veya çok pasolu kaynaklı birleştirmelerde yetersiz nüfuziyet ise Şekil 3.19’da görülmektedir. Bir kaynakta nüfuziyet kesinlikle belirtilmiş olan miktardan az ise bu birleşme uygulama için yetersiz kabul edilmektedir. Ancak kısmi nüfuziyetli kaynaklı birleştirmeleri de mevcuttur. (Bak. Şekil 3.20) Bu kaynaklarda bir hata bahis konusu değildir; çünkü tasarımda kaynak kısmi nüfuziyetli olarak belirtilmiştir.

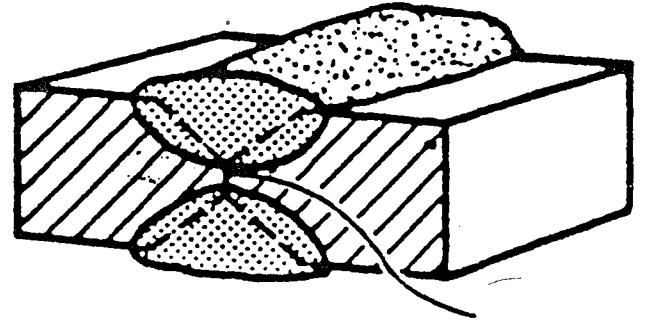
Yetersiz nüfuziyete neden olan faktörler ve bunların önleme tedbirleri Şekil 3.17’de Tablo halinde verilmiştir. Yetersiz nüfuziyete tesir eden faktörler yetersiz ergime faktörleri büyük benzerlik göstermektedir. Bu iki süreksizlik çok küçük ise radyografik incelemede her zaman tesbit edilememektedir. Ancak bu tür küçük süreksizlikler ultrasonik muayenede gözden kaçmamaktadır.



Şekil 3.18. Kısmi nüfuziyetli küt alın kaynağı \*(f nüfuziyet derinliği)

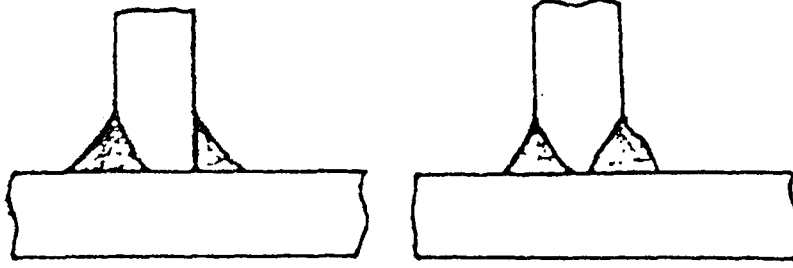


Yetersiz nüfuziyet



Yetersiz nüfuziyet

Şekil 3.19. Yetersiz nüfuziyet (a) v kaynak (b) çift v kaynak birleştirmesi



**Şekil 3.20. Kısmi nüfuziyetli olarak tasarlanmış kaynak birleştirmeleri**

### **3.1.11. Yüzey Gözenekleri**

Kaynak şartları bazen kaynak dikişi yüzeyinde gözenek oluşumuna yol açar. Bu gözeneklerin birim dikiş uzunluğundaki yoğunluğu kaynak şartlarına bağlı olarak değişir. Mesela gazaltı kaynağında eriyen telden akan sıvı damlaları ve sıvı metal havuzu gaz ile atmosferin tesirlerinden korunur. Gaz korumasına tesir eden her şart kaynağı etkiler. Ark boyu, kutupsal polarite, kaynak ilerleme hızı, kaynak enerjisi yüzey kalitesini etkiler. Genellikle tasarım ve görüntü için düzgün çekilmiş dikişler önemli olur.

Bir pasoda yüzey gözenekleri oluşunca ikinci pasonun bunları dolduracağı varsayımı ile hareket etmemelidir. Taşlama ile veya tesviye yöntemleri ile bu yüzeylerden gözenekler giderilmelidir. Yoksa gözenekler curuf kapanları gibi görev yapmaktadırlar ve hatalı kaynak birleştirmelerine neden olmaktadır.

### **3.1.12. Ark Çarpmaları (Ark Yanıkları)**

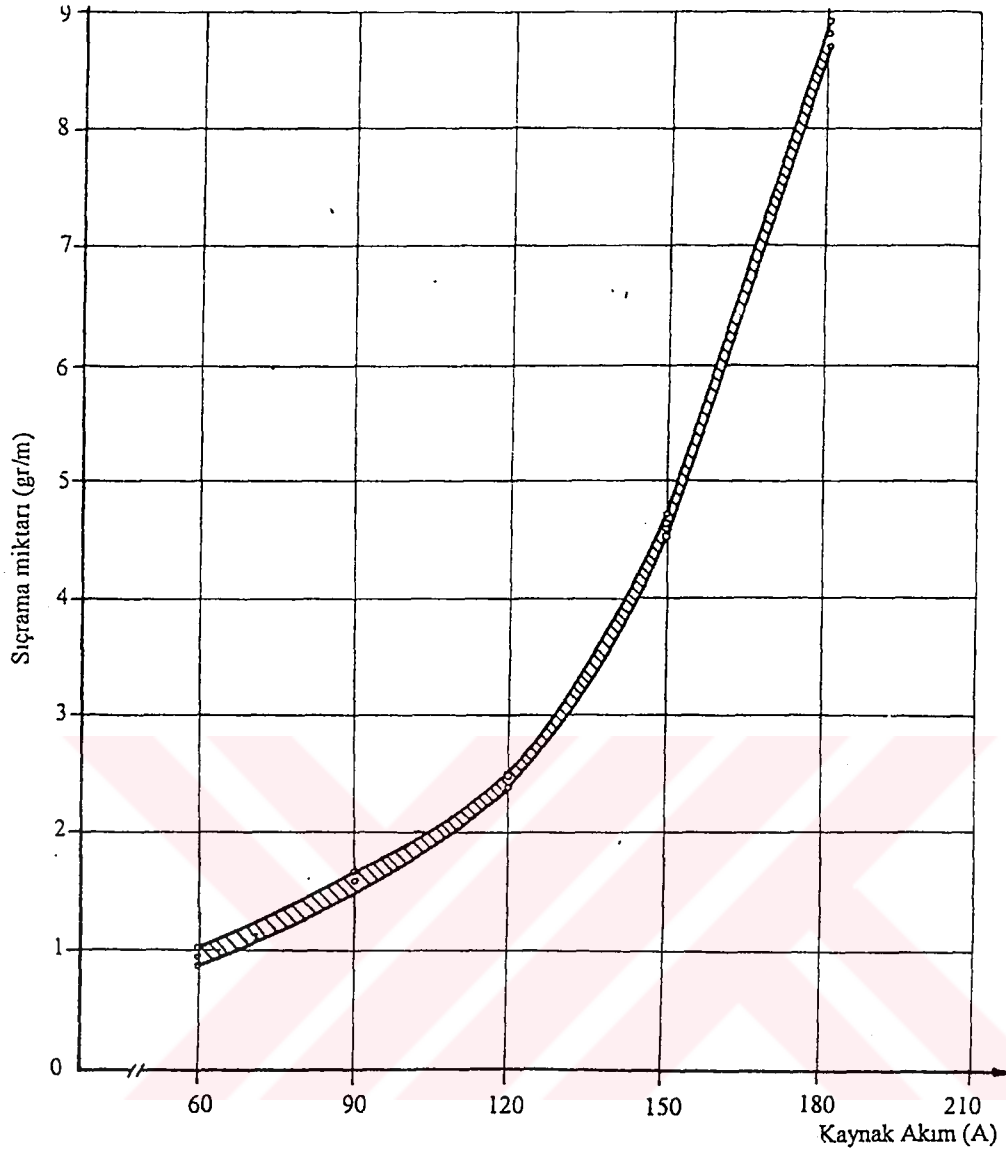
Ana metal üzerinde kaynak metali ile birleşmeyen oluşuma sebebiyet veren ark çarpmalarından kaçınmak lazımdır. Ark ile kaynak dikişinde veya ana metalde çok küçük miktarda ve bir an süren lokal erime veya aşırı ısınan bölge oluşur. Sıvı metal yüzeyi gözeneği oluşabilir veya aşırı ısınan kısım hızla soğuyunca su verme çatlağı oluşturabilir. Böyle oluşan süreksizlikler iş parçasının çalışması sırasında kırılmaya yol açarlar. Ark yanıkları adı verilen bu süreksizlikler taşlanma yolu ile yok edilmelidir.

### 3.1.13 Sıçramalar

İstenmeden kaynak dikişlerinin veya esas metalin yüzeyinde, küresel küçük metal parçacıklarının dağılmasıdır. Bu hata, ekseriya elektrik ark kaynağında meydana gelir. Bazı hallerde sıçramaya, elektrodun rutubetli olması ve bilhassa yüksek akım şiddetinde kaynak yapmak sebep olur. Kaynak yapılırken arkın sık sık kesilmesi de sıçramaya sebep olur. Sıçrama metal kayıplarını ve temizleme süresini artırır. Birleştirmenin mukavemet özellikleri üzerinde rol oynamaz.

Kaynak yapılırken dikişe dahil olmayıp kaynak metalinin dışına çıkıp katılaştıran sıvı metale sıçrama denir. Sıçramalar kaynak metal kaybına; yani kaynak veriminin düşmesine sebep olur. Ayrıca yüzey pürüzlülüğüne sebep olur.

Sıçramaya tesir eden faktörlerin başında kaynak teli veya kaynak edilen parça yüzey temizliği gelir. Tel ve iş parçası yüzey temizliği arttıkça sıçrama kayıpları azalır. Dünyada en yaygın uygulanan kaynak yöntemi olan gazaltı kaynak yöntemlerinde kaynak parametreleri sıçrama kayıp oranını etkiler. En etkin parametreler kaynak akımı ve kaynak gerilimidir. Şekil 3.21’de MAG kaynağında akım şiddetine bağlı olarak birim dikiş uzunluğunda meydana gelen sıçrama kaybını görmekteyiz. Çalışmada kullanılan kaynak teli çapı için tavsiye edilen akım şiddeti 90 - 120 Amper’dir. Bu akım değerinin altında yeterli nüfuziyet sağlanmamaktadır. Akım şiddeti arttıkça sıçrama oranının artmakta olduğunu Şekil 3.21’de görmekteyiz. Ark gerilimini de aşırı yükseltilmesi sıçrama kayıplarını artırır. Kaynak telinin (-) kutbuna bağlanması (+) kutuplu kaynaklara nazaran sıçramayı artırır. Kaynak ilerleme hızı arttıkça sıçrama azalır. Koruyucu gaz cinsi ve üfleme debisi de önemlidir. Gereğinden az gaz üfleme ark korumasını yetersiz bırakırken aşırı üfleme de sıçramanın kaybını artırır. 1,2 mm çaplı teller ile 28-30 Volt ve 275 - 290 akım şiddeti ile kaynak yapılırken koruyucu gaz cinsine bağlı olarak sıçrama kayıpları oranı şöyle olur: %100 CO<sub>2</sub> için %7.5, %85 Ar + %5 CO<sub>2</sub> için %4 olur. Kaynak geometrisi de sıçramada önemlidir. Alın kaynaklarında sıçrama köşe kaynaklarına nazaran daha fazla olur.



Şekil 3.21 MAG kaynağında kaynak akımının sıçramaya tesiri

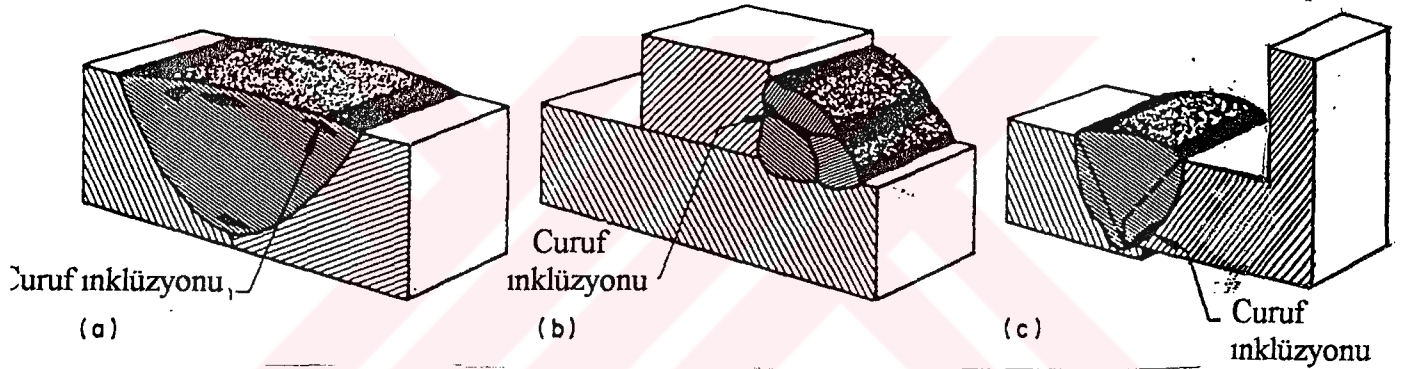
#### 3.1.14 Curuf İnkluzyonları

Kimyasal reaksiyonları ile oluşan ( $Al_2$ ,  $SiO_2$  v.b.) metalik olmayan malzemelerin bir kısmı kaynak metali katılaşırken yüzeye çıkamadan kaynak metali içerisinde kalır. Bu curuf inkluzyonları en çok örtülü elektrod, tozaltı, özlü tel ve elektrocuruf kaynak yöntemleri ile kaynak yapılması sırasında meydana gelmektedir. Curuf oluşturan kimyasal reaksiyona giren elementler elektron örtüsü veya kaynak tozlarının yanı sıra kaynak teli ile kaynak edilen malzemelerden gelmektedir. Ayrıca atmosferden O ve H girişi olur. Elektrod örtüsü ve kaynak tozu ise en önemli girdiyi teşkil eder. Bu nedenle gazaltı kaynak yöntemlerinde curuf teşkili az olur. Kimyasal reaksiyonlar sonunda oluşan curuf ihmal edilecek kadar az miktarı sıvı kaynak metalinde çözünür. Geri kalan sıvı kaynak metali ile arasındaki yoğunluk farkı ile yüzeye çıkar.

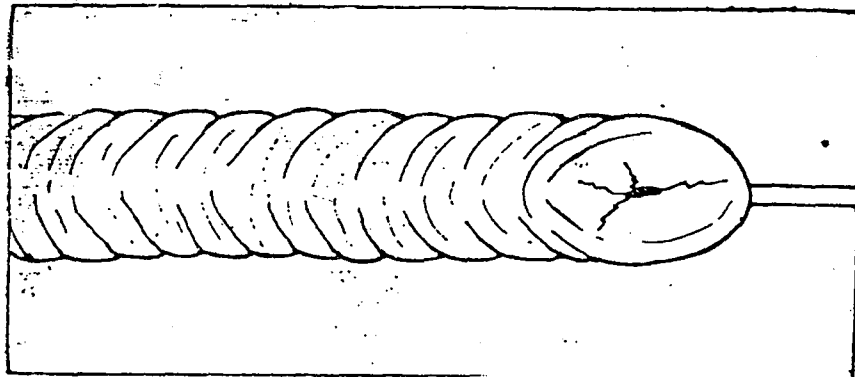
Ancak partiküller küçük ve katılaşma çok hızlı olduğundan curufun tamamı yüzeye çıkamaz ve kaynak metali içerisinde hapis olur. Çok pasolu kaynaklar, tek pasolu kaynaklara nazaran curuf inkluzyonu oluşumuna daha fazla maruz kalırlar. Pasolar arası iyi curuf temizleme yapılmaz ise veya ilk pasoda yanma olukları var ise curuf inkluzyon oluşumu meydana gelir. Şekil 3.22’de kaynak metalinde rastlanan muhtelif curuf inkluzyonları görülmektedir. Toz veya örtünün cinsi inkluzyon türü ve tipini etkiler, wbazik örtülerde sıvı kaynak metalinin oksijen çözme oranı az olduğunda az inkluzyon teşekkülü gerçekleşir.

Curuf inkluzyonları genellikle üç boyutludurlar ve çapları oluşum çaplarına bağlı olarak değişir. Bazı kaynaklarda kaynak eksenı boyunca uzanan sürekli ve kesikli çizgiler halinde de oluşmaktadır.

Curuf inkluzyon oluşumuna etki eden faktörler ve bunların önlenme tedbirleri Şekil 3.23’de görülmektedir.



**Şekil 3.22 Kaynak metalinde mevcut olan inkluzyonlar. (a) tek pasolu birleştirmelerde yüzeye yakın oluşan inkluzyonlar. (b) çok pasolu kaynaklarda pasolar arasında kalan inkluzyonlar. (c) kök çevresinde oluşan inkluzyonlar.**



**Şekil 3.23. Alın birleştirmesinde bir krater çatlağı**

#### 3.1.14.1 Oksit İnkluzyonları

Oksit İnkluzyonları kaynak edilen parçanın yüzeyinde kaynak öncesi mevcut olup erimeden sıvı kaynak metaline karışır. Bu oksitlerin ergime dereceleri çok yüksektir. ( $Al_2O_3$ ,  $MgO$  gibi). Oksit inkluzyonlar kaynağı zayıflatır ve çatlak oluşum noktaları yaparlar. Bu nedenle kaynak öncesi , kaynak bölgesi oksitleri giderilmelidir.

#### 3.1.14.2 Tungsten İnkluzyonları

TIG kaynak yöntemi ile kaynak yapılırken oluşan W inkluzyonlardır. Bu partiküllerin kaynak metalinde bulunma sebepleri ise aşağıdadır.

Tungsten inkluzyonları kaynak kalitesini düşürür ve bilhassa radyografik muayene ile tespit edilir. TIG yönteminde kullanılan erimeyen tungsten elektrodun çeşitli sebepler ile erimesi ile bu süreksizlik oluşur.

-Elektrod sıvı metal ile temas etmiştir.

-Kaynak teli sıcak elektrod ile temas etmiştir.

-Elektrod çap ve boyutu için gerekli akımın üzerinde bir akım şiddeti ile kaynak yapılmıştır.

Yetersiz gaz koruması olmaktadır.

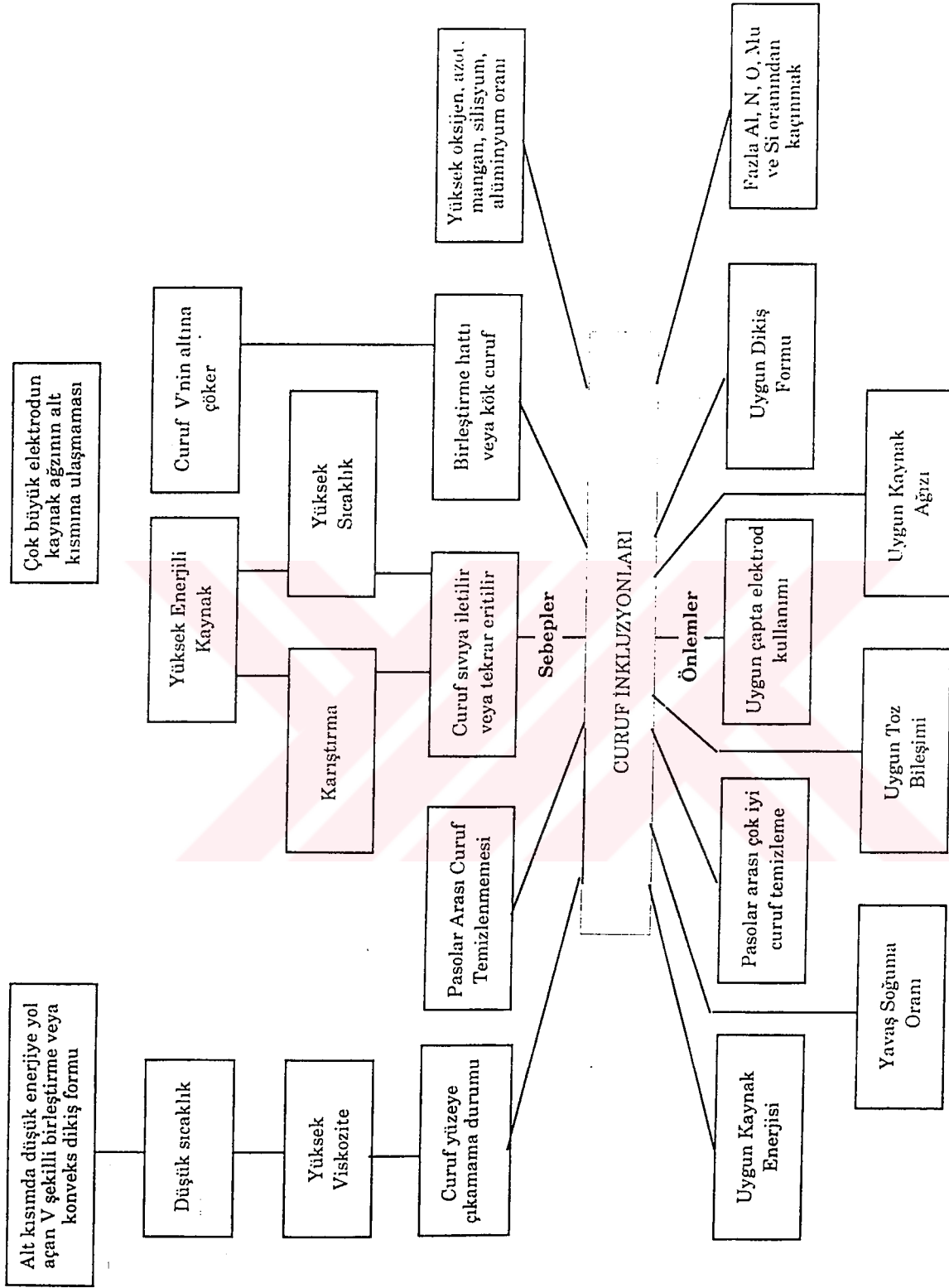
#### 3.1.15. Ark Kraterleri

Elektrik ark kaynağında kraterler arkın söndürüldüğü veya çekilen dikişin bitiş noktalarıdır. Bu final noktalara sıvı metalin katılaşması ile çökme olur. Kratere sıvı metal vererek çökmeyi önlemek için arkı söndürürken geri adım yöntemi uygulanır veya ikinci defa ark oluşturularak sıvı metal beslenir.

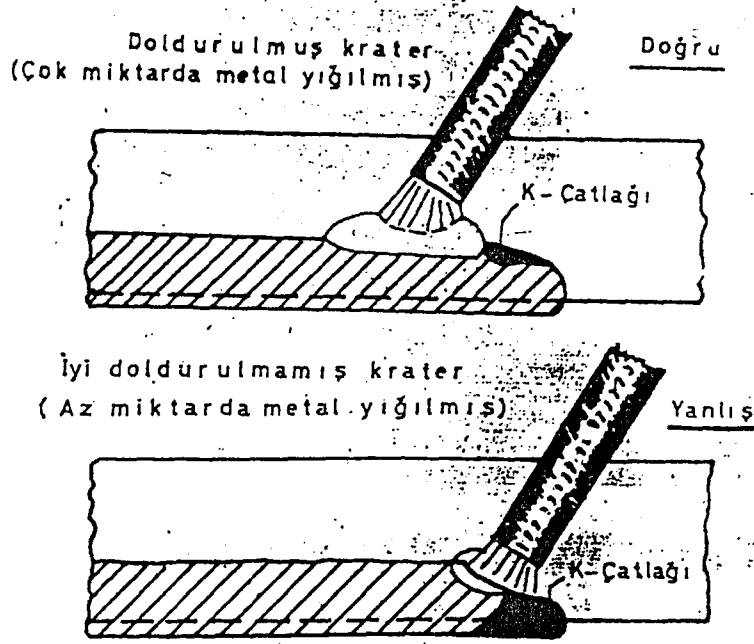
##### 3.1.15.1. Krater Çatlağı

Krater veya bitiş krateri çatlağı, hemen hemen bütün alaşımsız ve hafif alaşımlı çeliklerin kaynağında elektrodun çabuk çekilmesiyle meydana gelen çatlaklar olup, daha ziyade alın birleştirmelerinin kök pasolarında tesadüf edilir. (Şekil 3.24) Elektrodun bitimine veya kaynağın nihayetine doğru elektrodun kaynak yerinden çabuk çekilirse, kaynak metali krater yerinde az yığıldığından zayıf ve kalınlığı ince olur. Bu da erimiş haldeki kaynak metalinin katılaşması sırasında emilmesiyle krater çatlağının meydana gelmesine sebebiyet verir.

Krater çatlağının teşekkülünü önlemek için, kaynağın veya elektrodun bitiminde, elektrod çabuk çekilmez ve krater iyice doldurularak dikişin bu kısmına biraz fazla metal yığılır. Pratikte dikişin bitiminde veya elektrod değiştirilirken 20-25 mm. kadar geriye doğru elektrod yavaşça çekilerek ark söndürülür. (Şekil 3.25)



**Şekil 3.24. İnkluzyonların Sebepleri ve Önlemleri**



**Şekil 3.25. Kök pasosunun çekilişinde elektrodun doğru ve yanlış olarak çekilişi**

### 3.1.16.Porozite

Porozite kaynak metalinde meydana gelir. Kaynak sırasında sıvı kaynak metaline absorbe olan, çözünen gazların büyük kısmı katılaşma safhasında uçar. Geri kalan gazlar ise katılaşan kaynak metali içerisinde hapis olarak gaz boşlukları yapar. Kaynak metalinde porozite oluşumuna kaynak yöntemi, kaynak şartları, iş parçasının ve kaynak metalinin kimyasal bileşimi tesir eder. Bu faktörlere bağlı olarak sıvı metal havuzunda mevcut gazların cinsleri ve miktarları değişim gösterir.

Sıvı metal havuzunda aşağıdaki gazlar mevcuttur:

- 1- Oksijen
- 2- Hidrojen
- 3- Azot
- 4- Karbonmonoksit
- 5- Karbondioksit
- 6- Su buharı
- 7- Helyum

Bu gazlardan sadece Hidrojen, Oksijen ve Azot sıvı kaynak metalinde az da olsa çözünürler. Bu gazların katı metal içerisinde çözünürlükleri çok azdır. Şekil 3.26'da demir içerisinde azot çözünürlüğünün sıcaklığa bağlı olarak değişimini görmekteyiz. Ergime sıcaklığının üzerinde yüksek orandaki azot çözünürlüğü katılaşma ile ani düşme göstermektedir. Sıvı demirdeki azot katılaşma sırasında metali terkedemezse limitinin üzerindeki azot poroziteye yol açar.

Kaynak metalinde poroziteye sebep olan en önemli gaz hidrojendir. Birçok kaynaktan sıvı metale hidrojen girişi olabilir. Kaynak ark bölgesi atmosferinde hidrojen olabilir. Mesela elektrod örtüsü veya tozunda selüloz olabilir. Su buharının parçalanması ile oluşan hidrojen sıvı kaynak metaline geçer. Ark atmosferinde su buharının mevcudiyeti elektrod örtüsünde, kaynak tozunda veya iş parçası üzerinde nem olmasından kaynaklanır. Kaynak telinin içerisinde çözünmüş hidrojen olabilir. Gazaltı kaynak yönteminde kullanılan gazın içerisinde hidrojen mevcut olabilir.

Kaynak edilen parçaların yüzeyinde hidrojen içeren yağ, gres boya ve pas olabilir. Bu hatalar kaynak telinde de mevcut olabilir. Sıvı kaynak metalinde kükürt veya selenyum var ise hidrojen ile birleşerek ( $H_2S$  gibi) gaz oluştururlar. Alüminyum kaynaklarında çelik kaynaklarında olduğu gibi porozitenin ana sebebi hidrojendir.

Azot, çelik ve nikel alaşımlarının kaynağında poroziteye yol açabilir. Azot sıvı kaynak metaline kaynak teli veya kaynak edilen parçalardan direkt geçtiği gibi ark atmosferinden geçebilir. Arka üflenilen gazın içerisinde azot olabilir veya ark koruması yetersiz ise (bilhassa ark boyu çok uzun tutulur veya koruyucu gaz üflemebasıncı yetersiz ise) havadan azot arka girer.

Sıvı kaynak metalinde çözünen oksijen de poroziteye yol açabilir. Genellikle oksijen ark atmosferinden sıvı kaynak metaline geçmektedir. Üflenilen gaz içerisindeki oksijen, parçalanan buhardan açığa çıkan oksijen ark atmosferine karışır. Sıvı kaynak metalinde yeteri kadar deoksidan elementler yok ise (Çeliklerde minimum %1 Si gibi) Oksijen CO veya  $CO_2$  oluşumuna yol açar. Bu gazlar da porozite yapar.

Poroziteler yuvarlak veya uzatılmış gözyaşı damlası şeklinde boşuklardır. Boşluk uçları k eskin veya büyük radüslü olabilir. Damların boyutları iğne ucundan büyük boşluklara kadar değişebilir. Poroziteler miktar ve boyutlarına göre adlandırılır. Şekil 3.27'de bir kısmı şematik olarak gösterilen bazı porozite türleri şunlardır;

\*Uniform dağılmış porozite (Şekil 3.27a)

\*Küme porozite (Şekil 3.27b)

\*Lineer porozite (Şekil 3.27c). Bu tür porozite genellikle kök pasolarında oluşur ve yetersiz nüfuziyet ile beraber bulunur.

\*Uzatılmış porozite. Kaynak doğrultusunda yönelmiş uzun gözeneklerdir.

\*Helezonik. Bu balık kılıcı şeklindeki porozite kaynak metalinden gazın tamamen uzaklaşmasından önce katılaştırmanın tamamlanması ile meydana gelir. Yüzeyde oluşan bir porozite türüdür. (Şekil 3.27d). Kaynak metali yüzeyinde gözenekler oluşturur.

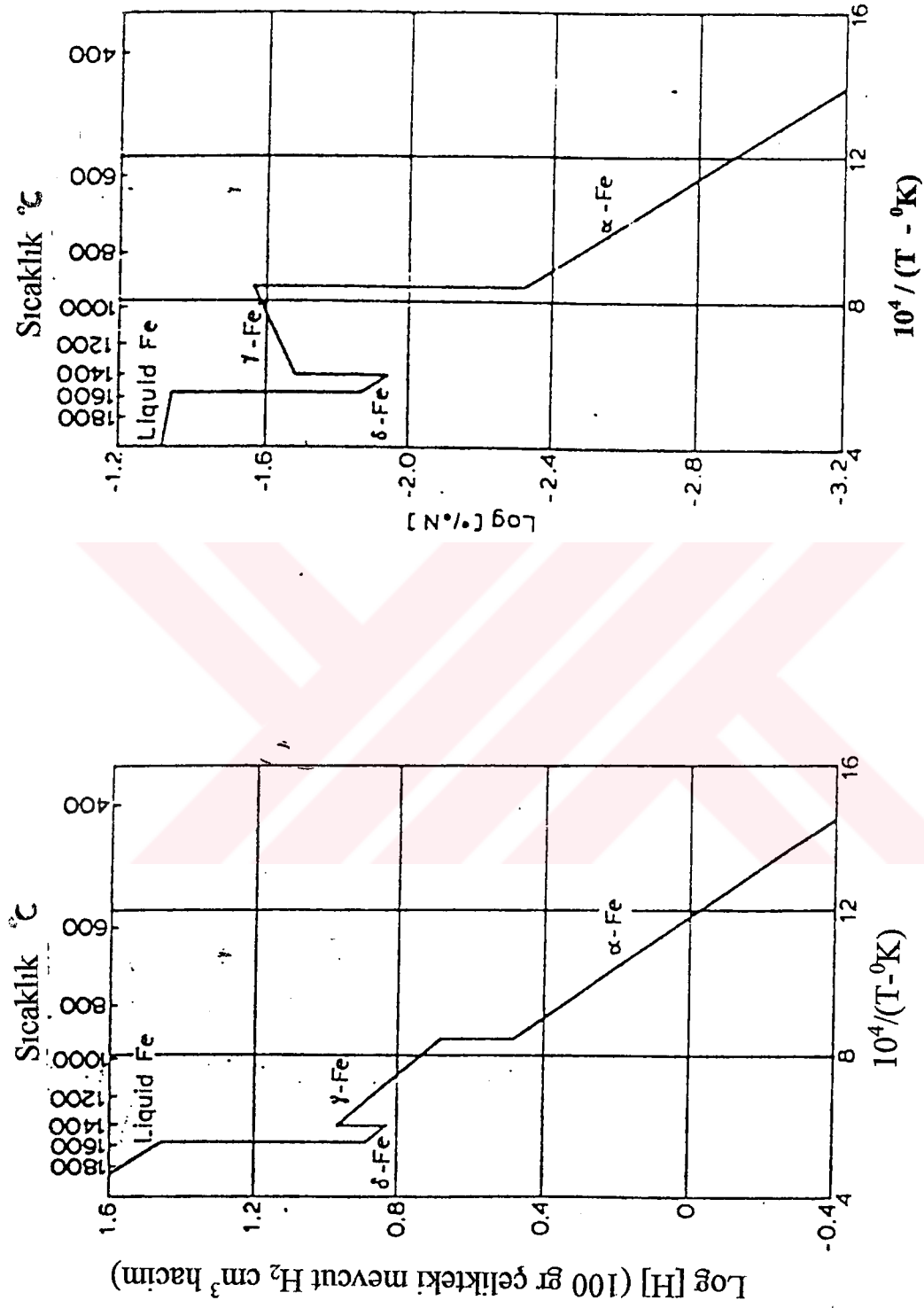
\*Kurt oyuklar. Kurta benzer şekilde olan uzamış boşluklardır.

Şekil 3.28'de poroziteye yol açan sebepler ve önleme yolları şematik olarak gösterilmiştir.

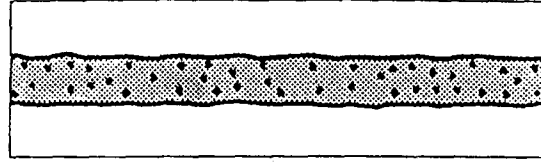
Porozitenin kaynaktaki tesirini tespit etmek için epey çalışma yapılmıştır. Birçok metalde porozitenin statik veya dinamik yükler altında çalışan kaynaklı konstrüksiyonda etkileri deneysel olarak tespit edilmeye çalışılmıştır.

%2-3 kadar porozitenin statik mukavemet üzerindeki tesiri yok kadar azdır. Bu limit standart ve şartnamelerin porozite sınırlarının üzerinde bir değerdir. Porozitenin çekme ve akma mukavemeti üzerindeki tesiri paralel olur. Porozitenin süneklik üzerindeki menfi tesiri mukavemet üzerindeki tesirinden daha büyüktür. Kaynak metalinin mukavemeti arttıkça porozite ile süneklik kaybı o oranda artar.

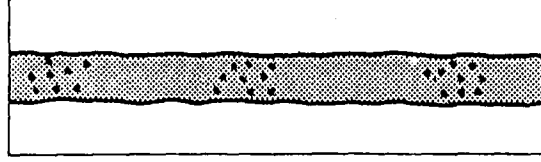
Yüzey gözeneklerinin yorulma mukavemeti üzerindeki menfi tesiri daha önemlidir. Yüzey porozitesi yüzey altı porozitesinden daha çok; fakat çatlaklardan daha az etkili rol oynar.



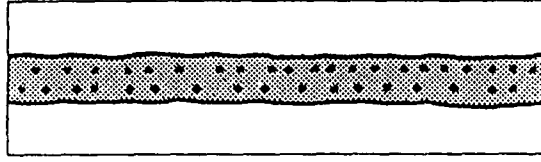
Şekil 3.26. Demir İçerisinde (a) Hidrojen ve (b) Azot Çözünürlüğü



(a)



(b)



(c)



(d)

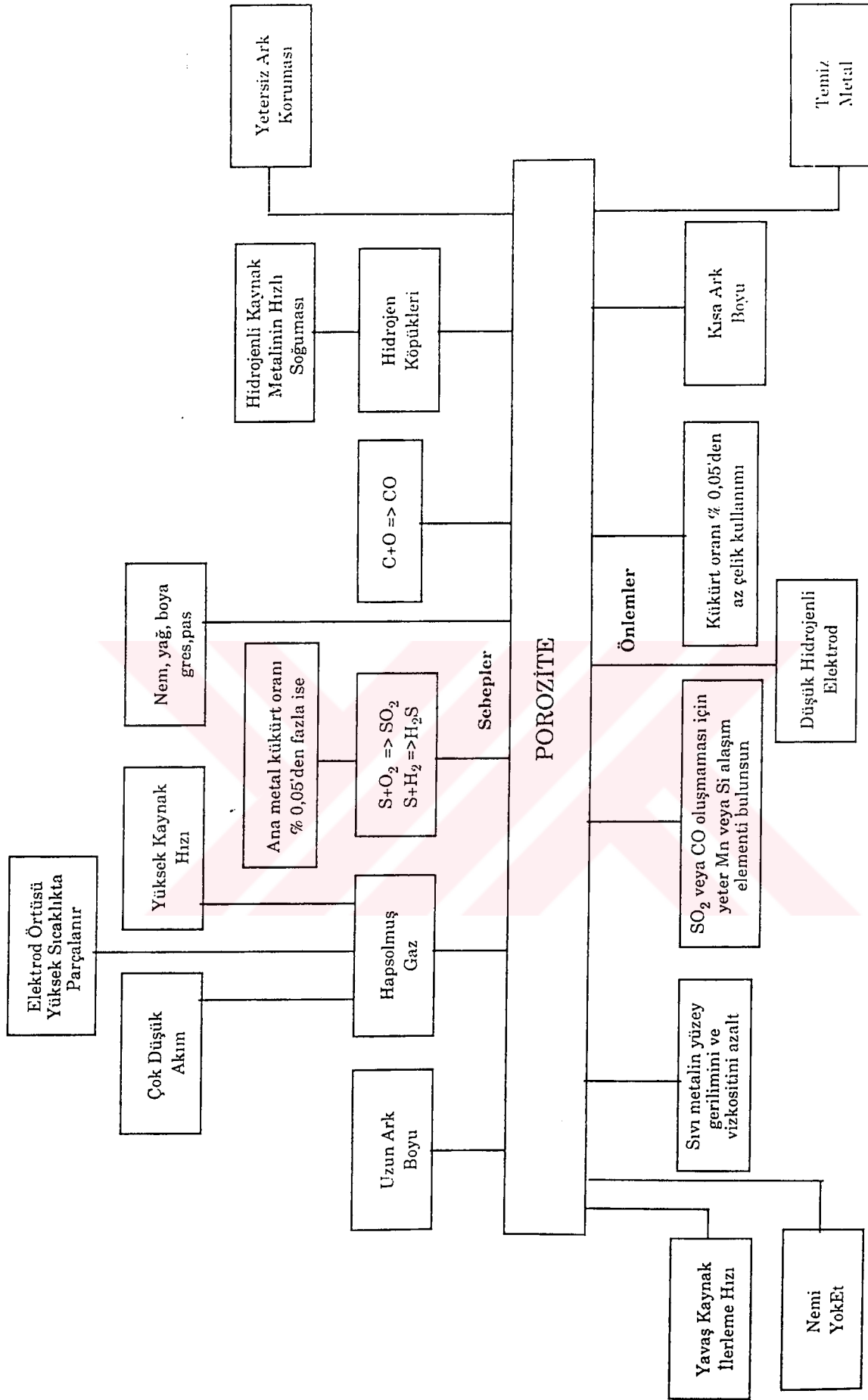
**Şekil 3.27. Kaynak Metalinde Bulunan Gaz Porozite Türleri**

**(a) Uniform Dağılmış Porozite**

**(b) Küme Porozite**

**(c.)Lineer Porozite**

**(d) Helezojik Porozite**



**Şekil 3.28. Poroziteyi Etkileyen Faktörler ve Önlemleri**

### 3.1.17 Tabakalaşma

Tabakalaşma, kaynak edilen iş parçasında kaynak öncesi mevcut olan bir yapısal düzensizliktir. İngot halinde dökülen metal içerisinde gaz boşlukları veya büzülme boşlukları teşekkül edebilir. İngotun sıcak haddelenmesi sırasında bu boşluklar yassılaşıp ve haddeleme doğrultusuna paralel hale gelir. Bu süreksizlikler levha kesitinin ortaya yakın bölgelerinde görülür. Bazı tabakalar sıcak haddeleme sırasında kısmen kaynaklanır, bileşir. Kısmen yapışmış tabakaların bazıları ultrasonik muayenede fark edilmeyebilir. Tabaka ihtiva eden levhaların kalınlık doğrultusunda mekanik özellikleri çok olur.

Kaynak edilen levhalarda mevcut olan tabakalara enine gerilmeler teşekkül edebilir. Bu gerilmeler kalıntı kaynak gerilmeleri veya kaynaklı paraya uygulanan dış kuvvetlerden dolayı gerçekleşebilir. Bu gerilmelerin tesiri ile tabakaların arası açılır. Bu olaya tabaka açılımı adı verilmektedir. Yüzeye çıkan tabaka açılımı gözle de fark edilir.

### 3.1.18 Katlamalar, Dikişler

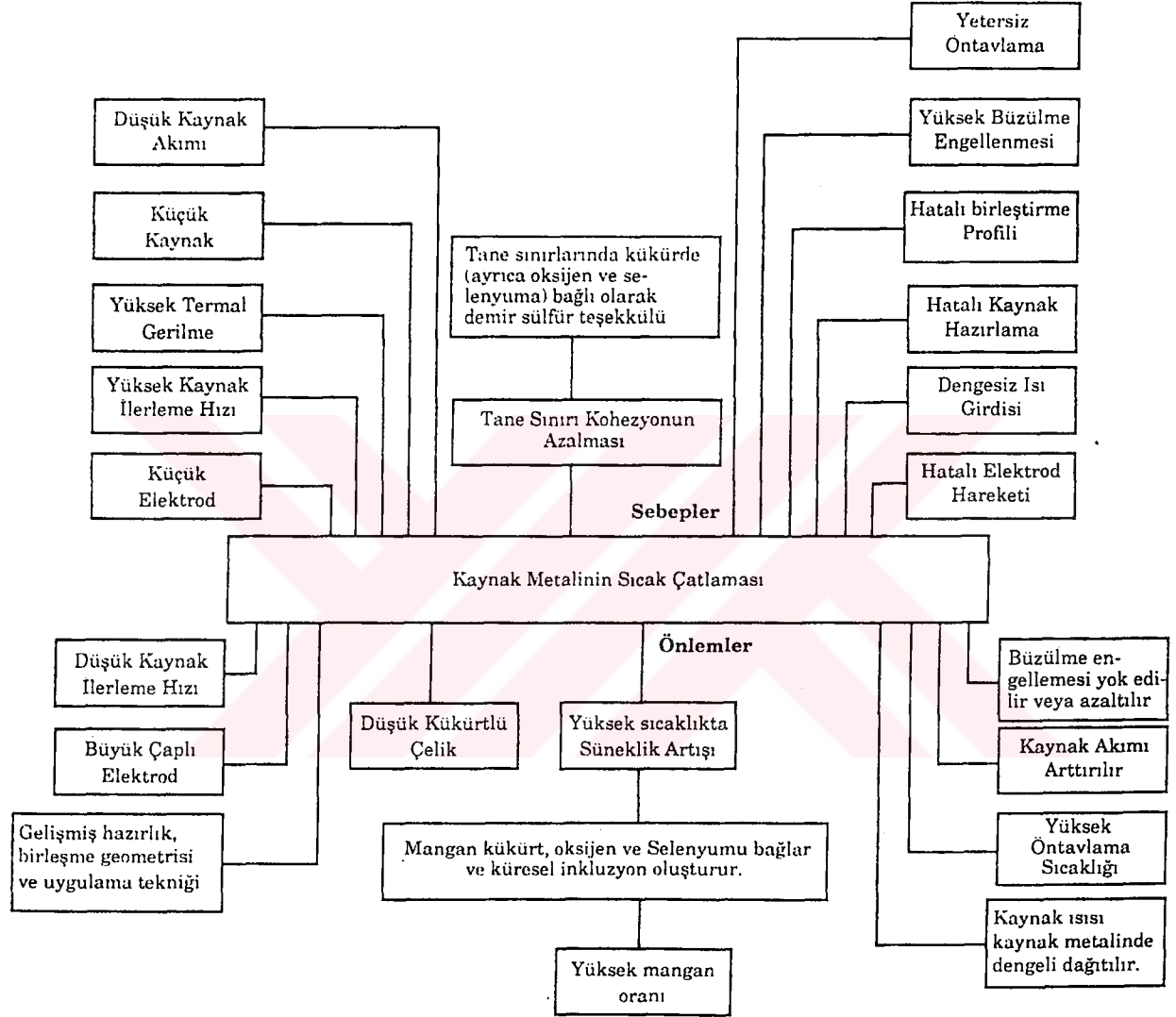
Katmanlar sıcak haddelenmiş metallerin yüzeyindeki boylamasına yarıklardır. Gerilme altındaki cisimdeki yarık asal gerilmelere paralel ise kritik hata teşkil etmez. Eğer yarık kalıntı gerilmelere veya uygulanan gerilmelere dik ise katlama çatlak gibi davranarak ilerler. Katlamalar üzerine kaynak yapılması halinde kaynak kırılır.

### 3.1.19 Çatlaklar

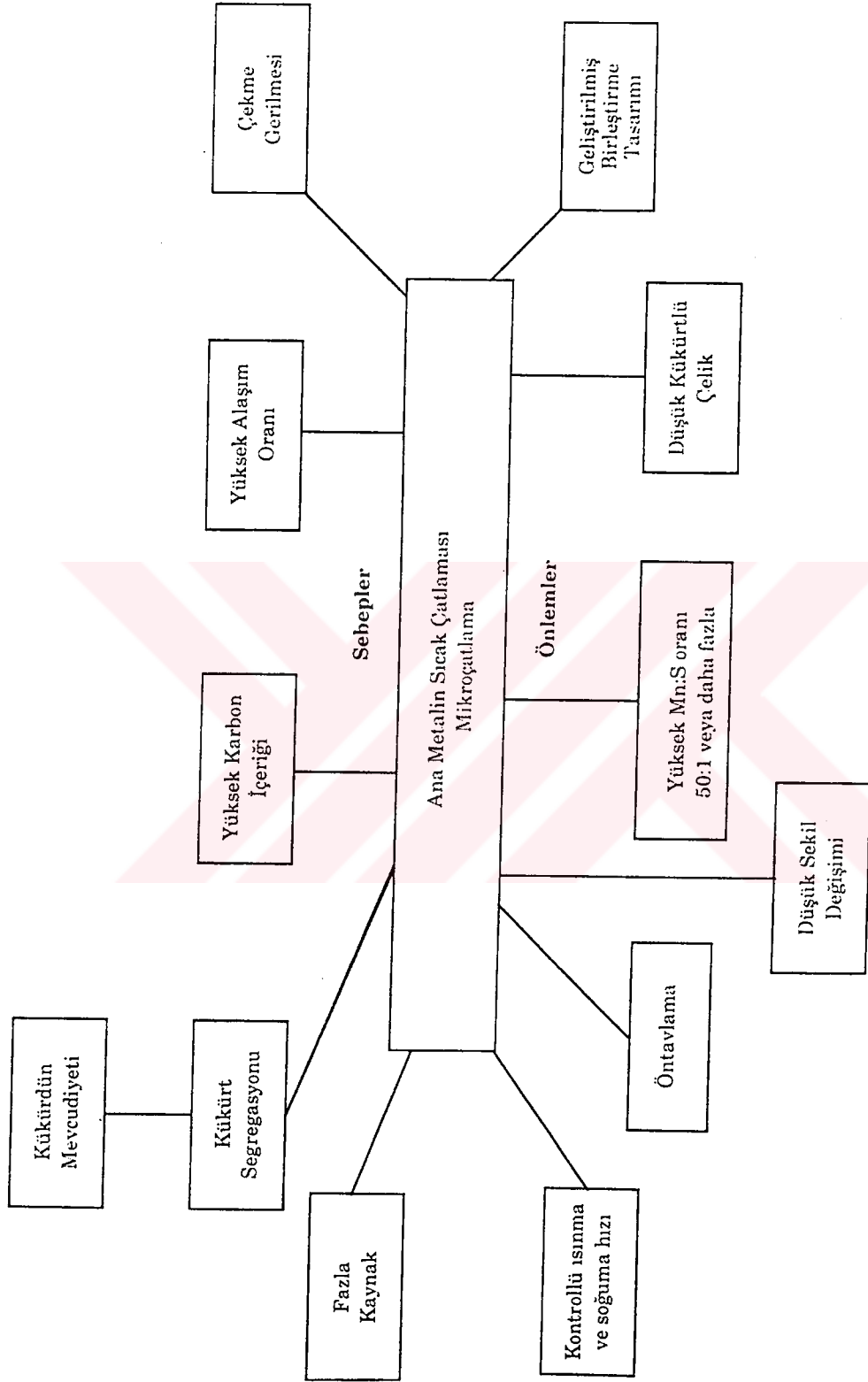
Çatlaklar kaynaklı birleştirmenin mukavemetini önemli miktarda düşürdüğü için en önemli kaynak süreksizlikleri olmaktadır. Çatlaklar çeşitli tür ve şekilde olup kaynaklı birleştirmenin içinde veya çevresinde farklı pozisyonlarda bulunur.

Çatlakları çeşitli şekilde sınıflandırmak mümkündür. Mesela kaynak metali çatlakları ve iş parçası çatlakları. Kaynak metali çatlakları boyuna, enine, krater ve şapka çatlakları diye dört gruba ayrılırlar. İş Parçası çatlakları ise yedi kategoriye ayrılır. Enine, dikişaltı, ayakucu, kök, tabakalaşma, lameler yırtılma, ve ergime hattı çatlakları. Diğer sınıflandırma ise çatlak oluşumu mekanizmasına göre olabilir: sıcak çatlaklar, soğuk çatlaklar, gerilmeli korozyon çatlakları. Lameler yırtılma, mikroyarıklar ve grafitleşme. Bunların en önemlileri sıcak ve soğuk çatlaklardır. Sıcak çatlaklar metallerde en yaygın karşılaşılan kaynak metali çatlama türüdür.

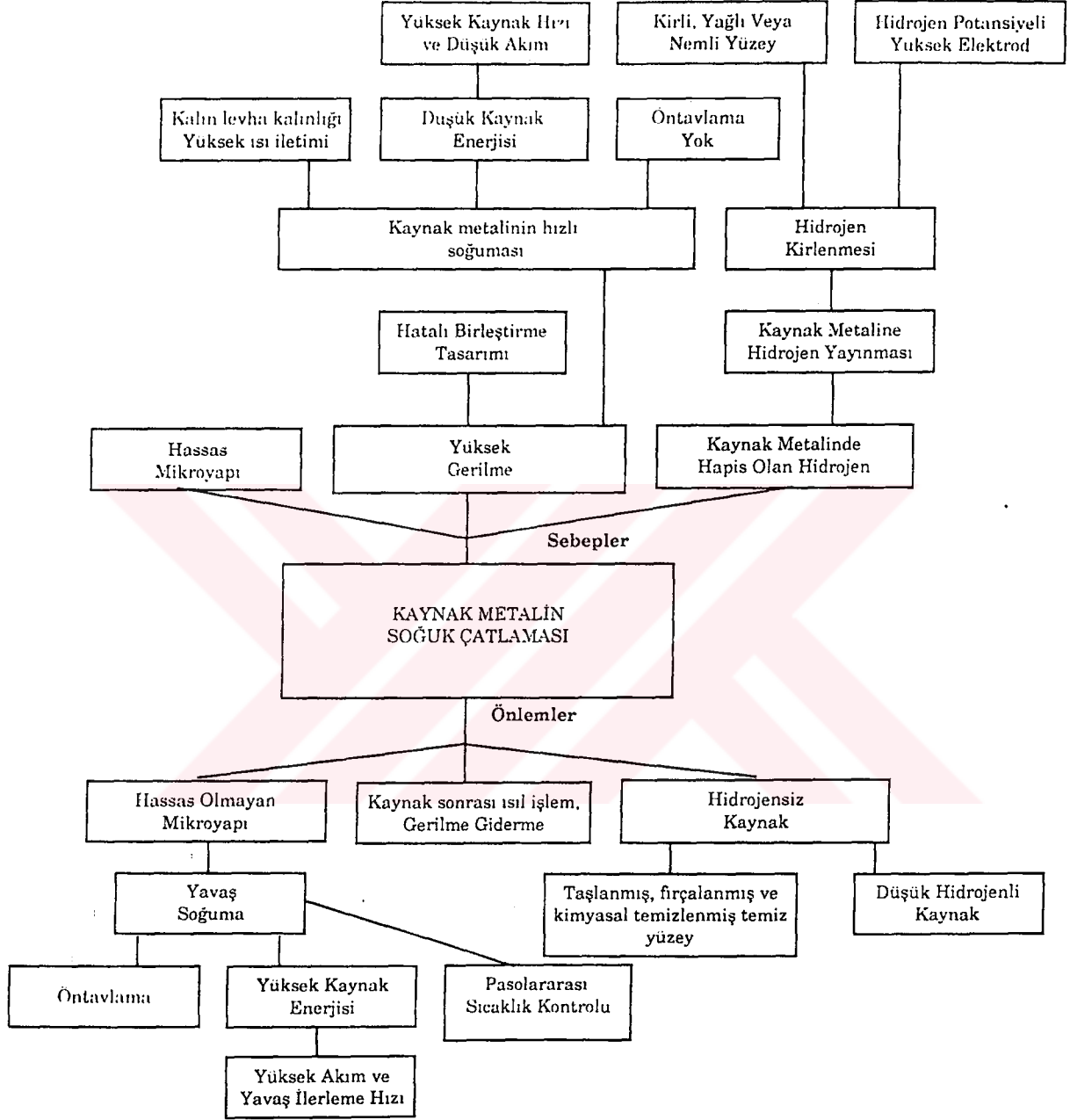
Kaynak metali katılaşıpken ergime sıcaklığı yakınlarındaki sıcak çatlaklar oluşur; yani katılma sıcaklığı veya bunun biraz altındaki sıcaklıklarda oluşan çatlaklara sıcak çatlak denir. Ergime kaynağı katılıp soğuduktan sonra oluşan çatlaklara ise soğuk çatlak veya hidrojen çatlağı denir. Kaynak metali ve iş parçasının soğuk ve sıcak çatlamlarına etki eden faktörler ve bunların önleme yöntemleri Şekil 3.29 - 3.30 - 3.31 ve 3.32'de gösterilmiştir. Şekil 3.33'deki bir kaynak bölgesinde oluşan muhtelif kaynaklar görülmektedir. Tipik görüntüleri verilen bu çatlakların türleri ve oluşum sebepleri Şekil 3.33'de numaralara uygun olarak izah edilmiştir.



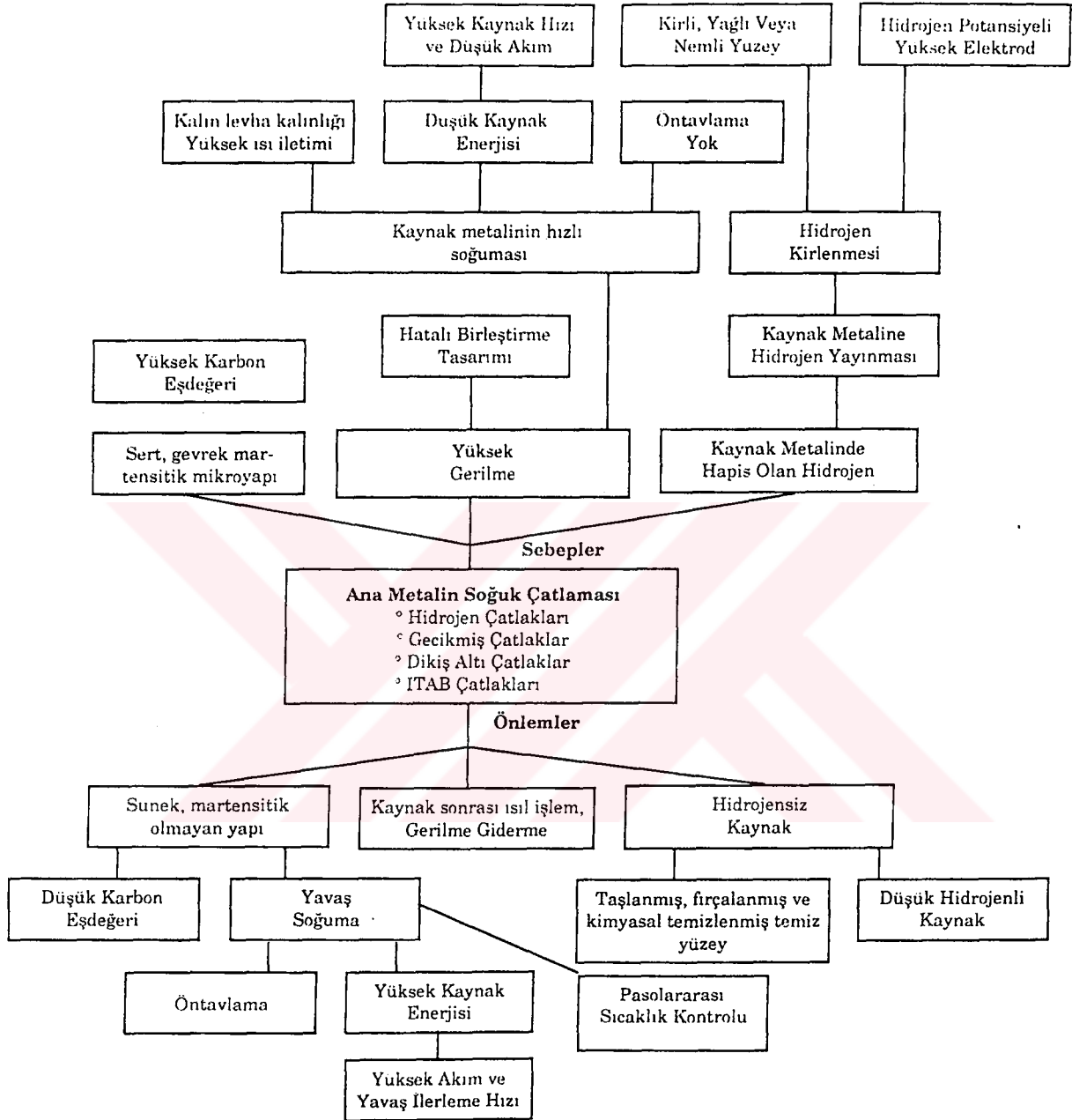
**Şekil 3.29. Kaynak Metalin Sıcak Çatlamasına Tesir Eden Faktörler**



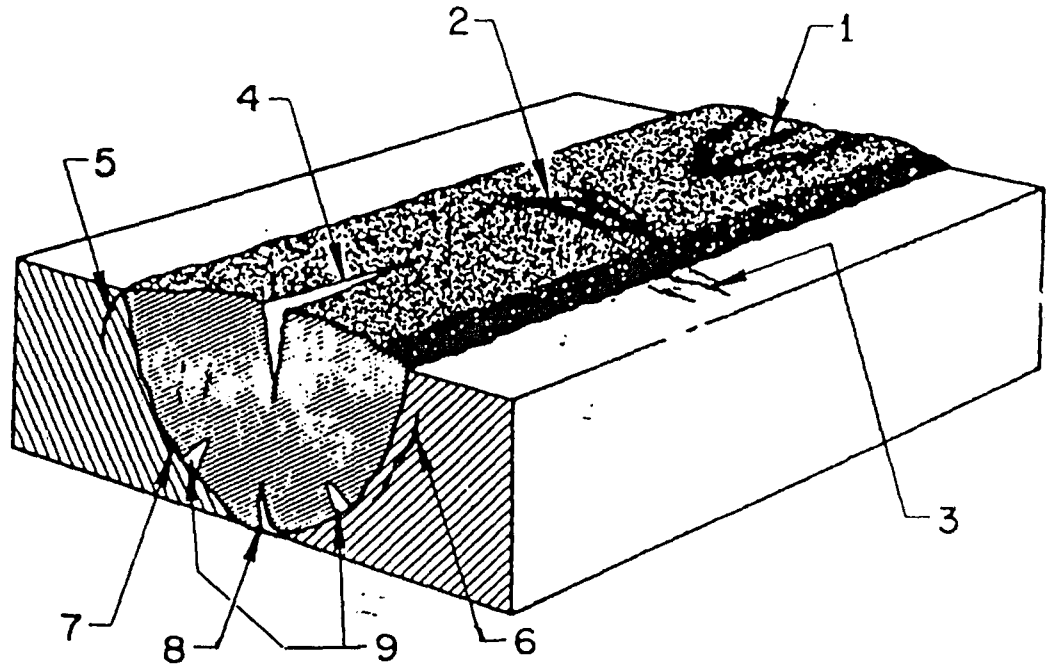
**Şekil 3.30. Ana Metal ITAB Sıcak Çatlama Faktörleri**



**Şekil 3.31. Kaynak Metalinde Soğuk Çatlama Sebepleri ve Tavsiye Edilen Önlemler**



**Şekil 3.32. Kaynak Edilen Parçada Soğuk Çatlama Sebepleri ve Karşı Önlemler**



Şekil 3.33 Kaynak metali ve iş parçasında oluşan çatlakların bulunma yeri ve şekline göre adlandırılması. (1) Kaynak metali krater çatlağı. (2) Enine kaynak metali çatlağı. (3) Ana metal enine çatlağı. (4) Boyuna kaynak metali çatlağı. (5) Ana metal ayakucu çatlağı. (6) Dikiş altı çatlağı. (7) Ergime hattı çatlağı. (8) Kaynak metali kök çatlağı. (9) Kaynak metali şapka çatlağı.

#### 3.1.19.1 Krater Çatlakları

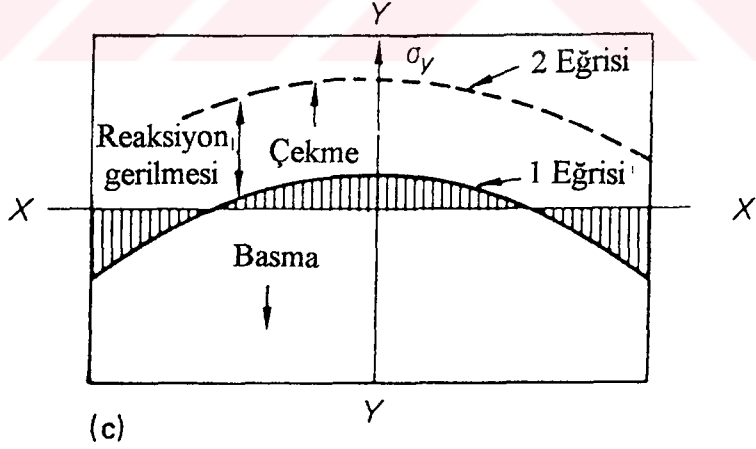
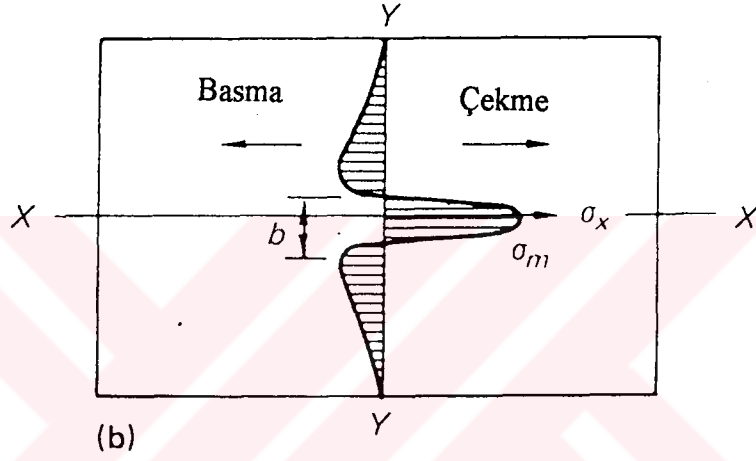
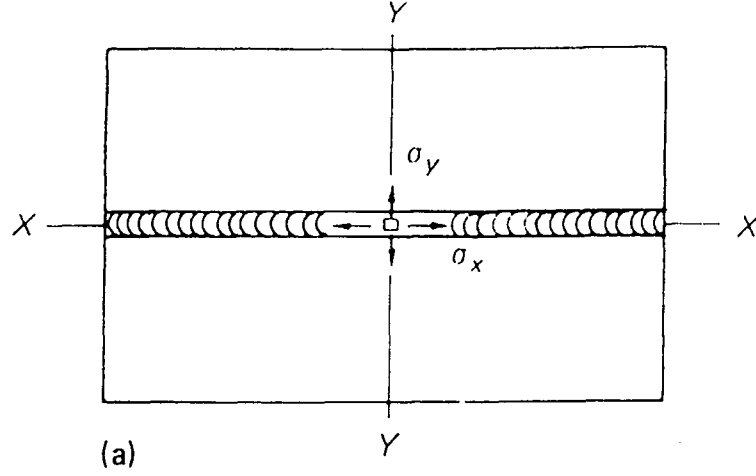
Daha önce izah edildiği için tekrar açıklanmayacaktır.

#### 3.1.19.2 Enine Kaynak Metali Çatlakları

Enine sözcüğü çatlağın kaynak ilerleme yönüne veya eksenine dik olduğunu ifade eder. Kaynak sırasında ısıtma, eritme, katılaşma ve soğutma olayları olur. Hacimsel değişimler bu olaylara bağlı olarak vuku bulur. Bunun sonucu olarak konstrüksiyonda iç gerilmeler oluşur. Bilhassa kaynağın son safhasında meydana gelen büzülmelere (Katılaşma ve soğumanın sonucunda oluşur) bağlı kalıntı gerilmeler meydana gelir. Şekil 3.34' de alın kaynak birleştirmelerinde oluşan kalıntı gerilmeler şematik olarak gösterilmiştir. Kaynak ilerleme yönünde oluşan gerilmeler  $T_x$  ile gösterip boyuna gerilmeler adı verilir.  $T_y$  ise enine gerilmeler adı verilen ve kaynak eksenine dik gerilmelerdir. Bu gerilmeler çekme veya basma karakterleridir. Şekil 3.34'deki I eğrisi serbest halde ve I eğrisi kaynak büzülmelerinin dış kuvvetlerle engellenmesi halinde kaynak bölgesi dik kalıntı gerilme dağılımı göstermektedir. Kaynak metalinde hakim olan büzülme gerilmeleri kaynak ilerleme yönünde (kaynak eksenine) ise enine kaynak metali çatlakları oluşur. Bu çatlaklar genellikle sıcak çatlaklardır. Sıcak yırtılma veya lokalize düzlemsel büzülme sonucunda tanelerarası (İntergranüler) ayrışma ile meydana gelebilir veya kaynak metal malzemesinin mukavemet sınırı üzerinde kaynak gerilmeleri oluşursa tane içi (Transgranüler) kırılma ile çatlak oluşur. Enine çatlaklar kaynak eksenine dik bir düzlem içinde bulunur ve genellikle yüzeye kadar çıkarlar. Bazen kaynak metali enine çatlakları ana metale sirayet eder.

Şekil 3.34'e göre:

- Bu şekilde gösterilen oklar büzülme gerilme doğrultularını göstermektedir. Doğru şekilli dikiş sağlam olurken derinliği çok olan dikiş içten çatlamaktadır.
- Kaynak ağız açısı yetersiz ise dikiş çatlak.
- Alın kaynaklarında parçalar arası mesafe çok darsa iç çatlama olur.
- Derin nüfuziyetli iç köşe kaynağında iç çatlak olur.



**Şekil 3.34. Bir Alın Kaynağında Tipik Kalıntı Gerilme Dağılımı,**  
**(a) Alın Kaynağı,**  
**(b) YY (Kaynak Eksenine Dik Doğrultuda)  $T_x$  Kalıntı Gerilmesinin Dağılımı**  
**(c) XX (Kaynak Ekseni Boyunca)  $T_y$  Kalıntı Gerilmesinin Dağılımı.**

### 3.1.19.3 Ana Metal Enine Çatlaklar

ITAB içinde veya ITAB'a yakın bölgede yüzeyde bulunur. Kaynak sırasında termal çevrime bağlı oluşan yüksek kalıntı gerilmelerin sonucunda bu çatlaklar meydana gelir. Yüksek sertlik, büzülmeye engel olan fazla sınırlamalar ve hidrojen çatlama teşvik eder. Kaynakta oluşan kalıntı gerilmelerin şiddetini azaltana kadar çatlak ilerler; yani çatlak boyu kalıntı gerilme şiddeti ile doğru orantılıdır. Bazen çatlaklar ana metale doğru ilerlediği gibi kaynak metaline doğru da ilerler.

### 2.1.19.4 Boyuna Kaynak Metali Çatlakları

Boyuna çatlaklar kaynak ilerleme eksenine paralel olan çatlaklardır. Bu çatlaklar kaynak metalindeki pozisyona göre adlandırılır. Tam merkez hattı çatlakları kökten kaynak metali yüzeyine kadar uzanır. Boğaz çatlakları yüzeyde başlamıştır ve kaynak metali içerisinde kısmen uzantı yaparlar. Kök çatlakları ise kökten başlar ve kaynak içerisinde ilerler; ama yüzeye çıkmazlar.

Boğaz çatlakları genellikle ; ama her zaman değil, sıcak çatlama mekanizması ile oluşur. Çok pasolu kaynaklarda son pasolardaki yüksek büzülme gerilmeleri sonucunda çatlama oluşur.

Kök çatlakları (Şekil 3.33'deki 8 nolu çatlak) en fazla rastlanan türüdür. Kök pasoları genellikle çok küçük kesitli kaynaklardır. Hızlı kaynak ilerleme şartları kaynak işleminde etkin olunca yüksek büzülme engellemesi ve yüksek soğuma oranı da etkin olunca kök pasosu çatlar. Eğer bu çatlaklar giderilmeden diğer pasolar çekilince kök çatlağı kaynak metalinde ilerler.

Tam merkez çatlakları ya yüksek ya da düşük sıcaklıkta meydana gelir.

Bu üç çatlak nadiren kaynak ucundan açığa çıkar. Aşırı iç bükey iç köşe kaynağında çatlama gözle görebiliriz.

### 3.1.19.5 Ana Metal Ayakucu Çatlağı

Bunlar genellikle soğuk çatlaklar olup ana metal yüzeyine normal (dik) olarak başlayıp kalıntı gerilmelerin yüksek olduğu ayak ucundan itibaren ilerler. Gevrekleşen ITAB'a etkin olan termal büzülme şekil değişimlerinin sonucunda bu çatlaklar oluşur.

### 3.1.19.6 Dikişaltı Çatlakları

Bunlar ITAB'da oluşan sıcak çatlaklar olup süreksiz ve kısırdırlar. Nadiren uzayarak sürekli bir çatlak oluştururlar. Bu çatlaklar genellikle yüzeye çıkmadıklarından sadece tahribatsız muayene yöntemleri ile tesbit edilirler. Ana metal yüzeyine dik olarak yönelirler ve kaynak eksenine paralel ilerlerler.

### **3.1.19.7 Ergime Hattı Çatlakları**

Ergime hattında hem kaynak metalinde hem de ana metalde meydana gelebilir. Bunların teşekkülünde ve ilerlemesinde bir sınırlama yoktur.

### **3.1.19.8. Kök Çatlağı**

4 No'lu boyuna kaynak metali çatlakları bölümünde açıklanmıştır.

### **3.1.19.9.Kaynak Metali Şapka Çatlakları**

Bu çatlaklar aşırı yüksek voltaj ve kaynak ilerleme hızında oluşur. Kaynak metalinin ortalarına yakın bir kısımdan başlar ve kaynağın ergime kısmına kadar ilerler.

Belirtilen bu 9 çatlak türü sıcak veya soğuk çatlaklardır. Şekil 3.29 - 3.32 belirtilen şekillerde oluştuklarından aynı şekillerde önerilen tavsiyeler ile çatlak oluşumu engellenebilir.

## **3.2. LAMELER YIRTIILMA**

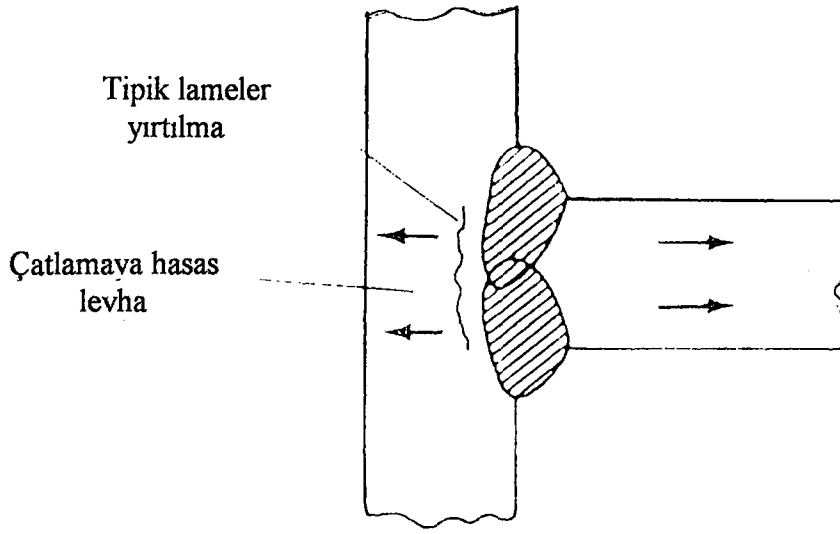
Kalınlık doğrultusunda süneklik özelliği düşük çelik levhalarda kaynak büzülme gerilmeleri kalınlık doğrultusunda meydana gelirse lameler yırtılma adı verilen çatlamlar oluşur. Şekil 3.35'de tipik lameler yırtılma görülmektedir. Basamak şeklinde oluşan bu çatlamayı önlemek için tavsiyeler aşağıdadır.

\*Kalınlık doğrultusunda sünekliği az olan düşük kükürtlü çelik kullanılır.

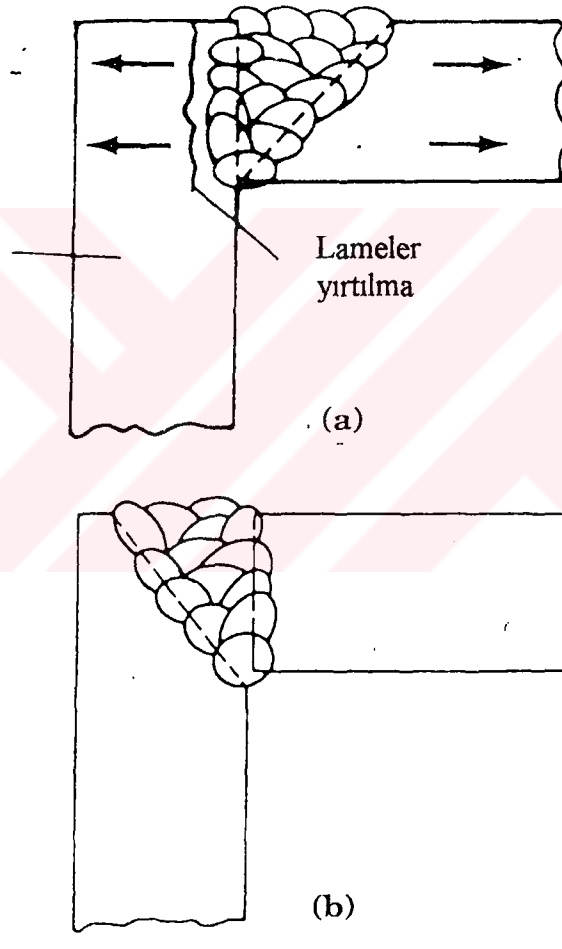
\*Ön tavlama yapılır.

\*Kaynak tasarımı değişik yapılarak büzülme gerilmelerinin kalınlık doğrultusundan farklı yönlerde oluşması sağlanır. Şekil 3.36'da tasarım değişimine bir örnek verilmiştir.

Genel kaynak süreksizlikleri Tablo 3.6a'da toplu halde görülmektedir. Bu tabloda belli bir numara verilen herhangi bir süreksizlik alın, köşe, T veya bindirme kaynağında nasıl yer aldığı ise Şekil 3.6a'dan Şekil 3.41'e kadar ematik olarak gösterilmiştir. Bu şekillerden de anlaşılabilceği gibi süreksizliklerin çok azı kaynak yüzeyine çıkmaktadır. Geri kalanlar ise kaynak metali, ITAB veya ana metal yüzeyi altında kalmaktadır. Süreksizlikleri tesbit etmek için tahribatsız muayene yöntemleri uygulanmaktadır. Tablo 3.7'de kaynak geometrisine göre ve Tablo 3.8'de ise süreksizlik tipine göre muayene yönteminin seçme kriterleri verilmiştir.



**Şekil 3.35. T Kaynak Birleştirmesinde Tipik Lameler Yırtılma. Şekildeki Oklar Büzülme Gerilmeleri ve Yönünü Göstermektedirler.**



**Şekil 3.36. T Kaynak Birleştirmesinde Kaynak Geometrisini Değiştirerek Lameler Yırtılmasının Önlenmesi**  
**(a) Lameler Yırtılma Gösteren Kaynak**  
**(b) Geliştirilmiş Tasarım**

**TABLO 3.6. Genel Kaynak Süreksizlikleri**

| <b><u>Süreksizlik Türü</u></b> | <b><u>No</u></b> | <b><u>Bulunma Yeri</u></b> |
|--------------------------------|------------------|----------------------------|
| Porozite                       |                  | KM*                        |
| Uniform                        | 1a               |                            |
| Küme                           | 1b               |                            |
| Lineer                         | 1c               |                            |
| Uzatılmış                      |                  |                            |
| İnkluzyonlar                   |                  | KM                         |
| Curuf                          | 2a               |                            |
| Tungsten                       | 2b               |                            |
| Yetersiz Ergime                | 3                | KM                         |
| Yetersiz Nufuziyet             | 4                | KM                         |
| Yanma Oluğu                    | 5                | AM                         |
| Yetersiz Doldurma              | 6                | KM                         |
| Katmer                         | 7                | KM                         |
| Tabakalaşma                    | 8                | AM*                        |
| Tabakaların Ayrılması          | 9                | AM                         |
| Katlamalar                     | 10               | AM                         |
| Lameler Yırılma                | 11               | AM-ITAB                    |
| Çatlaklar                      |                  |                            |
| Boyuna                         | 12a              | KM-ITAB                    |
| Enine                          | 12b              | KM-AM-ITAB                 |
| Krater                         | 12c              | KM                         |
| Boğaz                          | 12d              | KM                         |
| Ayak Ucu                       | 12e              | ITAB*                      |
| Kök                            | 12f              | KM                         |
| Dikiş Altı                     | 12f              | ITAB                       |

**\*KM:Kaynak Metali, AM:Ana Metal , ITAB:Isının Tesiri Altına Kalan Bölge**

**TABLO 3.7.:****Kaynak Geometrisine Göre Tahribatsız Muayene Yönteminin Seçimi**

| <b>Geometri</b>              | <b>Gözle</b> | <b>Penetran Sıvı</b> | <b>Magnetik Partikül</b> | <b>Radyografik</b> | <b>Ultrason</b> |
|------------------------------|--------------|----------------------|--------------------------|--------------------|-----------------|
| <b>V Kaynak</b>              | <b>C</b>     | <b>C</b>             | <b>C</b>                 | <b>B</b>           | <b>A</b>        |
| <b>X Kaynak</b>              | <b>B</b>     | <b>B</b>             | <b>B</b>                 | <b>A</b>           | <b>A</b>        |
| <b>T Kaynak Ağız Açılmış</b> | <b>B</b>     | <b>B</b>             | <b>B</b>                 | <b>C</b>           | <b>A</b>        |
| <b>T İç Köşe</b>             | <b>A</b>     | <b>B</b>             | <b>A</b>                 | <b>C</b>           | <b>C</b>        |
| <b>Bindirme</b>              |              |                      |                          |                    |                 |
| <b>&lt;6 mm</b>              | <b>A</b>     | <b>B</b>             | <b>A</b>                 | <b>B</b>           | <b>C</b>        |
| <b>6-15 mm</b>               | <b>B</b>     | <b>B</b>             | <b>B</b>                 | <b>A</b>           | <b>B</b>        |
| <b>16-50 mm</b>              | <b>C</b>     | <b>C</b>             | <b>C</b>                 | <b>B</b>           | <b>A</b>        |
| <b>&gt;50 mm</b>             | <b>C</b>     | <b>C</b>             | <b>C</b>                 | <b>B</b>           | <b>A</b>        |

**\* A: Yaygın kullanılabilir.****\* B: Uygulanabilir.****\* C: Nadir Uygulanabilir.**

**TABLO 3.8.:**  
**Süreksizlik Türüne Göre Tahribatsız Muayene Yöntemi Seçme**

| <b>Süreksizlik</b>                | <b>Gözle</b> | <b>Penetran Sıvı</b> | <b>Magnetik Partikül</b> | <b>Radyografik</b> | <b>Ultrasonik</b> |
|-----------------------------------|--------------|----------------------|--------------------------|--------------------|-------------------|
| <b>Mikroçatlak</b>                | <b>A</b>     | <b>C</b>             | <b>C</b>                 | <b>C</b>           | <b>C</b>          |
| <b>Boyuna çatlak</b>              | <b>C</b>     | <b>B</b>             | <b>B</b>                 | <b>A</b>           | <b>A</b>          |
| <b>Enine çatlak</b>               | <b>C</b>     | <b>B</b>             | <b>B</b>                 | <b>A</b>           | <b>B</b>          |
| <b>Radyal çatlak</b>              | <b>C</b>     | <b>A</b>             | <b>B</b>                 | <b>A</b>           | <b>B</b>          |
| <b>Krater çatlağı</b>             | <b>B</b>     | <b>B</b>             | <b>B</b>                 | <b>A</b>           | <b>C</b>          |
| <b>Homojen Dağılmış Porozite</b>  | <b>C</b>     | <b>B</b>             | <b>C</b>                 | <b>A</b>           | <b>C</b>          |
| <b>Lineer Porozite</b>            | <b>C</b>     | <b>B</b>             | <b>C</b>                 | <b>A</b>           | <b>C</b>          |
| <b>Uzamış Boşluk</b>              | <b>C</b>     | <b>C</b>             | <b>C</b>                 | <b>A</b>           | <b>B</b>          |
| <b>Kurt Boşluk</b>                | <b>C</b>     | <b>C</b>             | <b>C</b>                 | <b>A</b>           | <b>C</b>          |
| <b>Yüzey Gözenek</b>              | <b>B</b>     | <b>A</b>             | <b>B</b>                 | <b>B</b>           | <b>C</b>          |
| <b>Çekme (Büzülme) Boşluğu</b>    | <b>A</b>     | <b>B</b>             | <b>B</b>                 | <b>B</b>           | <b>C</b>          |
| <b>Katı İnkluzyon</b>             | <b>–</b>     | <b>–</b>             | <b>–</b>                 | <b>A</b>           | <b>B</b>          |
| <b>Curuf İnkluzyon</b>            | <b>–</b>     | <b>–</b>             | <b>–</b>                 | <b>A</b>           | <b>B</b>          |
| <b>Oksit İnkluzyon</b>            | <b>C</b>     | <b>–</b>             | <b>–</b>                 | <b>A</b>           | <b>B</b>          |
| <b>Metalik İnkluzyon</b>          | <b>–</b>     | <b>–</b>             | <b>–</b>                 | <b>A</b>           | <b>B</b>          |
| <b>Yetersiz Yan Yüzey Erimesi</b> | <b>C</b>     | <b>B</b>             | <b>B</b>                 | <b>B</b>           | <b>A</b>          |

**TABLO 3.8.'in Devamı,**

| <b>Süreksizlik</b>        | <b>Gözle</b> | <b>Penetran</b> | <b>Magnetik</b> | <b>Radyografik</b> | <b>Ultrasonik</b> |
|---------------------------|--------------|-----------------|-----------------|--------------------|-------------------|
|                           | <b>Sıvı</b>  |                 | <b>Partikül</b> |                    |                   |
| <b>Pasolar Arası</b>      |              |                 |                 |                    |                   |
| <b>Yetersiz Erime</b>     | <b>C</b>     | <b>B</b>        | <b>B</b>        | <b>B</b>           | <b>A</b>          |
| <b>Yetersiz Kök</b>       |              |                 |                 |                    |                   |
| <b>Erimesi</b>            | <b>C</b>     | <b>B</b>        | <b>B</b>        | <b>A</b>           | <b>B</b>          |
| <b>Yetersiz</b>           |              |                 |                 |                    |                   |
| <b>Nüfuziyet</b>          | <b>B</b>     | <b>B</b>        | <b>B</b>        | <b>A</b>           | <b>B</b>          |
| <b>Yanma Oluğu</b>        | <b>A</b>     | <b>B</b>        | <b>B</b>        | <b>B</b>           | <b>C</b>          |
| <b>Aşırı Metal</b>        |              |                 |                 |                    |                   |
| <b>Yığılma</b>            | <b>A</b>     | <b>—</b>        | <b>—</b>        | <b>B</b>           | <b>C</b>          |
| <b>Fazla Konvekslik</b>   | <b>A</b>     | <b>—</b>        | <b>—</b>        | <b>B</b>           | <b>C</b>          |
| <b>Fazla Nüfuziyet</b>    | <b>—</b>     | <b>—</b>        | <b>—</b>        | <b>B</b>           | <b>C</b>          |
| <b>Yanlış Metal</b>       |              |                 |                 |                    |                   |
| <b>Yığılma Açısı</b>      | <b>A</b>     | <b>—</b>        | <b>—</b>        | <b>—</b>           | <b>—</b>          |
| <b>Katmer</b>             | <b>B</b>     | <b>A</b>        | <b>B</b>        | <b>C</b>           | <b>C</b>          |
| <b>Hatalı Birleştirme</b> | <b>A</b>     | <b>—</b>        | <b>—</b>        | <b>—</b>           | <b>C</b>          |
| <b>Delik</b>              | <b>A</b>     | <b>B</b>        | <b>C</b>        | <b>B</b>           | <b>B</b>          |
| <b>Yetersiz Dolmuş</b>    |              |                 |                 |                    |                   |
| <b>Kaynak Ağzı</b>        | <b>A</b>     | <b>—</b>        | <b>—</b>        | <b>B</b>           | <b>C</b>          |
| <b>Sıçrama</b>            | <b>A</b>     | <b>C</b>        | <b>C</b>        | <b>—</b>           | <b>—</b>          |

**\* A: En fazla Uygulanabilir.**

### 3.3. KAYNAKLARDA KALİTE SEVİYESİNİN TESBİTİ

Çelik ve alüminyum malzemelerin kaynaklı birleştirmelerinde süreksizliklerin miktarına ve boyutuna bağlı olarak kaynağın kalitesini tesbit etmek için standartlar hazırlanmıştır. TSE 7830 çelik saçlar (0,5 - 3,6 mm) ve çelik levhalar (kalınlık > 3,6 mm) için süreksizliklerin kabul sınırlarını vermiştir. Süreksizliklere göre kaynaklı birleştirme kalite gurplarına ayrılmıştır.

Kaynak ağzı açılmış alın kaynakları AS, BS, CS ve DS olmak üzere 4 kaliteye ayrılırken iç köşe kaynakları AK, BK ve CK diye 3 kaliteye ayrılmıştır. S harfi kaynak ağzı açılmış alın kaynağının ve K harfi iç köşe kaynağını ifade eder. A en yüksek, B daha düşük kaliteyi ifade eder. Mesela AS ve BS kalitede krater boşluğuna müsaade edilmezken CS ve DS'de az olmak koşuluyla müsaade edilir. Kut oyukları AS'de bulunmazken BS'de bulunabilir. Şekil 3.42'den itibaren kaynak süreksizliklerinin değerlendirme gurpları gösterilmiştir.

Gurplar arasındaki farklar grafik halinde verilmiştir.

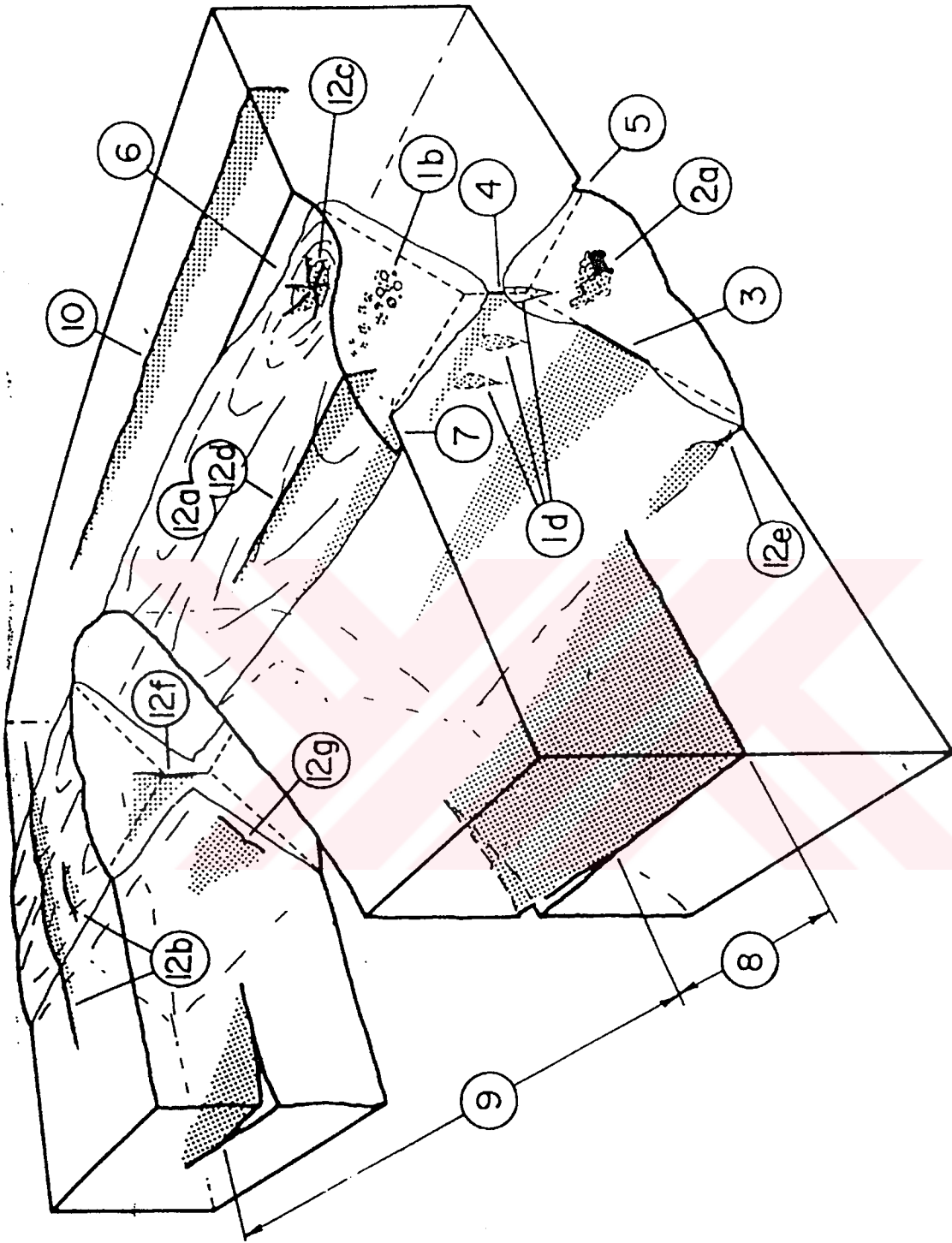
Bir kaynak dikişinde kaynak seviyesinin tesbiti için DIN 8563'de verilen tavsiyeler Tablo 3. 9 ve Tablo 3.10'da verilmiştir.

**ABLO 3.9.****N 8563'e göre Alın Dikişleri Kalite Seçimi Tavsiyeleri**

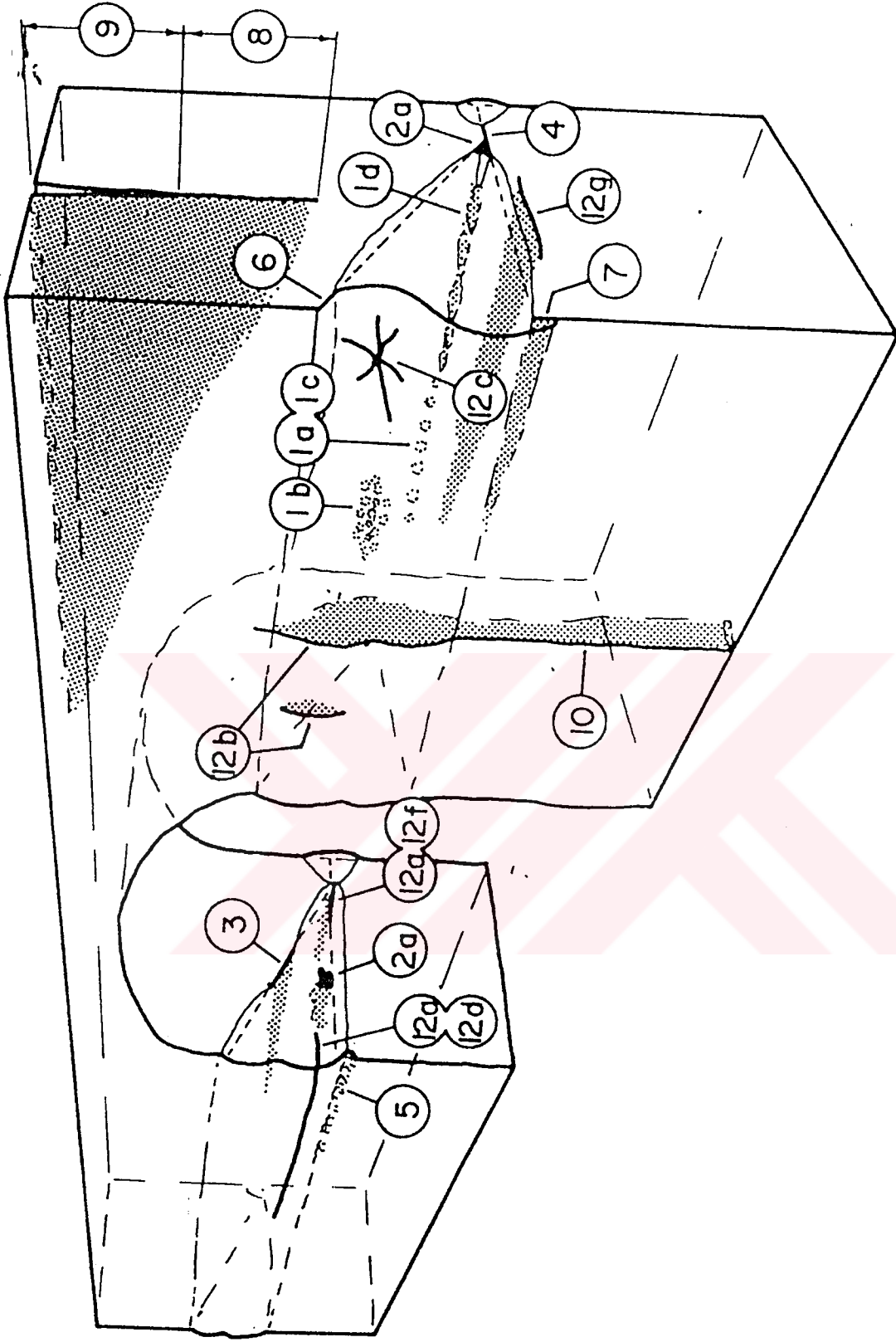
| Süreksizlik                                  | DIŞ YÜK TÜRÜ |      |        |         |      |        |
|----------------------------------------------|--------------|------|--------|---------|------|--------|
|                                              | STATİK       |      |        | DİNAMİK |      |        |
|                                              | Düşük        | Orta | Yüksek | Düşük   | Orta | Yüksek |
| Aşırı Metal Yığılma                          | DS           | DS   | DS     | DS      | CS   | BS     |
| Konum Hatalı Birleştirme Çift Taraftan Dikiş | DS           | DS   | CS     | DS      | CS   | BS     |
| Tek taraflı Dikiş                            | CS           | CS   | BS     | CS      | CS   | BS     |
| Yanma Oluğu                                  | DS           | CS   | BS     | CS      | BS   | AS     |
| Gözenek                                      | DS           | DS   | CS     | DS      | CS   | BS     |
| Görünür Curuf Kalıntısı                      | DS           | CS   | BS     | CS      | BS   | BS     |
| Metal Sıçraması                              | DS           | CS   | CS     | CS      | BS   | BS     |
| Nüfuziyet                                    | CS           | BS   | AS     | AS      | AS   | AS     |
| Yetersiz Ergime                              | CS           | BS   | AS     | AS      | AS   | AS     |
| Kaynak Edilmemiş Kök                         | CS           | BS   | AS     | AS      | AS   | AS     |
| Kökte Aşırı Metal Yığılma                    | DS           | DS   | DS     | DS      | CS   | BS     |
| Kökte Yanma Oluğu                            | DS           | CS   | BS     | AS      | AS   | AS     |
| Çatlaklar                                    | DS           | CS   | CS     | CS      | CS   | BS     |
| Curuf Kalıntısı                              | DS           | CS   | BS     | CS      | BS   | AS     |
| Gaz Kalıntısı                                | CS           | CS   | CS     | CS      | CS   | BS     |
| Kökte Çentik                                 | DS           | CS   | BS     | BS      | BS   | BS     |

**BLO 3.10.****¶ 8563'e Göre İç Köşe Kaynakları İçin Kalite Seçim Tavsiyeleri**

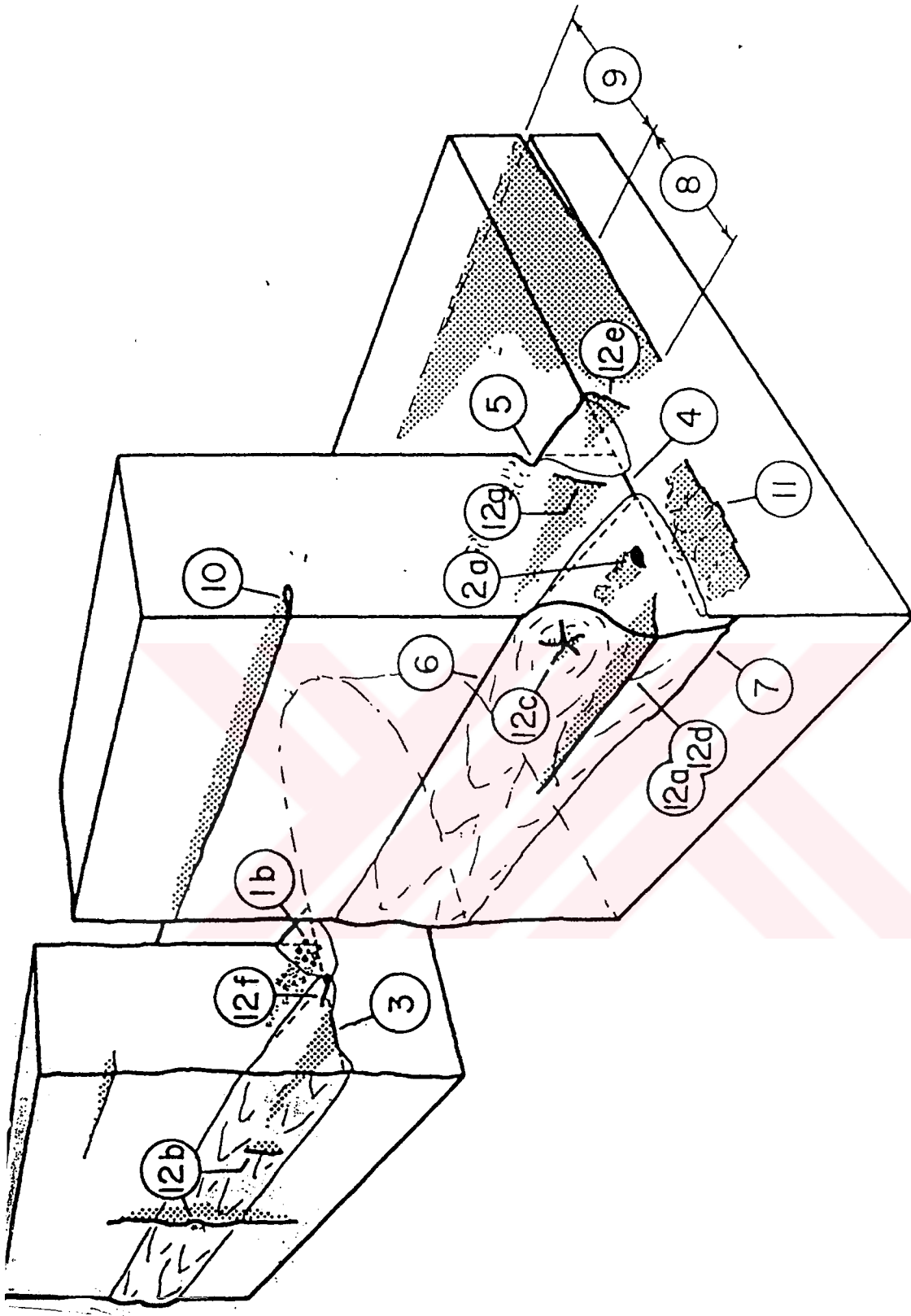
| Süreksizlik                 | DIŞ YÜK TÜRÜ |      |        |         |      |        |
|-----------------------------|--------------|------|--------|---------|------|--------|
|                             | STATİK       |      |        | DİNAMİK |      |        |
|                             | Düşük        | Orta | Yüksek | Düşük   | Orta | Yüksek |
| Aşırı Metal Yığılma         | CK           | CK   | CK     | BK      | BK   | BK     |
| Dikiş İç Bükeyliği          | DS           | CK   | BK     | BK      | BK   | AK     |
| Eşit Olmayan Dikiş Uzunluğu | CK           | CK   | CK     | CK      | CK   | BK     |
| Yanma Oluğu                 | CK           | CK   | BK     | BK      | BK   | AK     |
| Görünür Gözenek             | CK           | CK   | BK     | CK      | BK   | AK     |
| Görünür Curuf Kalıntısı     | CK           | CK   | BK     | CK      | BK   | AK     |
| Krater                      | CS           | CK   | BK     | BK      | BK   | AK     |
| Metal Sıçraması             | CK           | BK   | BK     | BK      | BK   | BK     |
| Yetersiz Ergime             | BK           | BK   | AK     | AK      | AK   | AK     |
| Çatlak                      | CK           | CK   | BK     | BK      | BK   | BK     |
| Gaz Kalıntısı               | CK           | CK   | BK     | CK      | BK   | BK     |
| Curuf Kalıntısı             | CK           | CK   | BK     | BK      | BK   | AK     |



Şekil 3.37. Çift V Alın Kaynak Birleştirilmesi



Şekil 3.38. Kaynak Ağızı Açılmış Alın Kaynak Birleştirilmesi



Şekil 3.39. Köşe Birleştirme Kaynağı

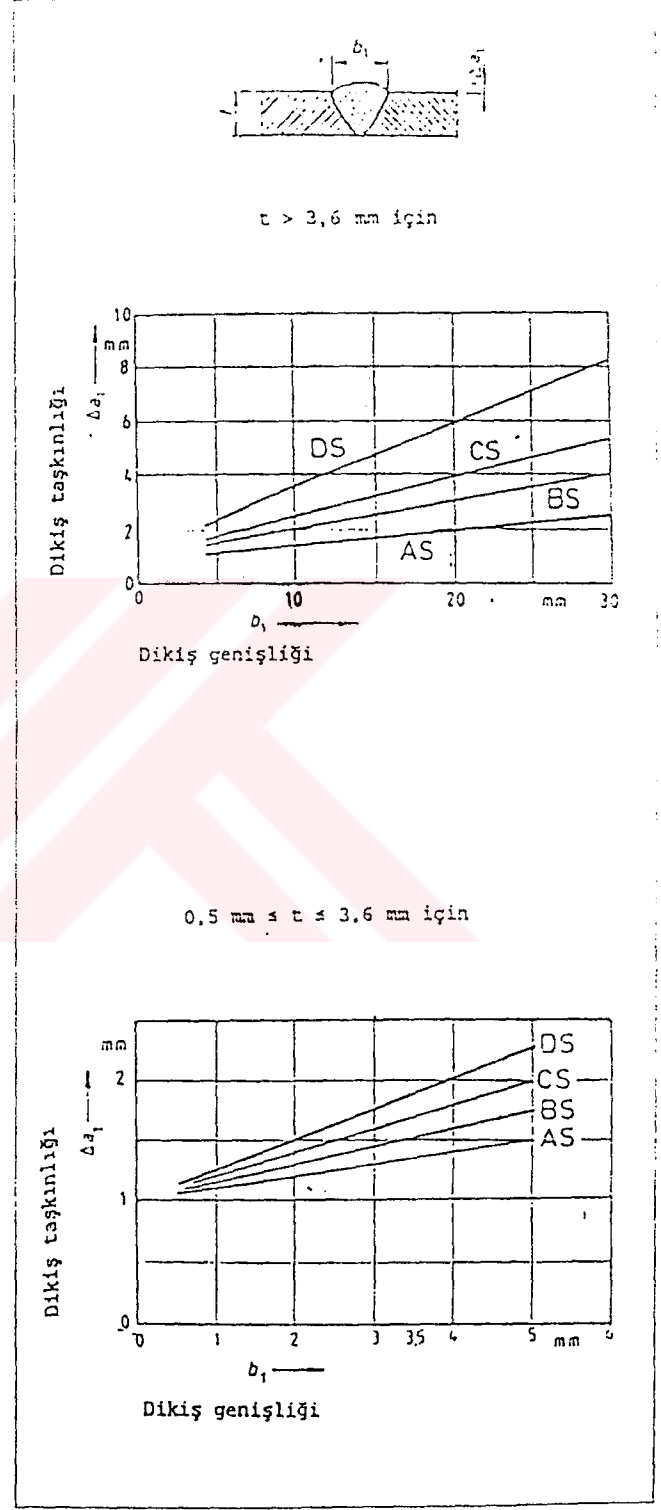




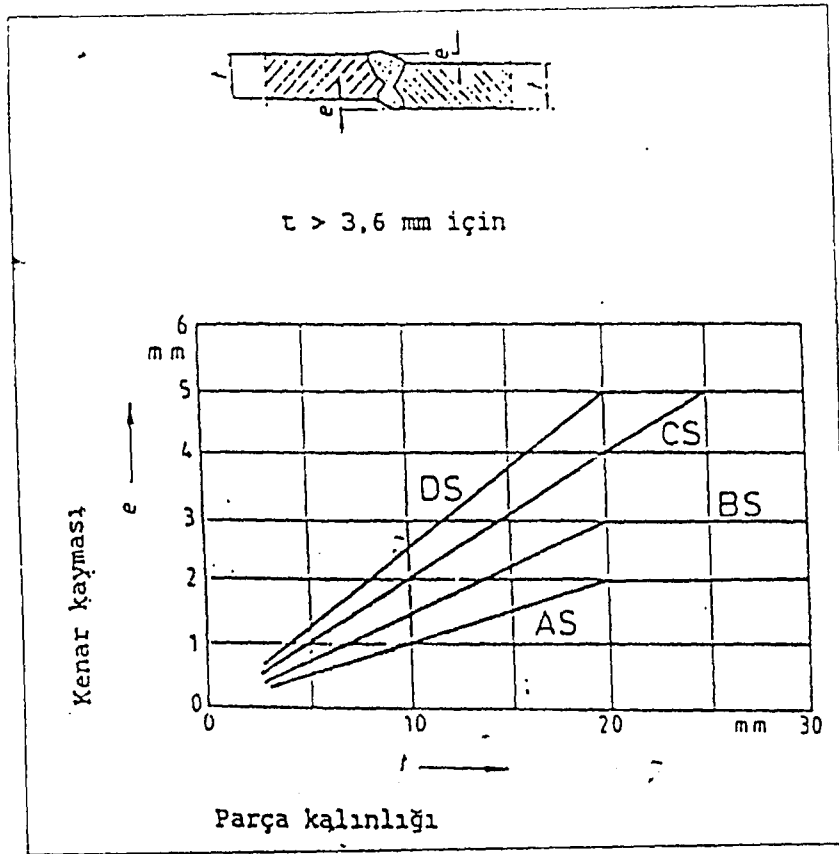




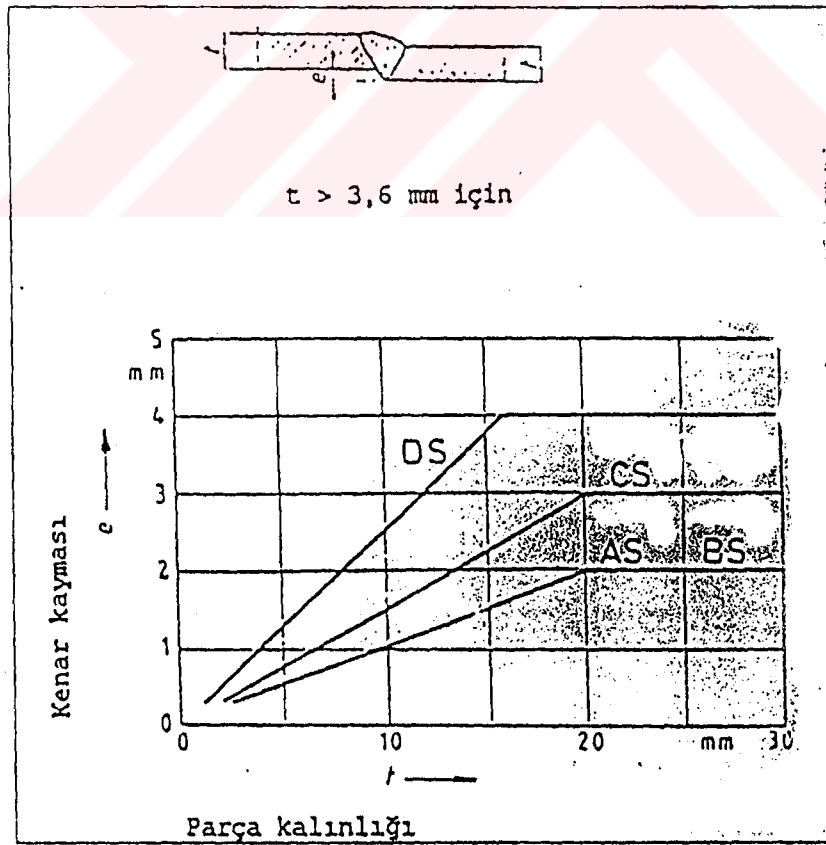
Şekil 3.43. V Alın Kaynağında Yetersiz Kaynak Doldurması



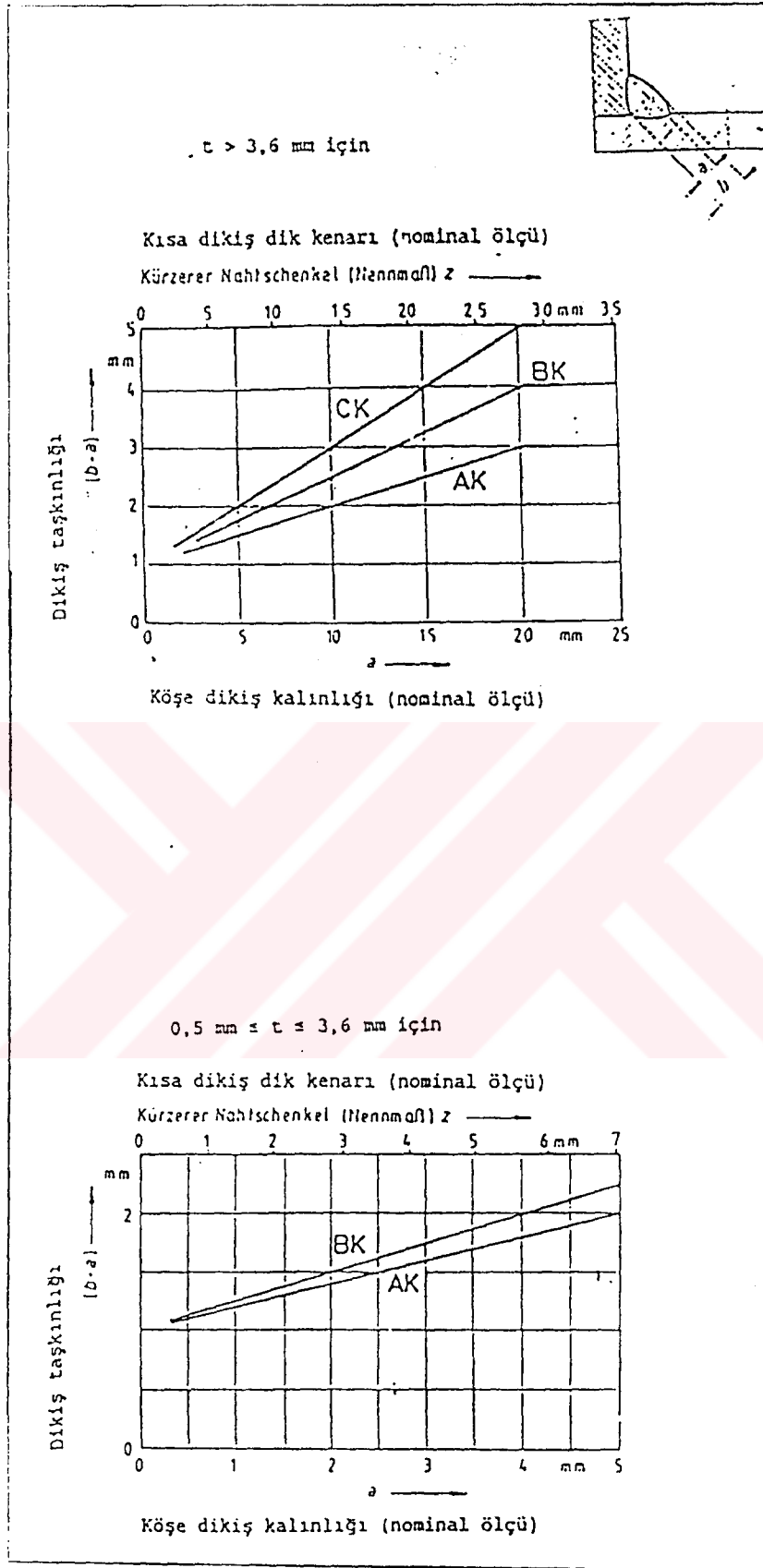
Şekil 3.44. V Alın Kaynağında Aşırı Metal Yığılması



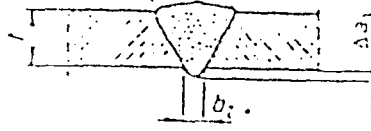
Şekil 3.45. Çift V Alın Kaynağında Eksen Kayması



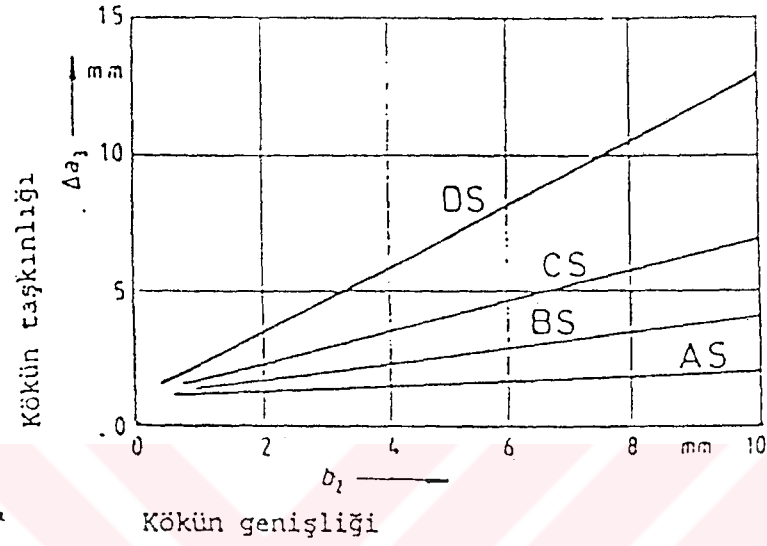
Şekil 3.46. V Alın Kaynağında Eksen Kayması



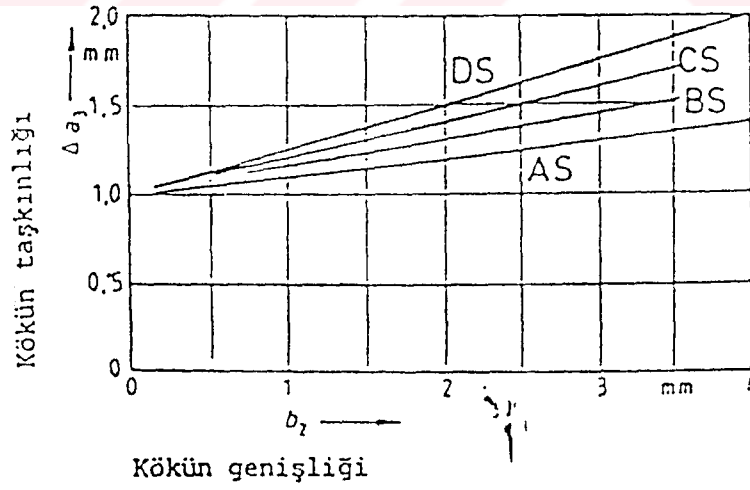
Şekil 3.47. İçKöşe Kaynaklarında Dışbükeylik Miktarı



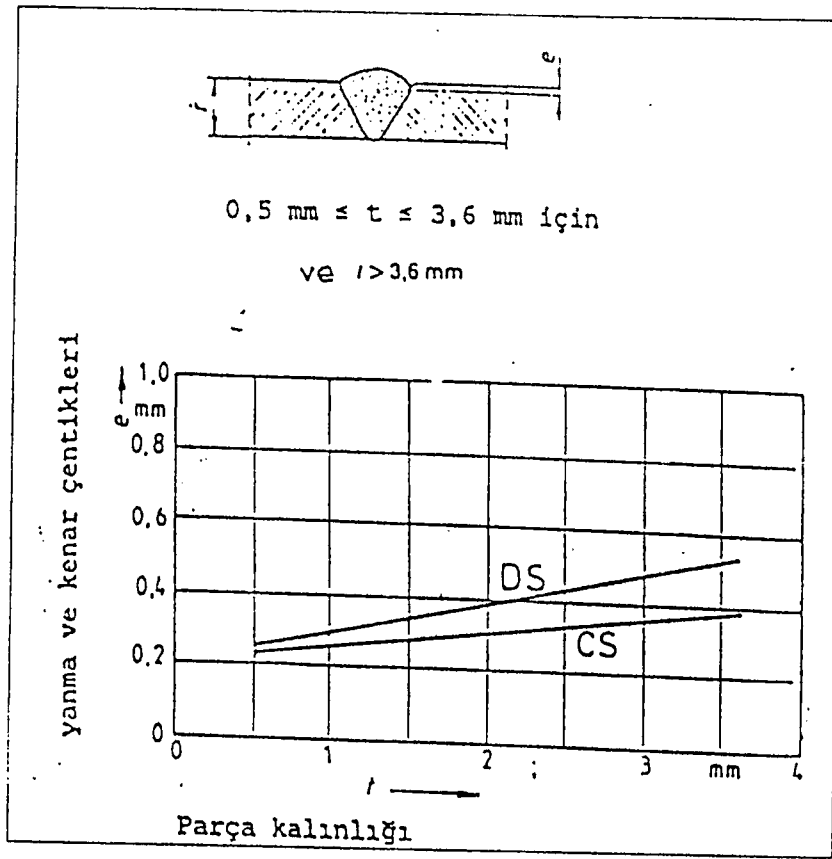
$t > 3,6 \text{ mm}$  için



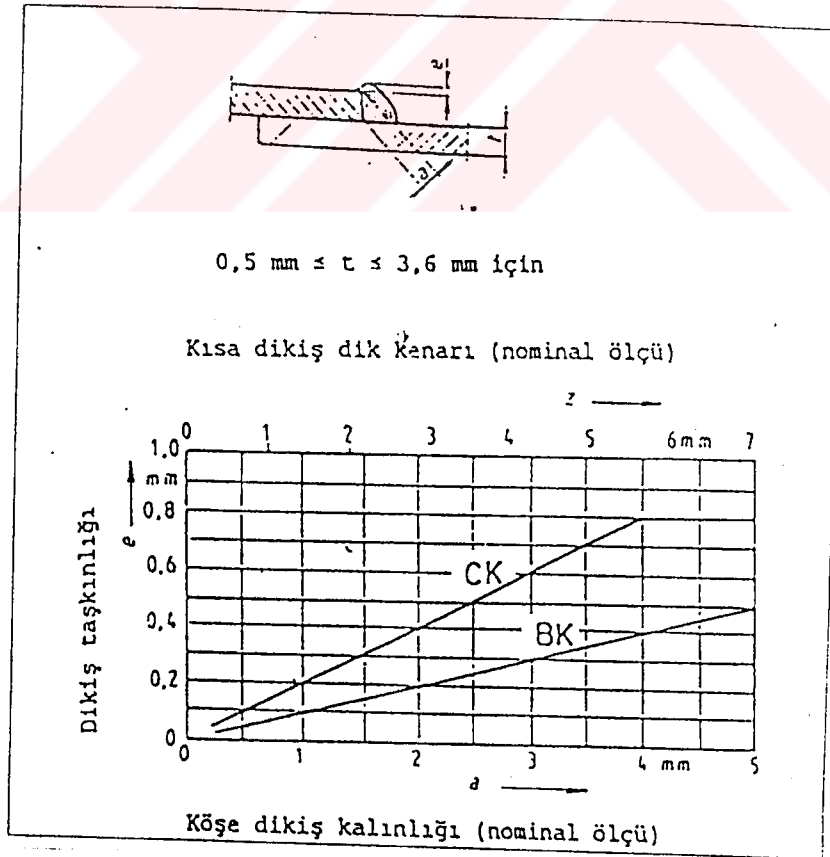
$0,5 \text{ mm} \leq t \leq 3,6 \text{ mm}$  için



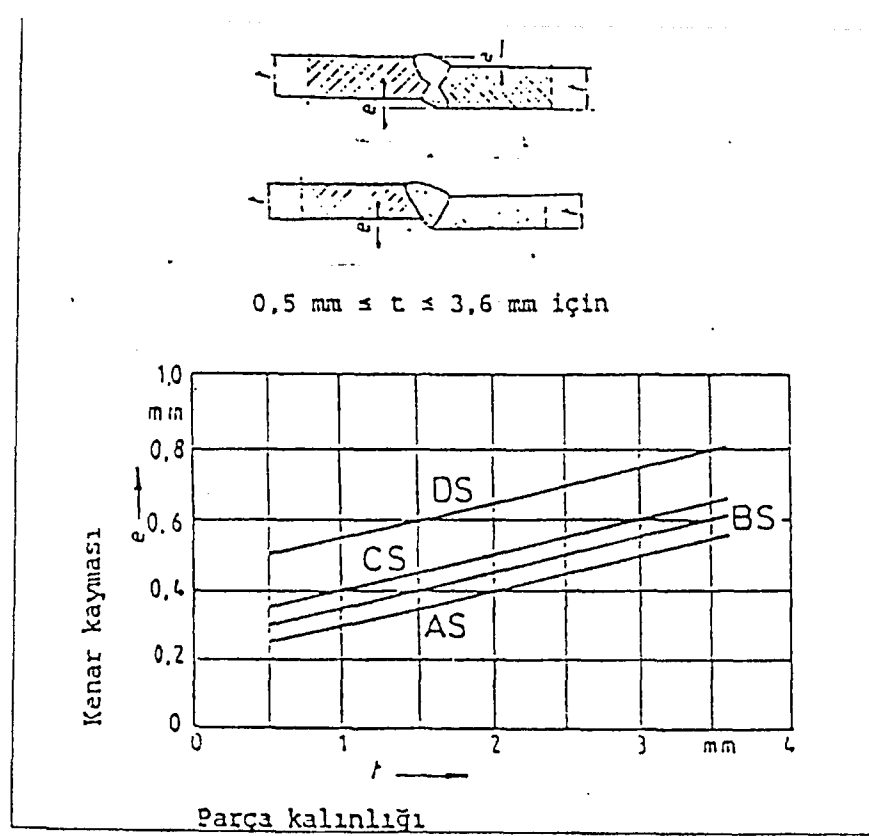
Şekil 3.48. V Alın Kaynağında Kök Aşırı Metali



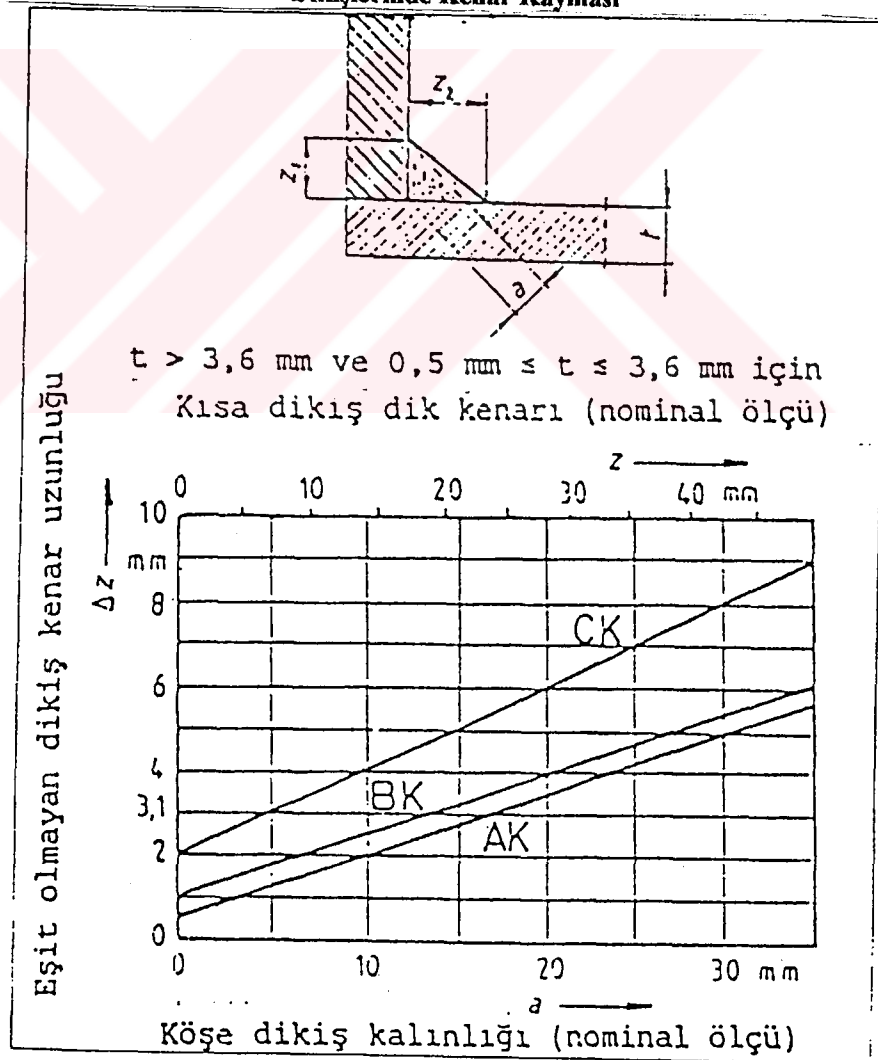
Şekil 3.49. V Alın Kaynağında Yanma Oluğu



Şekil 3.50 Bindirme Kaynaklarında Aşırı Metal Yığılması



Şekil 3.51. Çift Taraftan Kaynak Edilmiş Alın Dikişlerinde ve Tek Taraftan Kaynak Edilmiş Alın Dikişlerinde Kenar Kayması



Şekil 3.52. Köşe Dikişlerinde Eşit Olmayan Dikiş Kenar Uzunlukları

## **BÖLÜM 4 : YÖNTEMLER**

### **4.1. ÖRTÜLÜ ELEKTROD İLE ARK KAYNAĞI**

Örtülü elektrodlar ile kaynak yapılırken kaynak şartları değişkenlerine bağlı olarak kaynak kalitesi ve dikiş görüntüsü değişir. Kaynak süreksizlikleri ve bunları önleme tedbirleri aşağıda açıklanmıştır. Tablo 4.1’ de ise genel kaynak hataları sebepleri ve önlemleri belirtilmiştir.

#### **4.1.1 Sıçramalar**

Kaynak metalinin sıçramaları kaynak mukavemetini azaltmaz, ama görüntüyü bozar ve temizleme maliyetini artırır. Sıçramayı azaltmak için önerilen tedbirler aşağıdadır.

1. Kaynak akımı düşürülür. Kullanılan elektroda ve çapına göre tavsiye edilen akım sınırının tabanına doğru inilir.
2. Elektrod cinsine göre uygulanan polarite doğru olmalıdır.
3. Ark uzunluğu kısaltılmamalıdır.
4. Eğer sıvı metal arkın önünde gidiyorsa elektrod açısı değiştirilir.
5. Ark üflemesi önlenmelidir.
6. Elektrod çok nemli olmalıdır.

#### **4.1.2. Yanma Olukları**

Çekme gerilmelerine veya yorulmaya çalışan kaynaklarda yanma olukları çatlama ve kırılmaya yol açar. Yanma oluşunu minimuma indirmek için önerilen tavsiyeler şunlardır.

1. Kaynak havuzu idare edilebilir hale gelene kadar kaynak akımı, kaynak ilerleme hızı veya elektrod çapı küçültülür.
2. Elektrod açısı değiştirilerek ark kuvvetinin sıvı metalin köşelerde kalması sağlanır.
3. Aşırı elektrod hareketi azaltır.
4. Kaynak ilerleme hızı sabitleştirilir.
5. Ark üflemesi kontrol altına alınır.
6. Ark uzunluğu azaltılır.

#### **4.1.3. Kararsız Ark**

Kaynakta kullanılan elektroda uygulanan polarite ve akım şiddeti üreticinin tavsiyelerine uygun olmasına rağmen ark kararsızlığı olabilir. Elektrod nemi bu olaya yol açar. Kuru elektrodlar ile kaynak yapılmalıdır.

#### **4.1.4. Porozite ve Yüzey Delikleri**

Porozitenin çoğu gözle görülemez. Ama fazla porozite kaynağı zayıflatır. Aşağıdaki pratik uygulamalar poroziteyi azaltır.

1. Kaynak bölgesinden pas, boya, nem veya kir giderilir. Kirli çelikler için genellikle E 6010 veya E 6011 elektrodları seçilir. Elektrod örtü nemi yok edilir. Yani kurutulur ve ondan sonra kaynak işlemi gerçekleştirilir.
2. Kaynak havuzunun uzun süre sıvı kalması sağlanarak katılaşma öncesi gazların çıkması sağlanır.
3. Karbon veya mangan oranı düşük olan çelikler ile kükürt veya fosfor oranı yüksek olan çelikler düşük hidrojenli elektrodla, ar ile kaynaklanır. Kaynak akımı azaltılarak ve kaynak ilerleme hızı artırılarak nüfuziyet minimuma indirilir. Bunun sonucu olarak ana metalin kaynak metaline karışım minimuma indirilir.
4. Ark uzunluğu kısaltılmalıdır. Zaten düşük hidrojenli elektrodlar kısa ark boyu ile kaynaklanır.
5. Ark üfleme sonucu olarak saçların kaynağında dikiş bitiş bölgelerinde yüzey porozitesi olur. Ark üfleme önlenerek bu hatalar önlenir.
6. Kısa ark boyu ile kaynak yapılarak kaynak havuzunda azot çözünürlüğü yok edilir.

Poroziteyi en aza indirmek için alınan tedbirler yüzey boşluklarının oluşumunu da önler.

#### 4.1.5. Yetersiz Ergime

Yetersiz Ergime sık sık çıplak gözle görülebilir. Yetersiz ergimeyi önlemek için alınması gerekli tedbirler aşağıdadır.

1. Kaynak akımı artırılır ve elektrod hareketi tamamen önlenir.
2. Kaynaklanacak kenarların temiz olması sağlanır veya E 6010, E6011 elektrodlaqrı kullanılır.
3. Kaynak ağızlarında açıklık fazla ise boşluğu doldurmak için zikzaklı dikiş çekilir.

#### 4.1.6. Yetersiz Nüfuziyet

Yetersiz nüfuziyeti önlemek için alınan tedbirler aşağıdadır.

1. Kaynak akım şiddeti artırılır.
2. Kaynak ilerleme hızı azaltılır.
3. Dar ve derin açıklıklarda ince elektrodlar ile kaynak yapılır.

#### 4.1.7. Çatlaklar

Bir dikişte çok değişik türde, farklı mekanizmalara bağılı olarak farklı çatlak türleri meydana gelmektedir.

Yüksek karbon veya yüksek alaşımlı veya yüksek kükürt oranı ihtiva eden çeliklerde çatlak oluşumunu önlemek için alınan tedbirler aşağıdadır.

1. Düşük hidrojenli elektrod kullanılır.
2. Ön tavlama yapılır. Bilhassa kalın levha ve rijit konstrüksiyonlarda yüksek ön tavlama yapılır.
3. Nüfuziyeti azaltmak için küçük çaplı elektrod ve düşük akım şiddeti seçilir. Bu tedbirle sıvı metal havuzuna geçen ana metal miktarı azaltılmış olur.

Krater çatlaklarını önlemek için ark söndürölüp elektrod değiştirilmeden önce geri adımlı dikiş çekilerek krater doldurulur.

Çok pasolu kaynaklarda ve iç köşe kaynaklarında ilk dikiş yeteri kadar geniş ve yüzeyinin düz veya dış bükey olması sağlanır. Böylece diğer pasolar çekilene kadar ilk dikişin çatlaması önlenmiş olur.

#### **4.1.8. Curuf İnkluzyonları**

Çeliklerin örtülü elektrodla elektrik ark kaynağında curuf inkluzyonları önemli kaynak süreksizlikleridir. Bunları önlemek için alınan tedbirler aşağıdadır.

1. Pasolar arasında bir önceki dikiş tel fırça veya taşlama ile tamamen temizlenir.
2. Geniş elektrod hareketinden kaçılır. Bu hareket dikişin kenarlarında curuf katılaşmasına yol açtığından hareket azaltılarak sıvı metal havuzunun arkasında curuf boydan boya sıvı kalması sağlanır.
3. Kararsız kaynak ilerlemesine son verilip sabit bir hızda kaynak yapılır.
4. Ark kısa tutularak veya elektrod açısı artırılarak veya kaynak ilerleme hızı artırılarak curufun sıvı halde arkın peşi sıra gelmesi sağlanır. Bilhassa derin alın kaynaklarında curufun arkın önüne geçmesi önlenir.
5. Küçük çaplı elektrod ile kaynak yapılır.

#### **4.1.9. Katmer**

Kaynak dikişinde katmer olmaması için alınan tedbirler aşağıdadır.

1. Kaynak hızı öyle seçilirki ark kaynak havuzunun önünde ilerler.
2. Elektrod açısı uygun seçilerek ark kuvvetinin sıvı metali havuzun dışarısına, erimemiş ana metal fişkirtması önlenir.

**TABLO 4.1. : Genel Kaynak Hataları, Sebepleri ve Karşı Önlemleri**

| <b>Sebepler</b>                                           | <b>Çareler</b>                                                                                                                        |
|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b><u>POROZİTE</u></b>                                    |                                                                                                                                       |
| *Kaynak atmosferinde aşırı hidrojen azot ve oksijen       | *Hidrojen oranı düşük elektrod kullanımı                                                                                              |
| *Yüksek katılaşma hızı                                    | *Ön tavlama uygulanır veya kaynak enerjisini artırır.                                                                                 |
| *Kirli ana metal                                          | *Temizlenmiş kaynak bölgesi                                                                                                           |
| *Hatalı ark uzunluğu, akım şiddeti veya elektrod hareketi | *Kaynak şartlarını ve tekniğini değiştirir.                                                                                           |
| *Galvanize çelik                                          | *E7010 elektrodları kullanılır. Çinkonun sıvı metal havuzunun önünde buharlaşacak şekilde ark oluşturur.                              |
| *Elektrod örtüsünde veya kaynak bölgesinde fazla nem      | *Elektrodları kurut ve kaynak öncesine kadar sıcak depola- Ana metal kaynak bölgesini ısıtarak kurut.                                 |
| *Yüksek kükürtlü çelik                                    | *Bazık curuf reaksiyonu olan elektrod kullan.                                                                                         |
| <b><u>İNKLUZYONLAR</u></b>                                |                                                                                                                                       |
| *Curufu Temizlememe                                       | *Bir önceki dikiş yüzeyini temizle                                                                                                    |
| *Refrakter oksitlerin hapsolmesi                          | *Bir önceki dikiş yüzeyini tel fırça ile temizle                                                                                      |
| *Hatalı Birleştirme Tasarımı                              | *Kaynak ağız açısını büyüt.                                                                                                           |
| <b><u>KAYNAK METALİNİN ÇATLAMASI</u></b>                  |                                                                                                                                       |
| *Yüksek rijidite konstrüksiyon                            | *Ön tavlama yapın. Mekanik gerilme giderme yapın. Geri adım veya blok kaynak serisi tekniği ile çekme gerilmelerini minimuma indirin. |
| *Ana metal ile kaynak metalinin                           | *Kaynak akımı ve ilerleme hızını azalt. Elektrodu negatife bağla ve kaynak öncesi iş parçası yüzeyine ince kaynak tabakası çek        |
| *Hatalı elektrod                                          | *Elektrodu kurut veya yenisi ile değiştir.                                                                                            |
| *Küçük kaynak dikişi                                      | *Elektrod çapını büyült, kaynak akımını artır ve ilerleme hızını azalt                                                                |
| *Krater çatlaması                                         | *Krateri doldur.                                                                                                                      |

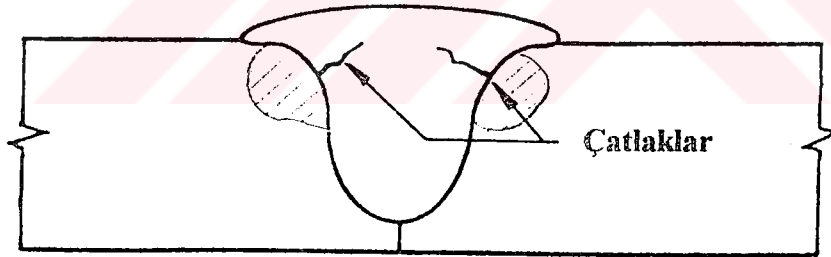
**TABLO 4.1'in Devamı**

| <b>Sebepler</b>                                                    | <b>Çareler</b>                                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b><u>ANA METAL CATLAMASI</u></b>                                  |                                                                                                         |
| *Kaynak atmosferinde hidrojen                                      | *Düşük hidrojenli elektrod kullan. Ön tavlama yap ve kaynağın hemen akabinde ısıt işlem uygula          |
| *Sıcak çatlama                                                     | *Düşük enerji ile kaynak yap.İnce dikiş çek Ana metali değiştir.                                        |
| *Düşük süneklik                                                    | *Ön Tavlama yap                                                                                         |
| *Yüksek kalıntı gerilme                                            | *Kaynaklı birleştirmenin tassarımını değiştir ve kaynak sonrası hemen gerilme giderme tavlaması uygula. |
| *Yüksek sertleşme kabiliyeti                                       | *Ön tavlama yap. Kaynak enerjisini arttır ve kaynak biter bitmez yani soğumadan ısıt işlem uygula.      |
| <b><u>YANMA OLUĞU</u></b>                                          |                                                                                                         |
| *Aşırı kaynak akımı, uzun ark boyu veya kaynak zigzag hareket hızı | *Minimum ark boyu ve uygun akım şiddeti ile kaynak yapılır. Elektrod zigzag hareketi yavaşlatılır.      |
| *Büyük elektrod çapı                                               | *Elektrod çapı küçültülür.                                                                              |
| *Hatalı elektrod açısı                                             | *Elektrod açısı ayarlanır.<br>(Sıvı metal havuzda kalacak şekilde)                                      |

## 4.2. TOZ ALTI ARK KAYNAK YÖNTEMİ

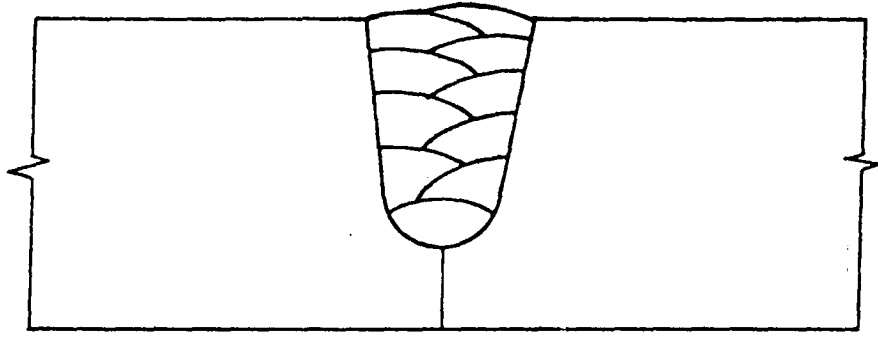
Tozaltı kaynağı yüksek enerjili bir elektrik ark kaynak yöntemi olduğundan sıvı kaynak metali havuzu çok büyük olur. Kaynak şartları kaynak metali geometrisi üzerinde büyük rol oynar. Bu yöntemde görülen etkiler diğer elektrik ark kaynaklarına nazaran daha belirgindir. Kaynak akımı, ark gerilimi, akım türü, polarite, kaynak ilerleme hızı, elektrod çıkış uzunluğu birleştirilecek parçaların konumu kaynak geometrisini tayin eder. Bu faktörlerin tesirleri hakkında ince detaylar tekrarlanmamaktadır.. Sadece hatalı dikiş geometrileri, sebepleri ve önlemlerine kısaca değinilecektir.

Şekil 4.1’de alın kaynak birleştirmelerinde aşırı ark gerilimi ve düşük kaynak ilerleme hızından dolayı oluşan şapka şekilli dikiş geometrisi görülmektedir. Taralı ITAB bölgesinin sertliği maksimum değerdedir. Buna komşu kaynak metalinde çatlaklar oluşmaktadır. Kaynak geometrisini kontrol altında tutarak bu çatlaklar önlenabilir.

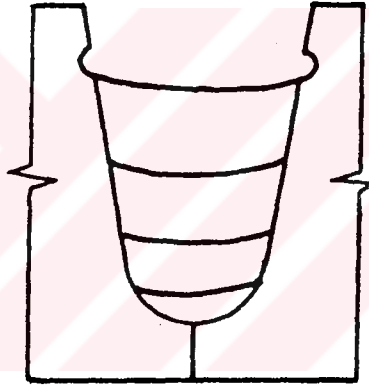


Şekil 4.1.: Şapka şekilli dikiş. ITAB taralı alanda maximum sertlik elde edilir.

Alın kaynaklarında dikiş yüzey geometrisi de önemlidir. Şekil 4.2a’da görüldüğü gibi dar ve az dış bükey dikişlerin yüzeyinden curuf temizliği kolaylıkla yapılır ve pasolar arası curuf kalma tehlikesi yoktur. Eğer dikişler Şekil 4.2b’de olduğu gibi geniş ve iç bükey ise temizlik sıhhatli olmaz. Ayrıca bu dikişlerde yanma oluşu oluşma ihtimali yüksektir. Alın kaynaklarında parçalar arası mesafede önemlidir. Açıklığa bağlı olarak dikiş geometrisi değişir.



(a)

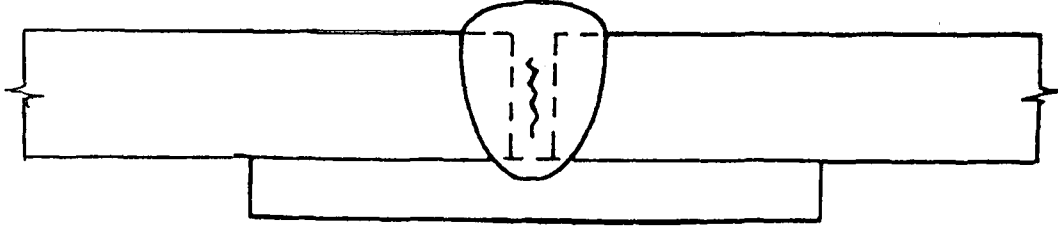


(b)

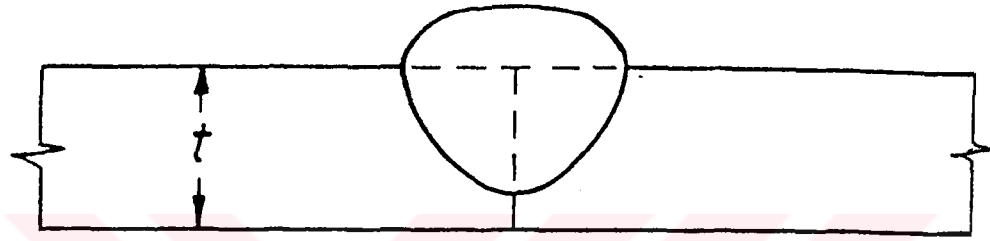
**Şekil 4.2 Çok pasolu alan kaynakları**  
(a) Doğru (b) Yanlış

Şekil 4.3’de görüldüğü gibi parça kalınlığına göre verilen dar aralıkta dikiş iç çatlağı oluşur. Kısmi nüfuziyetli alın kaynaklarında ise parçaların geometrisinin tesirini Şekil 4.4’de görülmektedir. Küt alın kaynak birleştirmesinde aşırı kaynak metali taşkınlığı meydana gelmektedir. Bu aşırı taşkınlık kaynak ağzı açılması ile veya parçalar arası aralık yapılarak önlenmektedir.

İç köşe kaynaklarında dikiş geometrisine bağlı olarak kaynak metali çatlayabilir. Kaynak genişliği derinliğinden en az % 25 daha büyük olmalı ve yüzey düz veya hafif dış bükey olmalıdır.

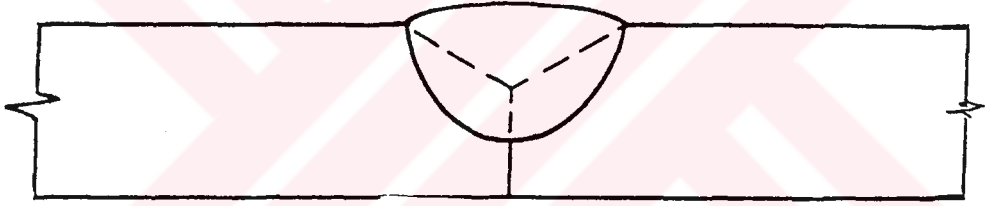


**Şekil 4.3. Hatalı Küt Alanı Kaynak Dikişi**



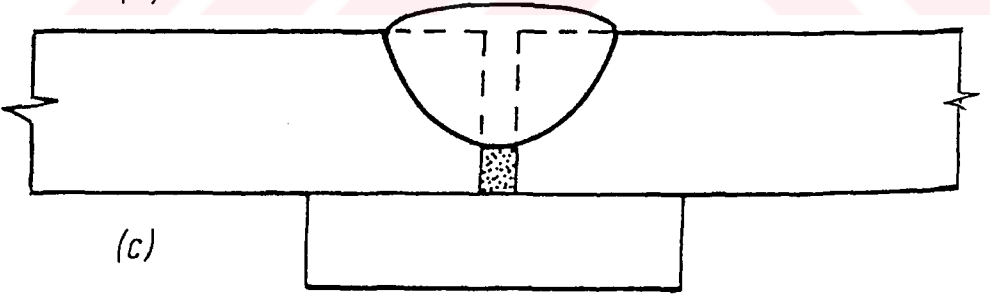
(a)

**Hatalı küt alın dikişi**



(b)

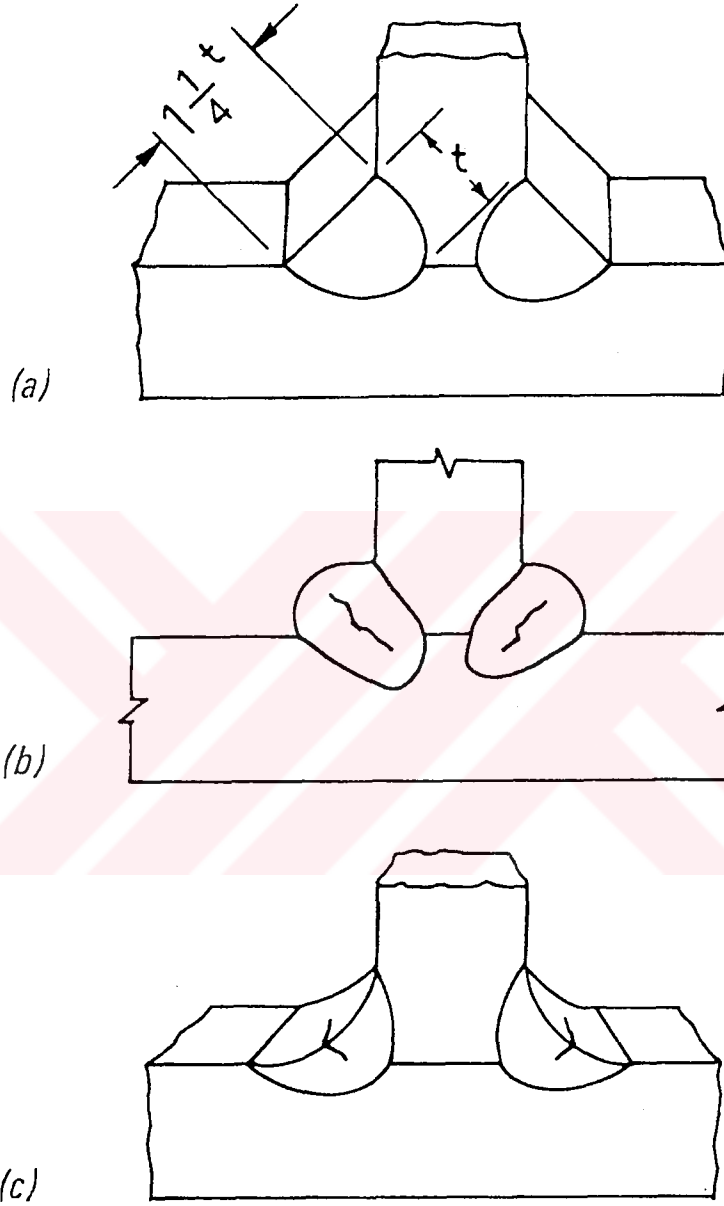
**Küt alın kaynağı**



(c)

**Şekil 4.4. Kısmi Nüfuziyetli Alın Kaynakları**

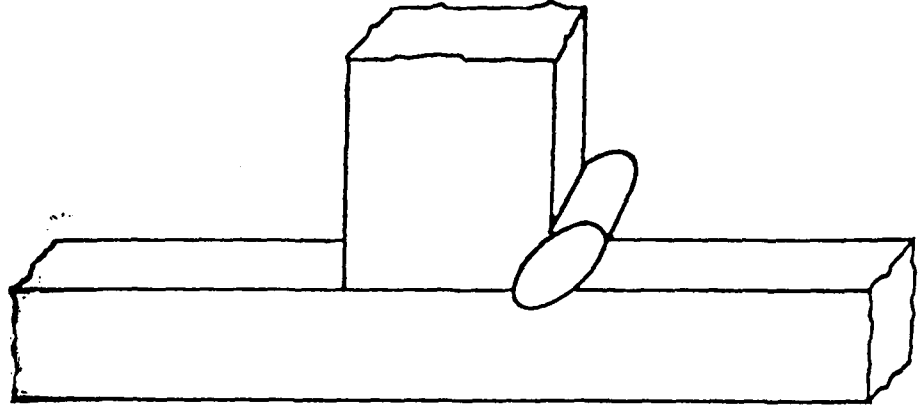
Derinliği fazla olan veya aşırı iç bükely olan dikişlerde çatlama olduğunu şematik olarak Şekil 4.5’de görmekteyiz.



**Şekil 4.5 : İç köşe kaynaklarında dikiş şeklinin çatlamaya tesiri**

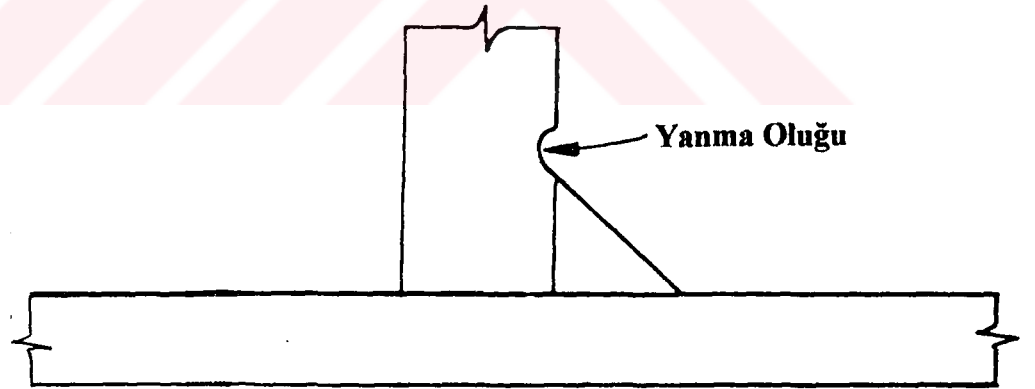
- a) Genişlik derinlikten daha fazla; tavsiye edilen minimum genişliğin derinliğe oranı 1,25’dir.
- b) Derinliği genişliğinden fazla olan dikişler iç çatlak yapar.
- c) Dış bükely dikişler dikiş şekli ne olursa olsun yüzey çatlağına sebebiyet verir.

Kaynak ilerleme hızı aşırı yüksek olursa, aşırı yüksek akım şiddeti veya çok düşük ark gerilimi sonucunda dikiş geometrisi Şekil 4.6’da görüldüğü gibi bozulur.



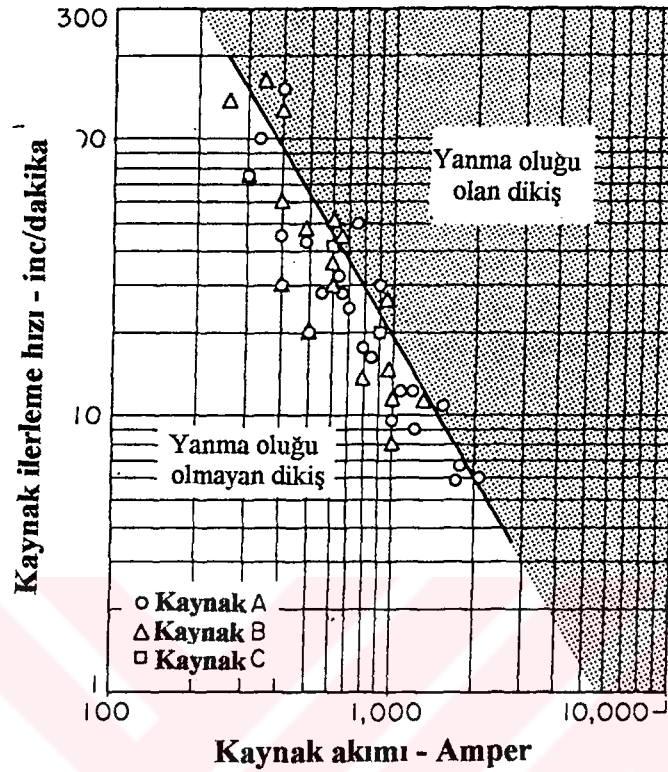
**Şekil-4.6. İstenmeyen iç köşe kaynak dikişi**

Ayrıca iç köşe kaynaklarında dikiş ayak uzunluğu aşırı büyütülürse yanma olukları oluşur(Şekil-4.7.)



**Şekil-4.7. Aşırı büyük iç köşe kaynaklarında yanma oluğu**

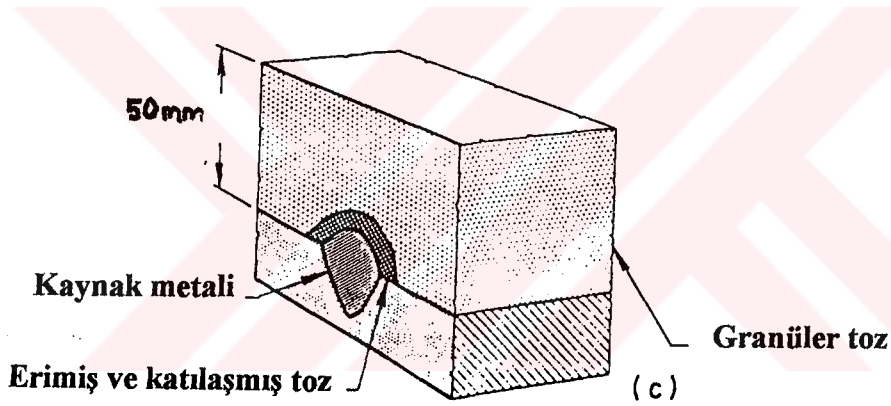
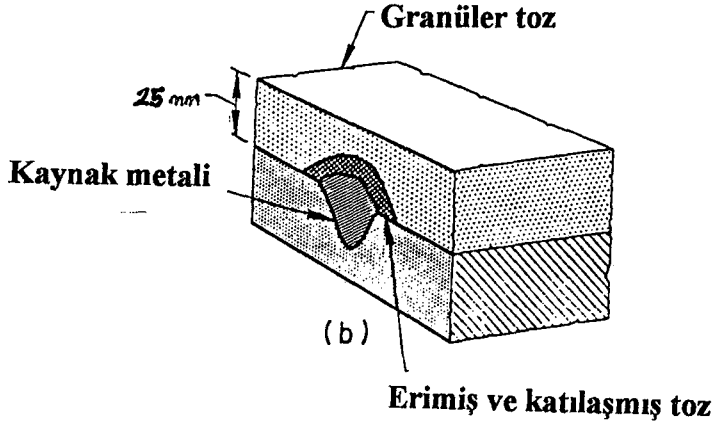
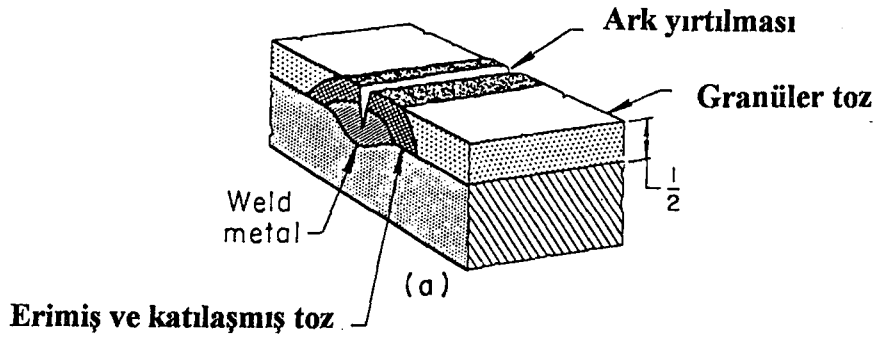
Tek telli kaynak uygulamalarında maksimum kaynak ayak uzunluğu 9,5 mm olmalıdır. Ayrıca bu kaynak yönteminde yanma oluşmaması için kaynak ilerleme hızı ile akım şiddetini beraberce kontrol etmek gerekir. Şekil 4.8’deki taralı alanda yanma oluğu oluşmaktadır.



**Şekil 4.8.: Kaynak ilerleme hızı ve kaynak akımının yanma oluğu üzerindeki etkisi**

Tozaltı kaynak metalinde birçok sebebe bağlı olarak porozite oluşur. Bu porozitelerin bir kısmı yüzeye çıkıp yüzey bozukluğuna yol açarken bir kısmı dikiş yüzeyi altında kalırlar. Porozitenin sebebi sıvı kaynak metalinde oluşan ve katılaşma sırasında dışarı çıkamayıp hapsolan gazlardır. Porozite oluşumuna kaynak parçalarının yüzeyindeki yağ, pas, kir nem sebep olduğu gibi uzun süre bekletilen elektrodların paslanmış olması veya tel akışı için fazla yağlanmış olması, tozun kirli (bilhassa geri kazanılmış tozlarda olur) olması, ark bölgesinde yetersiz toz kalınlığı olması veya aşırı kaynak hızı gibi faktörlerdir.

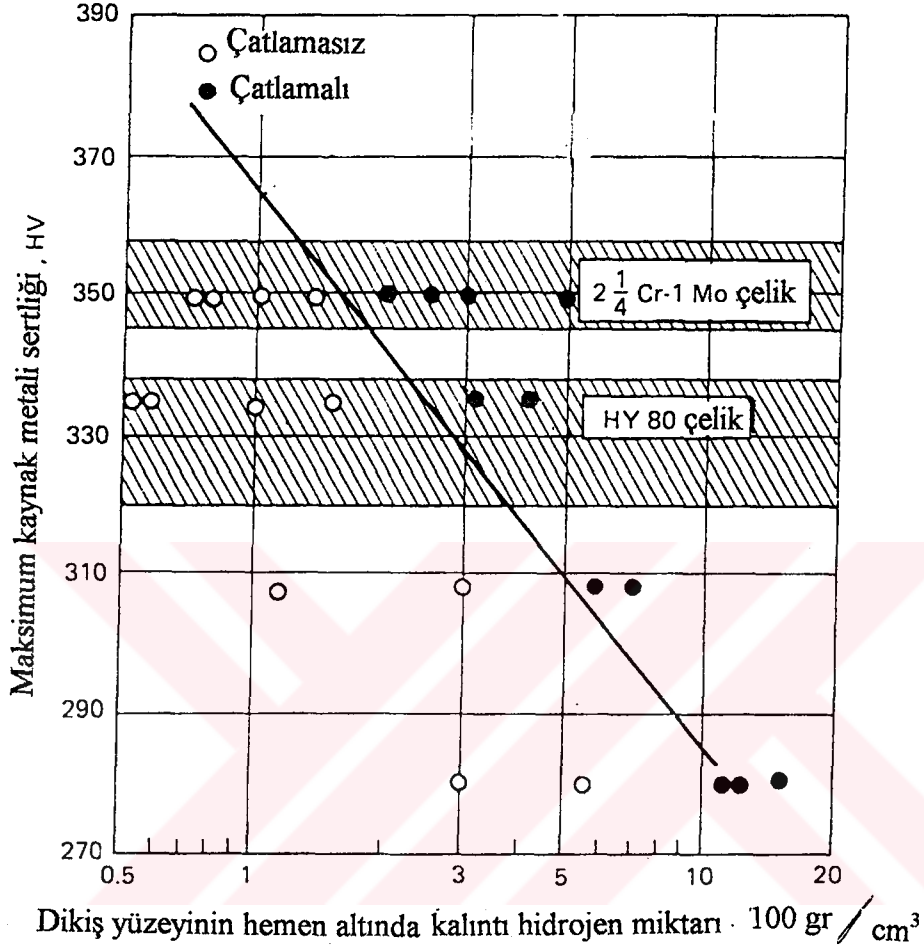
Yeteri kadar toz ile örtünmeyen korunmayan dikişler atmosfer ile temas ederek porozite oluşturur veya çatlıyabilir. Yeteri koruma yapılırsa bu çatılama önlendiğini Şekil-4.9 'da görmekteyiz. Yüksek oranda Karbon, Kükürt ve Fosfor ihtiva eden kaynak metalleri sıcak çatılama yapar. Kaynak metalinde Hidrojen çözünürse kaynak metali veya ITAB'da Hidrojen çatlakları oluşur.



**Şekil 4.9.: Toz altı kaynaklarında toz derinliğinin kaynağa tesiri**

- Toz derinliği az olduğundan ark atmosfer ile temasa geçer ve kaynak metalinde porozite veya çatlama sebebiyet verir.
- Toz derinliği doğru olduğundan istenen kaynak dikişi şekli ve kaynak nüfuziyeti elde edilmiştir.
- Toz tabakası derin olduğundan nüfuziyet ve kaynak taşması büyük olmuştur.

ITAB'da hidrojen çatlakları olmaması için ITAB sertliği ve hidrojen çözünürlüğü ilişkisi Şekil 4.10'da görülmektedir. Çözünen hidrojen miktarı arttıkça çatlama yol açan maksimum sertlik düşmektedir.



**Şekil 4.10. Kaynak metalinde çatlamaya yol açan maksimum sertlik ve kalıntı hidrojen miktarı**

Tablo 4.2.'de yarı otomatik tek telli tozaltı kaynak yönteminde karşılaşılan bazı problemler ve bunları önlemek için tavsiye edilen öneriler görülmektedir. Önerilerin sıralanışı önem sırasına göre yapılmıştır.

**TABLO 4.2. :Tozaltı kaynak yönteminde karşılaşılan problemler ve bunlara karşı önlemler**

| <b>BİRLEŞTİRME ŞEKLİ</b>               | <b>PROBLEM</b>     | <b>ALINACAK TEDBİRLER</b>                                                                                                                                                                            |
|----------------------------------------|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Herhangi                               | Yetersiz Nüfuziyet | 1.Kaynak akımını artırır.<br>2.Elektrodu pozitif kutba bağla.<br>3.Voltaşı Düşür.<br>4.Elektrod boyutunu azalt.<br>5.İlerleme hızını azalt.<br>6.V birleştirmelerde kaynak ağız açısını büyüt.       |
| İç Köşe                                | Çatlama            | 1.EM 12 K elektrodu kullan.<br>2.Elektrodu negatif kutba bağla<br>3.Voltaşı düşür.<br>4.Kaynak ilerleme hızını azalt.<br>5.Ön tavlama uygula<br>6.Elektrod çapını arttır ve voltaşı azalt.           |
| Alın kaynaklarında kök paso            | Çatlama            | 1.Akımı ve voltaşı azalt<br>2.Elektrodu negatife bağla<br>3.Kök açıklığını veya kaynak ağız açısını büyüt.<br>4.Ön tavlama uygula<br>5.Parçayı ters çevirip yapılan taşlamayı dar ve çok derin yapma |
| Çok pasolu kaynak                      | Enine çatlama      | 1.Ara paso kaynak yapma sıcaklığını artırır.<br>2.Kaynak hızını azalt.<br>3.Voltaşı azalt.<br>4.Akım ve voltaşı azalt.                                                                               |
| Açıklığı olan Küt Alın kaynak          | Çatlama            | 1.Levha hareketini önleyen sabitleyici kontrol et<br>2.Kaynak ilerleme hızını azalt.<br>3.Bakır arkalığı kontrol et                                                                                  |
| İç Köşe Bindirme ve Açıklıklı Küt Alın | Curuf Kalıntısı    | 1.EM12 K elektrodu kullan<br>2.Voltaşı arttır.<br>3.Akımı azalt<br>4.Kaynak ilerleme hızını arttır.<br>5.Pas ve yağı temizle                                                                         |
| Derin alın kaynak                      | Curuf Kalıntısı    | 1.Voltaşı azalt<br>2. Akım ve voltaşı azalt.                                                                                                                                                         |
| Herhangi                               | Yanma Oluşu        | 1. Elektrodu negatife bağla<br>2. Voltaşı azalt<br>3. Akımı azalt<br>4. Elektrod çapını arttır ve voltaşı düşür<br>5. Kaynak ilerleme hızın azalt.                                                   |

**TABLO 4.2.:Tozaltı kaynak yönteminde karşılaşılan problemler ve bunlara karşı önlemler**

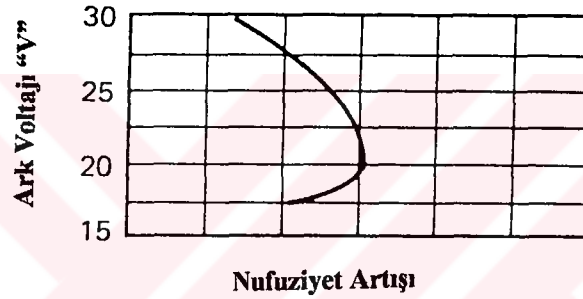
| <b>BİRLEŞTİRME<br/>ŞEKLİ</b> | <b>PROBLEM</b>                      | <b>ALINACAK TEDBİRLER</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Herhangi                     | Pasdan oluşan porozite              | 1.EM12 K veya EM13K elektrod kullan<br>2.Voltajı arttır<br>3.Akımı azalt<br>4.Elektrodu pozitif bağla<br>5.Parçaları tamamen temizle<br>6.Kaynak ilerleme hızını azalt                                                                                                                                                                                    |
| Herhangi                     | Organik maddelerden oluşan porozite | 1.EL 12 elektrod kullan<br>2.Elektrodu pozitif bağla<br>3. Kaynak ilerleme hızını azalt<br>4.Kaynak bölgesini yağdan arındır ve kurut                                                                                                                                                                                                                     |
| Herhangi                     | Ark üfleme porozitesi               | 1.EL12 elektrod kullan<br>2.Elektrodu pozitif bağla<br>3.Voltajı azalt<br>4.Akımı ve voltajı azalt<br>5.Elektrod çapını arttır ve voltajı azalt.                                                                                                                                                                                                          |
| Herhangi                     | Dikiş Şekli                         | 1.Voltajı arttırarak daha geniş ve yassı dikiş elde et.<br>2.Akımı azaltarak dikişi yassı hale getir.<br>3.İç köşe kaynaklarında kaynak ilerleme hızını azaltarak dikişi yassı hale getir.<br>4.Kaynak akımına uygun çapta elektrod kullan<br>5.Açıklıklı küt alın ve 6,3 mm <sup>2</sup> 'den küçük iç köşe kaynaklarında elektrodu pozitif kutba bağla. |

### 4.3. GAZALTI KAYNAK YÖNTEMİ

Gazaltı kaynağında kaynak metalinin özelliklerini (genişliğini, derinliğini, nufuziyetini, şeklini, yığılma oranını ) kaynak parametreleri tayin eder. Bu parametrelerin tesirleri aşağıda açıklanmıştır.

#### 4.3.1 Ark Voltajı

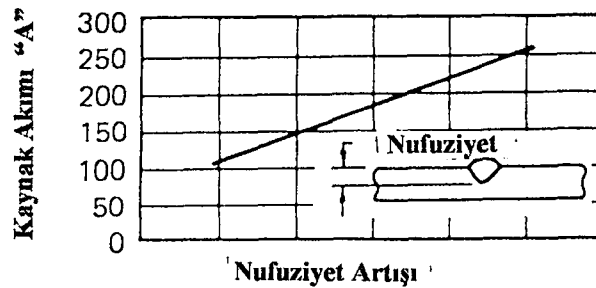
Kaynak ark voltajı elektrod çapı, gaz cinsine, kaynak pozisyonuna, birleştirme şekline ve iş parçası kalınlığına göre seçilir. Diğer bütün parametreler sabit iken ark voltajının nufuziyet üzerindeki tesiri Şekil-4.11 'de açıklanmaktadır. Aşırı ark voltajı, aşırı sıçrama, porozite ve yanma oluğu meydana getirir. Ark voltajı düşürülürse dikiş dışbükeyliği artar. Çok düşük ark voltajı porozite ve katmere yol açar.



Şekil-4.11 Ark Voltajının Nufuziyet Üzerindeki Etkileri

#### 4.3.2 Kaynak Akımı

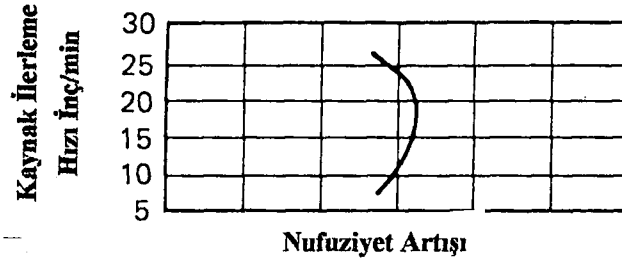
Kaynak akımı tel besleme hızına bağlıdır. Tel besleme hızı arttıkça akım artar. Akım şiddeti ark voltajı ile ters orantılıdır. Voltaj düştükçe akım artar, bunun tersi de geçerlidir. Akım şiddeti arttıkça dikiş büyür, dikişin derinliği (Şekil-4.12) ve genişliği artar. Aşırı kaynak akımı nufuziyeti artırır, dikişte erimelere yol açar. Akım çok düşerse nufuziyet çok az olur.



Şekil 4.12. Kaynak Akımının Nufuziyet Üzerindeki Etkileri

#### 4.3.3 Kaynak İlerleme Hızı

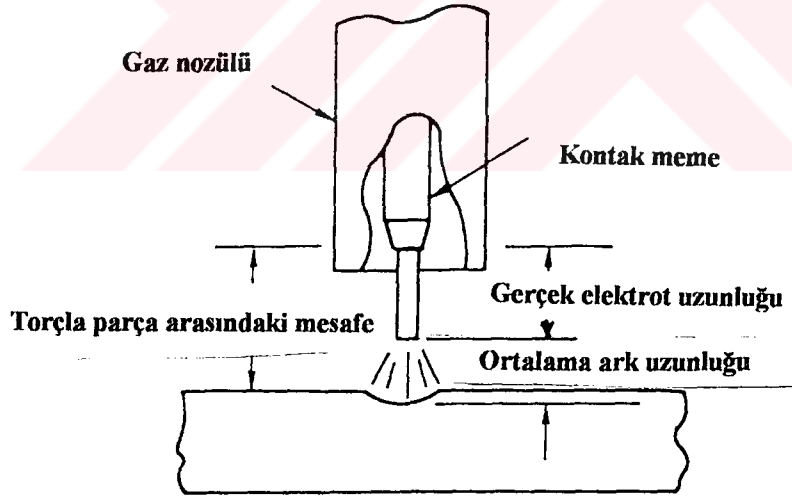
Hız azaltılırsa kaynak havuzu genişliği artar, nüfuziyet azalır. Çok düşük hızlarda katmer olur. Hız arttıkça nüfuziyet artar. Hız daha da artınca ana metal erimesi azaldığından dikiş yüksekliği azalır (Şekil-4.13). Aşırı hız yanma oluşuna yol açar.



Şekil 4.13. Kaynak İlerleme Hızının Nüfuziyet Üzerindeki Etkileri

#### 4.3.4 Elektrod Uzunluğu

Şekil 4.14.'de elektrod uzunluğu ve bağlantı borusu-iş parçası uzunluğu görülmektedir. Elektrod uzunluğu artınca elektrod erimesi hızlanır. Çok uzun olursa aşırı sıvı metal oluşur. Bu da dikiş şeklini bozar. Bağlantı borusu-iş parçası uzunluğu artınca ark kararsız hale gelir.



Şekil-4.14 Gazaltı Kaynağında Elektrod Uzunluğu

#### 4.3.5 Koruyucu Gaz

Koruyucu gaz olarak genellikle Argon, Karbondioksit ve bu gazların karışımları kullanılır. Tablo 4.3.'de karbon çeliklerinde elektrodun sıvı havuza transfer yöntemine göre koruyucu gaz seçiminin nasıl yapıldığını görmekteyiz.

**TABLO 4.3. Alaşım çeliklerinde Gazaltı Kaynağında Koruyucu Gaz Seçimi**

| GAZ CİNSİ                                                                           | AVANTAJLARI                                                                                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Kısa devreli metal transferi</b><br><hr/> <b>Argon - % 20 -25 CO<sub>2</sub></b> | <b>3,5 mm altındaki saclarda hızlı kaynak yapılır. İyi nüfuziyet elde edilir. Minimum sıçrama ve nüfuziyet</b> |
| <b>Argon - % 50 CO<sub>2</sub></b>                                                  | <b>3,5 mm'den kalın saclara uygulanır. Düşey ve tavan kaynak pozisyonlarında kolay kaynak</b>                  |
| <b>CO<sub>2</sub></b>                                                               | <b>Derin nüfuziyet, yüksek kaynak hızı</b>                                                                     |
| <b>Sprey Transfer</b><br><hr/> <b>Argon % 3-5 Oksijen</b>                           | <b>İyi Ark kararlılığı, minimum yanma oluğu</b>                                                                |
| <b>CO<sub>2</sub></b>                                                               | <b>Hızlı mekanize kaynak</b>                                                                                   |

#### **4.3.6. Gazaltı Kaynak Hataları**

Gazaltı kaynak yönteminde diğer ark kaynak yöntemlerinde olduğu gibi kaynak süreksizlikleri meydana gelir. Hatalı kaynak parametreleri ve hatalı uygulama teknikleri bu hatalara yol açar. Hatalı seçilen ana metal kimyasal bileşimi, elektrod veya koruyucu gaz hatalara yol açar. Gazaltı kaynak birleştirmelerinde karşılaşılan temel hatalar ve sebepleri aşağıdadır.

##### **4.3.6.1. Kaynak Metali Çatlama**

1. Dikiş derinliğinin genişliğe oranı çok fazladır.
2. Bilhassa iç köşe ve kök pasolarında kaynak dikişi çok küçük olabilir.
3. Dikiş sonu (Krater) hızlı soğumuş olabilir.
4. Aşırı kaynak ilerleme hızı
5. Yüksek büzülme engellenmesi
6. Hatalı kaynak ağzı.

#### **4.3.6.2. Porozite**

1. Yetersiz gaz üfleme,
2. Kaynak yerinde esen rüzgar veya hava cereyanı koruyucu gazın fonksiyonunu engelleyebilir.
3. Memeyi dolduran sıçramaların gaz akışını engellemesi
4. Kirli veya nemli koruyucu gaz.
5. Aşırı kaynak akımı
6. Aşırı kaynak gerilimi
7. Aşırı elektrod boyu
8. Kaynak havuzundaki gazlar tamamen çıkamadan sıvı katılaşmasına sebep olan aşırı kaynak ilerleme hızı
9. Kirli elektrod
10. Kaynak edilen parçada veya telde pas, oksit, yağ, gres, nem, kir bulunması
11. Ana metalde yüksek kükürt veya fosfor oranı

#### **4.3.6.3. İnkluzyonlar**

1. Yüzeyinde oksit olan metallerin aşırı hızda kaynak edilmesi
2. İş parçası yüzeyinin hatalı, eksik temizlenmesi

#### **4.3.6.4.Yetersiz Ergime**

1. Fazla dış bükeylik yapan veya yetersiz nüfuziyet yapan aşırı kaynak ilerleme hızı
2. Kaynak akımı çok düşük
3. Kötü kaynak ağzı hazırlama
4. Hatalı ark oluşumu; sıvı metalin arkın önüne geçmesi veya havuz çok kalın olduğundan arkı ana metalden uzak tutar.

#### **4.3.6.5.Yetersiz Nüfuziyet**

1. Hatalı kaynak gazı
2. Hatalı kök açıklığı
3. Yetersiz kaynak enerjisi
4. Arkın sıvı havuzun ön kısmında olmaması

#### **4.3.6.6. Yanma Oluğu**

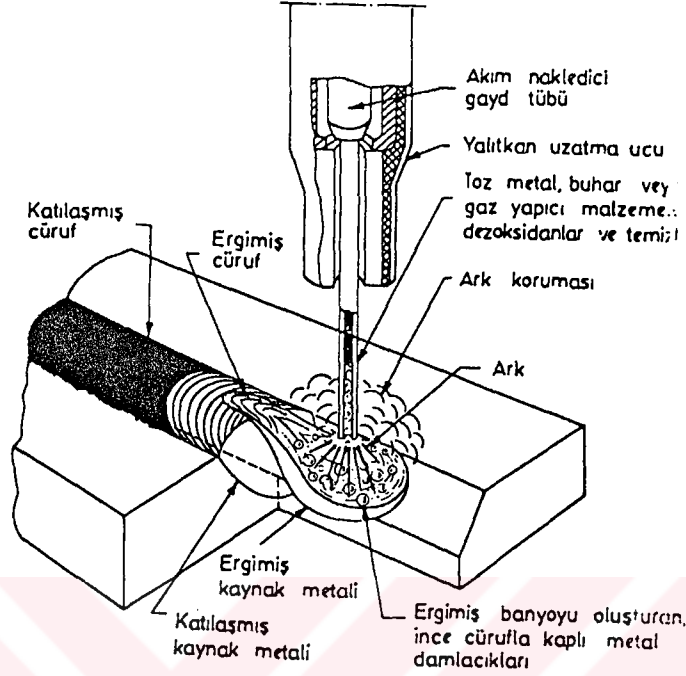
1. Aşırı kaynak akımı
2. Çok düşük ark voltajı
3. Yeterli ilave metalin havuza girmesini önleyecek kadar yüksek kaynak ilerleme hızı
4. Tel besleme hızının kararsız olması
5. Aşırı zig zag hareketi
6. Hatalı elektrod açısı (bilhassa düşey ve horizontal kaynak pozisyonlarında)

#### **4.3.6.7. Kaynak Metalı Erimesi**

1. Aşırı kaynak akımı
2. Çok yavaş kaynak ilerleme hızı
3. Kök açıklığı çok fazla veya kök eşiğı çok küçük



#### 4.4. ÖZLÜ TEL ARK KAYNAK YÖNTEMİ



Şekil 4.15. Kendi kendini koruyan özlü tel ark kaynağı süreci

Özlü tel ile ark kaynak iki farklı yöntem ile gerçekleşir; gaz üflemesiz ve gaz üflemeli yöntemler. Gaz üflemesiz veya kendinden korumalı yöntemde elektrodun içindeki örtünün veya tozun arkda erimesi ile oluşan cüruf arkı korumaktadır. Gaz üflemeli yöntemde ise cüruf koruyuculuğu sıra MIG-MAG kaynaklarında olduğu gibi koruyucu gaz üflemeaktadır.

Özlü teller ile ark kaynak yönteminde metal yığılma oranı yüksek, kaynaklama süresi kısa, kaynak maliyeti düşük olduğundan kullanımı sürekli artmaktadır.

##### 4.4.1. Gaz Üflemesiz Kaynak Yöntemi

Bu kaynak yönteminde dört ana kaynak şartı kaynak işlemini ve kaynak metali şeklini tayin etmektedir. Bu dört ana şart ark voltajı, tel besleme hızı, kaynak ilerleme hızı ve elektrod elektrik boyudur. Bu değişkenlerin hepsinin birbirleri ile ilişkileri vardır. Bu değişkenlerin herhangi birinin değeri değiştirilirse sıhhatli kaynak yapabilmek diğer üçünü bu faktöre göre ayarlamak gerekir. Kullanılan elektrodlar için tavsiye edilen şartlara riayet edilmelidir.

Diğer faktörler sabit kalırken bir değişkendeki değişimlerinin kaynak işlemindeki tesirleri aşağıda açıklanmıştır.

#### 4.4.1.1. Ark Voltajı

1. Yüksek ark voltajı geniş ve yassı dikiş meydana getirir.
2. Aşırı ark voltajı kaynak havuzunda aşırı azot çözünmesine yol açtığı için poroziteye yol açar.
3. Aşırı ark voltajı aşırı sıçramaya yol açar.
4. Düşük ark voltajı kaynak yüzeyinin dışbükey olmasına yol açar.
5. Çok düşük voltaj elektrodun kaynak edilen parçaya çarpmasına neden olur. Tel sıvı havuza batar ve alttaki metale çarparak kaynak tabancasını geriye iter.

Birçok uygulamada porozite yapmayacak en yüksek voltaj ile kaynak yapılarak istenen dikiş şekli elde edilir. Yüksek tel hızlarında poroziteye sebep olmayacak yüksek ark voltajı kullanılabilir.

#### 4.4.1.2. Tel Besleme Hızı

1. Özlü tel ark kaynağında kaynak akımı tel besleme hızı ile doğru orantılı olarak değişir. Kaynak akımı artınca kaynak enerjisi ve tel erime hızı ile kaynak metali yığılma oranı artar.
2. Aşırı tel besleme hızı dış bükey kaynak dikişine yol açar. Dış bükeylik fazla olursa kaynak metali israfı meydana gelir.
3. Aşırı tel besleme hızında yanma olukları meydana gelir.
4. Çok düşük tel besleme hızı telin damlalar halinde sıvı havuza geçmesini sağlar. Bu durum kaynak nüfuziyetini attırırken sıçramaları artırır.
5. Yetersiz tel besleme hızı kaynak metali azot çözünürlüğünü artırarak porozite oluşturur.

Tel besleme hızı artırıldığında güzel bir dikiş şekli elde edebilmek için ark voltajı mutlaka artırılmalıdır. Artan tel besleme hızı ile porozitesiz dikiş elde edilen maksimum ark voltajı da yükselmiş olur.

#### 4.4.1.3. Kaynak İlerleme Hızı

1. Aşırı kaynak ilerleme hızı dikiş dış bükeyliğini artırır ve kenarların gayrimuntazam olmasına yol açar.
2. Çok yavaş kaynak ilerleme hızı inkluzyon kalıntılarına yol açar.
3. Kaynak ilerleme hızı düşürülünce kaynak nüfuziyeti artar.

Kaynak ilerleme hızı düşürüldüğünde dikiş erimesi ve akması olmasın diye tel besleme hızı da azaltılır.

#### 4.4.1.4 Elektrod Elektrik Boyu

1. Elektrik boyu arttıkça kaynak akımı düşer. Boy kısaldıkça akım şiddeti artar. İnce saclar düşük kaynak enerjisi ile kaynak edildiğinden elektrik boyu uzatılır.
2. Elektrik boyunun uzatılması ark voltajını düşürür. Ark voltajındaki azalma dikış dış bükeyliğini arttırır ve porozitesi ihtimalini azaltır.
3. Kısa boy uzunlara nazaran daha fazla kaynak nüfuziyeti sağlar.
4. Boy aşırı uzatılırsa ark kararsız hale gelir ve sıçramalar artar.
5. Boy çok kısa olursa ark uzunluğu artar. Bu durum atmosfer etkilerini arttırır.

Bu dört temel kaynak parametresine ilave olarak elektrod pozisyonunda kaynak özelliğini etkilemektedir. Elektrod çekme açısı ve elektrod birleşme açısı kaynak özelliklerini etkilemektedir. Elektrod çekme açısı örtülü elektrodlar için tavsiye edilen değerlere çok yakındır. Kaynak ilerleme hızı arttıkça elektrod çekme açısı düşürülerek sıçramalar azaltılır. Açı küçüldükçe nüfuziyet azalır. Elektrod birleşme açısı parça kalınlığına göre seçilir.

Özlü tel ark kaynağında karşılaşılan bazı problemler ve bunları önlemek için kaynak parametrelerinde yapılması önerilen tedbirler Tablo. 4.4. 'de görülmektedir. Örneğin, porozite için en önemli faktör ark voltajıdır. Voltaj azaltılmalıdır. Bu tedbirden sonra elektrod elektrik boyunu uzatma tedbiri alınabilir.

**TABLO 4.4. Özlü tel ark kaynağında karşılaşılan problemler ve bunların giderilme önerileri**

| ÇÖZÜMLER           |                  |             |                      |               |             |
|--------------------|------------------|-------------|----------------------|---------------|-------------|
| PROBLEM            | Tel Besleme Hızı | Ark Voltajı | Kaynak İlerleme Hızı | Elektrik Boyu | Çekme Açısı |
| Porozite           | 5↑               | 1↓          | 4↓                   | 2↑            | 3↑          |
| Sıçrama            | 4↓               | 1↑          | 5↓                   | 3↓            | 2↓          |
| Dış Bükeylik       | 4↓               | 1↑          | 5↓                   | 2↓            | 3↑          |
| Geri Ark Üfleme    | 4↓               | 3↓          | 5↓                   | 2↑            | 1↑          |
| Yetersiz Nüfuziyet | 2↑               | 3↓          | 4↑                   | 1↓            | 5↑          |

\* Sayılar önem sırasını gösterir.

↑ - Arttırılmayı - ↓ Azaltılmayı önerir.

#### 4.4.2. Gaz Üfleli Kaynak Yöntemi

Bu yöntemde kaynak ünitesini etkileyen şartlar ark voltajı, kaynak ilerleme hızı, tel besleme hızı, elektrod elektrik boyu, kaynak açısı, koruyucu gaz cinsi ve gaz üfleme hızıdır. Burada bahsedilen koruyucu gaz şartı hariç diğerlerinin tesirleri gaz üflemez kaynak bölümünde anlatılanlar ile aynıdır. Bu nedenle bu bölümde sadece koruyucu gazın tesirleri açıklanacaktır.

Koruyucu gaz olarak CO<sub>2</sub> ve A-CO<sub>2</sub> karışımları kullanılmaktadır. CO<sub>2</sub> en fazla kullanılan gazdır. Gaz yetersiz üflenirse sıvı metal atmosferden iyi korunamaz ve porozite oluşur. Fazla gaz üflenirse arkda turbülans meydana gelir. Bunun sonucunda porozite ve kötü şekilli dikiş meydana gelir. Kaynak sırasında gaz akışının sürekli aynı seviyede kalması için sıçramaların memeyi tıkamamasına dikkat edilmelidir. Ayrıca memenini dışında kalan elektrod uzunluğunda dikkatlice kontrol edilmelidir. Bu uzunluk kısalsa sıçramalar kısa zamanda memeleri tıkar.

## **4.5. TIG KAYNAK YÖNTEMİ**

TIG kaynağı elektrodu erimeyen bir gazaltı kaynak yöntemidir. Kaynak sırasında ilave telli veya telsiz dikiş çekilmektedir. Yavaş ve metal yığılma oranı düşük olduğundan bilhassa ince metallere uygulanmaktadır. Kaynak metali sıçraması veya curuf oluşumu bu kaynak yönteminde karşılaşılmayan olaylardır.

Kaynak akımı, elektrod uzunluğu, akım cinsi, polarite, elektrod cinsi ve geometrisi, koruyucu gaz cinsi, gazın üfleme hızı gibi parametreler kaynak üzerinde etkili olmaktadır.

### **4.5.1. TIG Kaynak Yönteminde Kaynak Süreksizlikleri**

Diğer kaynak yöntemlerinde olduğu gibi TIG yönteminde de kaynak işlemleri sırasında doğan problemler kaynak hatalarına yol açar. Hatalı kaynak tekniği, hatalı kaynak parametreleri, hatalı malzeme, tel, gaz seçimi gibi şartlar kaynak hatalarına yol açar. Bu kaynak yönteminde sıçrama ve curuf inkluzyonu nadir meydana gelir. TIG kaynağında oluşan kaynak hataları, sebepleri ve önlemleri aşağıda iki başlık altında açıklanmıştır. Kaynak tekniğine bağlı hatalar ve diğer hatalar olmak üzere belirtilmektedir..

#### **4.5.1.1. Kaynak Tekniğine Bağlı Hatalar**

##### **4.5.1.1.1 Tungsten Inkluzyonlar**

Erimeyen Tungsten elektrodun kopan küçük parçalar sıvı kaynak metaline geçer ve kaynak metali içerisinde katılır. Bu olayın muhtemel sebepleri şunlardır.

- Kaynakta kullanılan elektrod boyu ve cinsi için önerilen maksimum akım şiddetinin üzerine çıkılması
- Elektrod ucu sıvı metale temas etmiş olabilir.
- Kaynak teli elektrodun ısınmış olan ucuna temas edebilir.
- Elektrod uzunluğu aşırı uzun olabilir.
- Yetersiz gaz koruması olabilir. Rüzgar veya hava cereyanı fazla ise üflenene gaz yetersiz kalır ve sonuçta oksitlenmiş olur.
- Hatalı gaz karışımı seçilmiş olabilir.

#### **Önleme Tedbirleri**

- Akım azaltılır..
- Elektrodun tel ve sıvı havuz ile mesafesi dikkatle korunur.
- Elektrod uzunluğu kısaltılır.
- Gaz üfleme miktarı artırılır.

#### **4.5.1.1.2. Oksit İnkluzyonları**

Kaynak edilen parça üzerinde oksitler var ise kaynak sırasında kaynak metaline geçerler. Bu olaya bilhassa alüminyum ve magnezyum alaşımlarında sık sık rastlanır. Oksit inkluzyonları kaynak metalini zayıflatır ve çatlak oluşumunda başlangıç noktaları olurlar. Bu hatayı önlemek için kaynak öncesi kaynak yüzey oksitleri temizlenmelidir.

#### **4.5.1.1.3. Porozite**

Aşağıdaki sebeplerden biri veya daha fazlası poroziteye sebep olur.

- Yetersiz gaz üfleme
- Aşırı yüksek akım
- Kaynak bölgesinde pas, gres, boya, yağ, nem ve kir bulunması aynı hatalar telde de olabilir.
- İş parçasının kükürt ve fosfor oranı yüksek olabilir.
- Havuzda çözünen gazların dışarıya çıkmasına imkan vermeden hemen katılaşmaya yol açan yüksek kaynak ilerleme hızı.
- Kirli veya nemli koruyucu gaz.

#### **Poroziteyi Önleme Tedbirleri**

- Üflenilen gaz miktarı artırılır.
- Kaynak akımı düşürülür.
- Kaynak öncesi kaynak yüzeyleri temizlenir.
- Kükürt, fosfor gibi empüriteleri yüksek ana metal yerine daha temiz ana metal seçilir.
- Kaynak ilerleme hızı artırılır.
- Koruyucu gazın cinsi değiştirilir.

#### **4.5.1.1.4. Yanma Olukları**

Yanma oluklarını oluşturan sebepler aşağıdadır.

- Aşırı yüksek kaynak akımı
- Çok uzun ark boyu
- Yüksek kaynak ilerleme hızı
- Sıvı metale yetersiz metal besleme
- Fazla zig zag hareketi
- Hatalı elektrod açısı

#### **Yanma Oluklarını Önleme Yöntemleri**

- Kaynak akımı azaltılır.
- Ark boyu kısaltılır.
- Kaynak ilerleme hızı azaltılır.
- Sıvı havuz daha fazla beslenir.
- Zig zag hareketlerde köşeye gelindiğinde kısa bir duraklama yapılır

#### **4.5.1.1.5 Yetersiz Ergime**

Yetersiz ergime sebepleri

- Aşırı kaynak ilerleme hızı
- Çok düşük kaynak akımı
- Kötü kaynak ağzı hazırlama
- Kaynak metalinin arkın önüne geçmesi

#### **Yetersiz Ergimeyi Önleme Tedbirleri**

- Kaynak ilerleme hızı azaltılır.
- Kaynak akımı artırılır.
- Daha iyi kaynak ağzı açılır.
- Daha iyi elektrod açısı ile kaynak yapılır.

#### **4.5.1.1.6 Katmer**

Katmeri oluşturan sebepler

- Sıvı metalin elektrodun önüne geçmesine sebebiyet veren çok düşük kaynak ilerleme hızı
- Çok düşük kaynak akımı
- Sıvı havuza aşırı metal besleme
- Hatalı elektrod açısı sıvı havuzdan metal taşması yapan ark kuvveti oluşturur.

#### **Katmeri Önleme Tedbirleri**

- Kaynak ilerleme hızı artırılır
- Kaynak akımı artırılır.
- Sıvı metal havuzuna besleme azaltılır.
- Uygun elektrod açısı seçilir.
- Aşırı kaynak metali taşlanarak yok edilir.

#### **4.5.1.1.7 Kaynak Dikiş Ergimesi**

Dikiş ergime sebepleri

- Aşırı kaynak akımı
- Çok yavaş kaynak ilerleme hızı
- Kök açıklığının fazla olması

#### **Dikiş Ergimesini Önleyen Tedbirler**

- Kaynak akımı azaltılır
- Kaynak ilerleme hızı artırılır
- Kök açıklığı azaltılır.

#### 4.5.1.1.8 Çatlaklar

Kaynak dikişlerinde çatlak oluşumu ve hatalı kaynak oluşumu, hatalı kaynak işlemi, kaynak tekniği veya malzemelerden meydana gelebilir. Bütün çatlakları sıcak veya soğuk çatlaklar diye iki gruba ayırabiliriz.

Sıcak çatlaklar genellikle kaynak metali katılaşması başlamasından hemen sonra yüksek sıcaklıkta meydana gelir. Bu çatlama sık sık ana metal kükürt, fosfor ve kurşun oranının yüksek olmasından kaynaklanır.

Ayrıca kök pasolarının kaynağında arkın hatalı söndürülmesi sıcak çatlama yol açar. Derin nüfuziyetli kaynaklarda sıcak çatlama sık rastlanır. Sıcak çatlama önlemek için tavsiye edilen tedbirler aşağıdadır.

- Dikiş kesidinin ana metal kesidine nazaran çok küçük kaldığı, kalın parçaların kaynağında ön tavlama yapılır.
- Koruyucu gaz temiz olmalıdır.
- Dikiş kesit alanı büyük olacak şekilde dikiş çekilir.
- Dikiş formu şekli değiştirilir.
- Empüriteleri (P, S, Pb, vs) az metaller kaynak işlemi için seçilir.

Krater çatlakları arkın hatalı söndürülmesinden dolayı meydana gelirler. Kaynak arkı söndürülmeden önce elektroda kaynak ilerleme yönüne ters hareket yaptırılarak veya dikiş sonuna doğru kaynak akımı tedricen azaltılarak krater çatlakları önlenir.

Soğuk çatlaklar kaynak metalin katılaşmasının tamamlanmasından sonra ve soğuduktan sonra meydana gelir. Soğuk çatlamanın sebebi hidrojen gevrekleştirilmesi, aşırı kaynak büzülme engellenmesi ve kaynak bölgesinin hızlı soğumasıdır. Ön tavlama ve saf koruyucu gaz kullanımı ile çatlaklar önlenir.

Tek pasolu iç bükey iç köşe kaynaklarında sık sık dikiş merkez hattı çatlakları oluşur. Bu çatlaklar kaynak ilerleme doğrultusunda olup dikişin merkezinde oluşmuş soğuk çatlaklardır. Bu hatanın oluşumu aşağıdaki sebeplerden bir veya birkaçına bağlıdır.

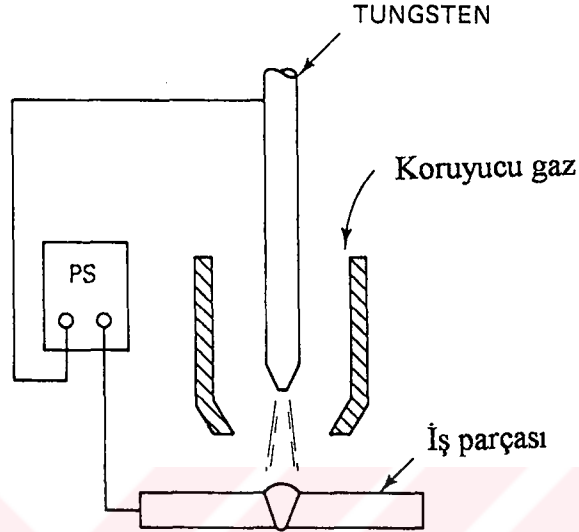
- Ana metal kalınlığına göre kaynak dikişi çok küçük kalabilir.
- Yüksek büzülme engellenmesi.
- Krater çatlakların ilerlemesi.

Bu çatlak türünü önlemek için önerilen tedbirler

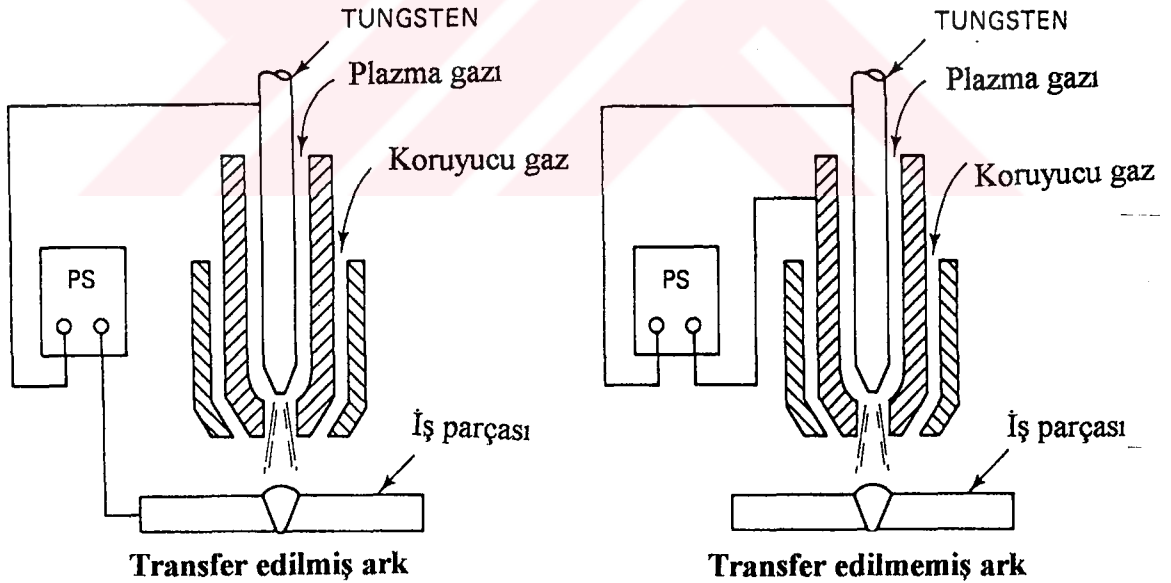
- Dikiş boyutu artırılır.
- Kök açıklığı genişliği azaltılır.
- Ön tavlama yapılır.
- Krater çatlakları önlenir.

#### 4.6.PLAZMA ARK KAYNAK YÖNTEMİ

Plazma ark kaynak yöntemi TIG yöntemine çok benzeyen bir kaynak yöntemidir. Fark olarak bu yöntemde tungsten elektrodun etrafında plazma oluşturmak için gaz üflenir (Şekil 4.16. - 4.17.)



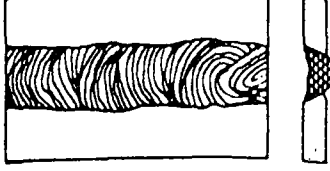
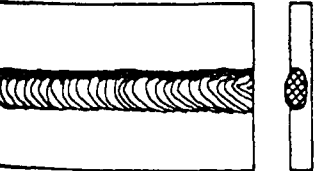
Şekil 4.16. TIG Kaynak Yönteminin Çalışma Prensibi



Şekil 4.17. Plazma Ark Kaynak Yönteminin Çalışma Prensibi

Bu yöntemde enerjinin bir noktaya yoğunlaşması sağlanmaktadır. Bu nedenle 0,01 mm ile 10 mm kalınlıklar arasındaki parçalar tek bir paso ile kaynatılabilir. TIG kaynağı yapılan bütün metallere plazma ark kaynak uygulanabilir. TIG kaynağına nazaran metal yığılma oranı çok yüksek olması ve tungsten inklizyonları teşekkül etmemesi bu kaynak yönteminin avantajı olmaktadır.

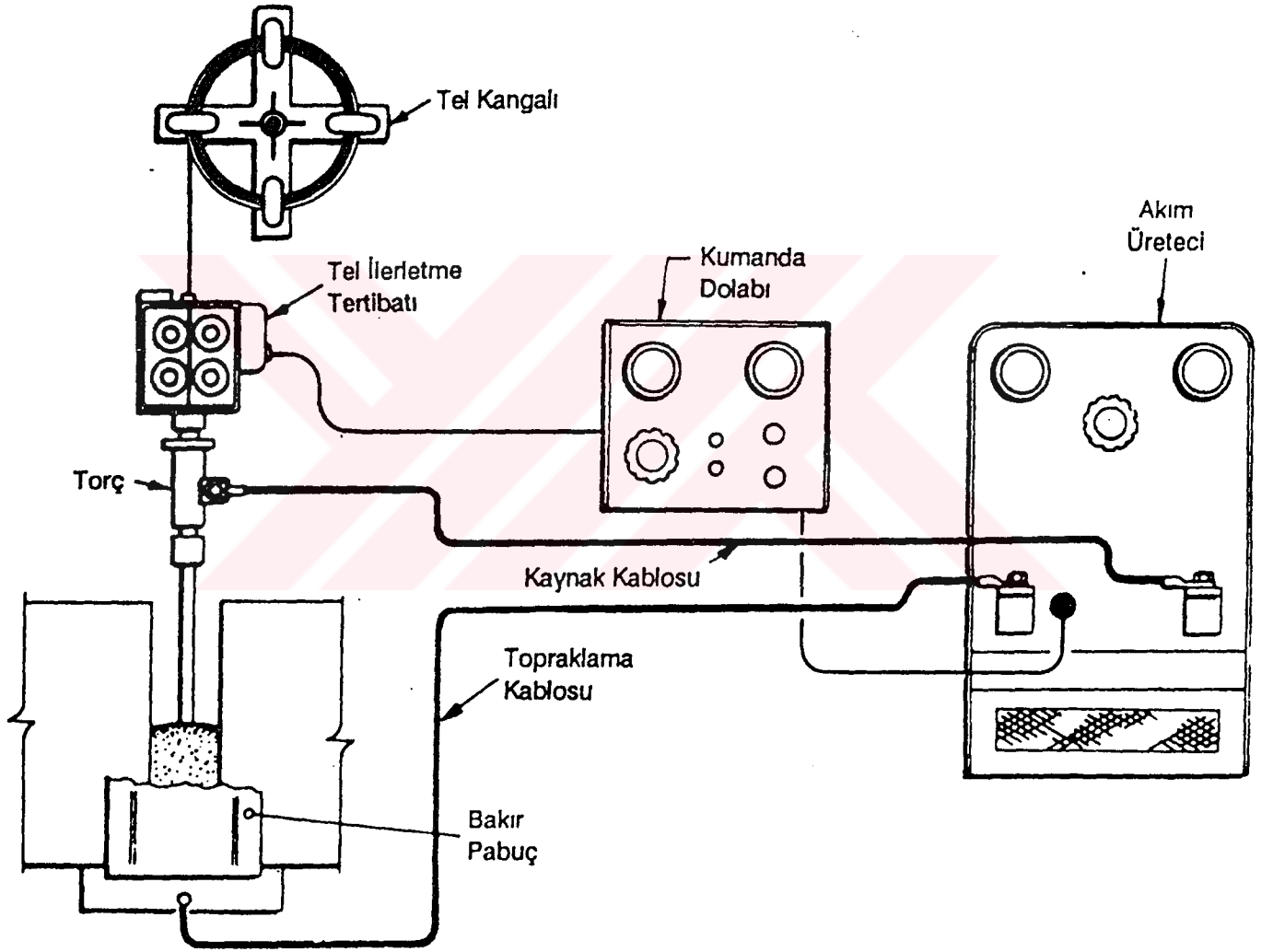
TIG kaynak yönteminde etkili olan değişkenler plazma ark kaynağında da benzer etkiler yapar. Kaynak akımı, polarite akım cinsi, elektrot çapı, kaynak ilerleme hızı, ark voltajı gibi ana kaynak parametreleri kaynak işlemi üzerinde büyük rol oynar. Plazma ark kaynağında plazma gaz üfleme ve buna ait delik çapı önemli etken olarak ortaya çıkmaktadır. Şekil 4.18’de plazma ark kaynak dikişinde hatasız ve sık rastlanan hata türleri ile bunların kaynak şartlarını görmekteyiz.

|                                                                                     |                                                                                                                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | <p>Sarkmış dikiş, Yanma oluğu, Aşırı nüfuziyet</p> <p>Kaynak akımı çok yüksek veya kaynak ilerleme hızı çok yavaş</p>                                            |
|   | <p>Arzu edilmeyen dikiş formu, çok küçük dikiş, Az nüfuziyet</p> <p>Kaynak akımı çok düşük veya kaynak ilerleme hızı çok fazla veya plazma gaz üfleme çok az</p> |
|  | <p>Yanma oluğu</p> <p>Plazma gaz akımı çok yüksek</p>                                                                                                            |
|  | <p>İstenen dikiş, iyi nüfuziyet</p> <p>Doğru akım, doğru terk hareketi uygun ark voltajı ve uygun plazma gaz akışı</p>                                           |

**Şekil 4.18. Plazma ark kaynağında yaygın görülen hatalar ve önlemleri**

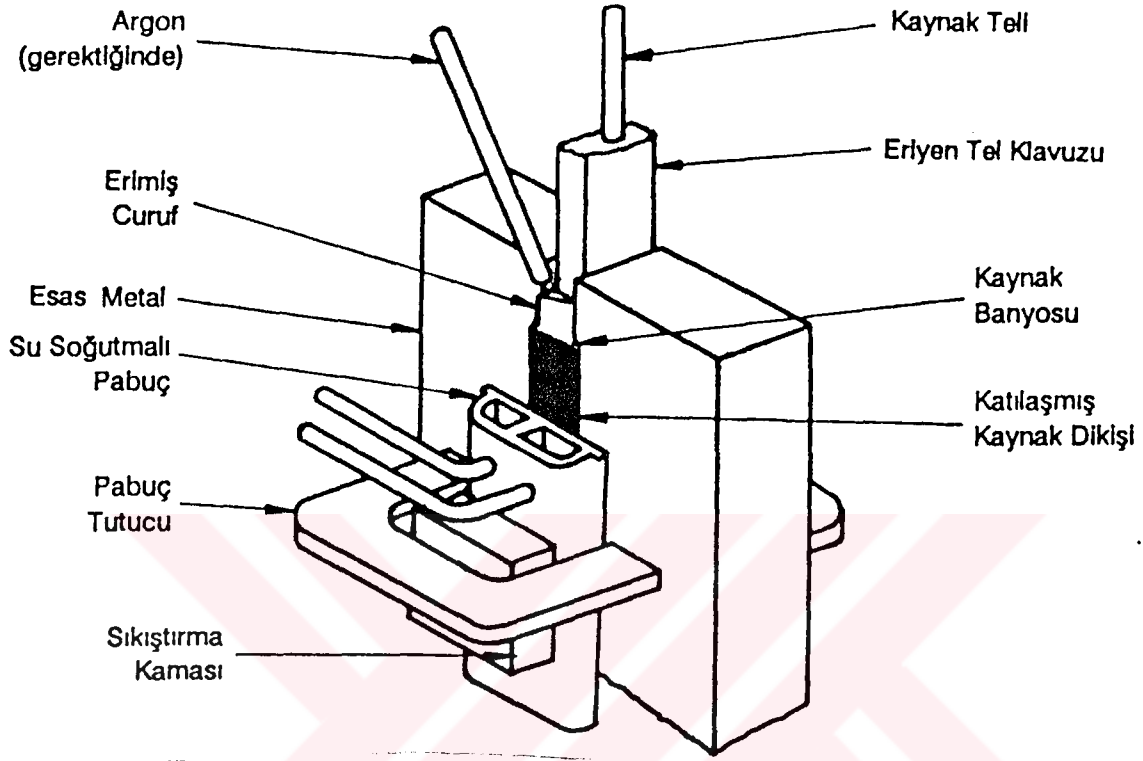
#### 4.7. ELEKTROCURUF KAYNAĞI

Bu kaynak yönteminde sıvı curuf havuzundan akım geçirilir. Sıvı havuzun geçen akıma gösterdiği dirence bağlı olarak ısı üretilir. Üretilen ısı ile iş parçalarının kenarları ve havuzu besleyen tel elektrod eriyerek sıvı havuza ilave olur. Kaynak bölgesini çevreleyen su soğutmalı bakır pabuçlar yardımı ile ısı transferi yapılarak sıvı metalin katılaşması sağlanır. Şekil 4.19'a Elektrocuref kaynak donanımı blok şeması görülmektedir.



Şekil 4.19. Elektro curef kaynak donanımı blok şeması

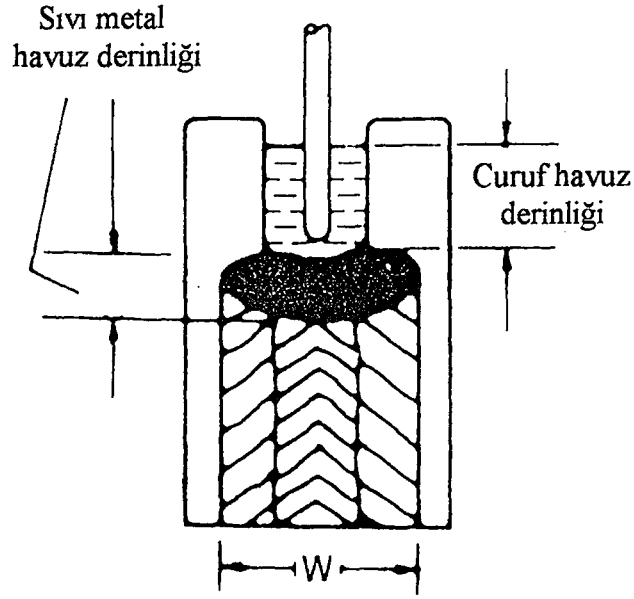
Şekil 4.20'de ise bu kaynak yönteminin uygulanışı ve kaynak bölgesi görülmektedir. Elektrocuref kaynağı düşey pozisyonda birleştirmelere uygulanır. Halen sadece çeliklere uygulanmaktadır. Çok yüksek enerjili kaynak olduğundan 12,5 - 900 mm kalınlıkları arasındaki çeliklere uygulanır.



**Şekil 4.20- Elektro curuf kaynak yönteminde kaynak bölgesi**

Kaynak metalini oluşturan metallerin hiçbirisi curuf ve hidrojen içermediğinden elektrocuruf kaynağı düşük hidrojenli bir kaynak yöntemidir. Bu kaynak yönteminde ana metalde mevcut empüriteler kaynak sırasında erir. Katılaşma ve soğuma çok yavaş olduğundan bunlar curuf fazına kolaylıkla geçerler. Bu kaynak yönteminde soğuma hızı diğer bütün kaynak yöntemlerine göre daha yavaştır. Bu nedenle kaynak metal ve ITAB'da anormal tane büyümesi meydana gelir. Kaynak metal sızması meydana gelmez.

Kaynak şartlarının sıvı havuz boyutları üzerindeki tesirleri Tablo 4.5'de özetlenmiştir. Havuz genişliği ve derinliğinin nasıl tanımlandığı ise Şekil 4.21'de şematik olarak gösterilmiştir. Su soğutmalı pabuçlara doğru genişleme olmayacağından kaynağın eni sabit kalır. Kaynak akımının artırılması iş parçaları kenarlarının erimesini arttırmaz, yani nüfuziyet artmaz. Sadece elektrod erimesi artarak havuzun derinliği artar ve yığılan kaynak metal oranı artar.



**Şekil 4.21. Elektro curuf kaynağında havuz boyutları  $w$  kaynak metali genişliği**

Kaynak geriliminin artması duvarların erimesini, nüfuziyeti artırır. Ayrıca voltaj arttıkça curuf banyo sıcaklığı artar ve iş parçası duvar erimesi artar. Çok yüksek voltaj yanma oluklarına yol açar. Sıvı curuf banyo derinliği kaynak sırasında sıkı kontrol altında tutulur. Gereklikçe flaks ilavesi yapılır.

**TABLO 4.5. : Kaynak şartlarının kaynak metali havuz boyutlarına tesiri**

| Kaynak Metali<br>Değişen Boyut | Akım veya<br>Hızı | Tel<br>Besleme | Voltaj         | Curuf<br>Havuz<br>Derinliği | Kök<br>Açıklığı  |
|--------------------------------|-------------------|----------------|----------------|-----------------------------|------------------|
|                                | Düşük             | Yüksek         |                |                             |                  |
| Havuz Genişliği (w)            | Artar             | Azalı          | Artar          | Azalı                       | Artar            |
| Havuz Derinliği (h)            | Artar             | Artar          | Biraz<br>Artar | Biraz<br>Artar              | Değişme<br>Olmaz |
| Şekil Faktörü (w/h)            | Biraz<br>Artar    | Azalı          | Artar          | Azalı                       | Artar            |

Elektrocuruf kaynağında karşılaşılan bazı hatalar, bu hataların sebepleri ve bunları önleme tedbirleri Tablo 4.6.'da maddeler halinde belirtilmiştir.

**TABLO 4.6.'da Elektrocuruf kaynak hataları, sebepleri ve korunma tedbirleri**

| Hata Yeri     | Hata Türü                          | Sebepler                                                                                                                                                | Önlemler                                                                                                                                                                                           |
|---------------|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kaynak Metali | Porozite                           | Yetersiz Curuf derinliği<br>Nem, Yağ veya Boya<br>Nemli Flaks                                                                                           | Flaks ilavesi artırılır.<br>İş parçası ve pabuç<br>yüzeyleri kurutulur.<br>Kuru flaks kullanılır.                                                                                                  |
|               | Çatlama                            | Hızlı kaynak, kötü şekil<br>faktörü Elektrodlar arası<br>mesafe çok fazla Yetersiz<br>elektrod sayısı<br>Hatalı Tel cinsi                               | Tel besleme hızı<br>düşürülür.<br>Tel sayısı artırılır ve<br>teller arası mesafe<br>azaltılır.<br>Uygun tel cinsi seçilir.                                                                         |
|               | Metalik<br>olmayan<br>İnkluzyonlar | Bakır transferi<br>Kaba Yüzey kalitesi                                                                                                                  | Pabuç tasarımı<br>değiştirilir.<br>Pabuç soğuması<br>iyileştirilir.<br>Yüzeyler taşlanır.                                                                                                          |
| Ergime Hattı  | Yetersiz<br>Ergime                 | Düşük Voltaj<br>Yüksek Kaynak Hızı<br>Aşırı curuf derinliği<br>Aşırı tel osilasyon hızı<br>Aşırı tel pabuç arası<br>mesafe<br>Teller arası mesafe aşırı | Voltaj artırılır.<br>Tel besleme hızı artırılır.<br>Flaks ilavesi azaltılır.<br>Tel osilasyon hızı<br>yavaşlatılır.<br>Tel osilasyon genişliği<br>arttırılır.<br>Teller arası mesafe<br>azaltılır. |
|               | Yanma<br>Oluğu                     | Çok yavaş kaynak<br>Aşırı voltaj<br>Yetersiz pabuç soğutması<br>Hatalı pabuç tasarımı                                                                   | Tel besleme hızı artırılır.<br>Voltaj düşürülür.<br>Pabuç soğutması<br>arttırılır.<br>Pabuç tasarımı<br>geliştirilir.                                                                              |

## BÖLÜM 5 : USTALIK STANDARTLARI

Ustalık standartları kaynak kalite kontrolü için kullanılabilir bir tekniktir. Ustalık standartları kaynak yapan kaynakçının kaliteli kaynak yapması için uyması gereken kuralların bir listesidir. Bu listede kaynakçının uyması istenen 20 kural vardır. Muhtelif standart ve şartnamelerin kabul ettiği kurallar incelenmiş ve bunların hepsinde bulunan ortak kurallar tesbit edilmiştir. Bu kurallar ile ustalık standardı hazırlanmıştır. Standartlar ve şartnameler genellikle hukuki terimler ile birlikte yazıldığı için kaynak işçileri tarafından kolayca anlaşılabilir. Bu 20 kuralın bir liste halinde toplanması ile kaynakçıların daha fazla bilgilendirilmesi mümkün kılınmıştır. Bu listedeki 20 kural bir işyerinde şartname uygulanmıyorsa işyeri standardı olarak da uygulanabilir.

İşyerleri açıklanacak kurallara benzer kurallar geliştirebilir. Bu kuralların amacı kaynak tasarımcısı, operatör, muayeneci ve yöneticinin birbirlerini daha iyi anlamasını sağlamaktır. Böylece kaynak kalitesini en yüksek seviyeye çıkartmak mümkün olacaktır.

Aşağıdaki açıklamalarda ustalık standartları kuralları belirtilmektedir. Bu standartın temeli **“Kaynakçılar yaptıkları işden sorumludurlar.”** cümlesi ile ifade edilmiştir. Kuralların detayları ise aşağıda açıklanmıştır.

1. Kaynak yapılacak yüzeyler pas, yağ, boya, su ve benzeri maddelerden makul surette temizlenecektir. Makul surette denilmesi kaynakçı ve kaynak muayenecilerinin temizlik işine karar vereceğini ifade etmektedir. Mesela çelik fabrikasından yeni gelmiş çeliklerin yüzeyindeki çok ince kabukları gidermek gerekemeyebilir. Ama uzun süre beklemiş çeliklerin üzerindeki pası gidermek lazımdır. Yüzey işlemi ile kaynak için temiz yüzey elde edilmiş olur. Bu iyi bir uygulama olup ve birçok standartta istenmekte olan bir işlemdir. Temizlenmemiş yüzeyde bulunan nem ve hidrokarbonlar kaynak metali ve çevresinde çatlamalara yol açmakta olduklarından kaynak yüzeyindeki mevcudiyetleri istenmez.

2. Kaynak ile birleştirilecek parçalarda istenen kaynak açısı, kök açıklığı gibi kaynak ağız açılma işlemi yapılmalıdır. Çok parçalı kaynak işlemlerinde her parçaya tasarıma uygun kaynak ağızları açılmış olmayabilir veya uygun ağız açılmış olmasına rağmen parçalar birbirine yakın olarak kaynak edilir. Yani kök açıklığı yetersiz kalır. Bu durumda yetersiz nüfuziyet meydana gelir. Eğer kaynak ağız açılımında aşırıya kaçılmış ise parçalar arası mesafe artar ve bunun sonucu aşırı metal yığılma gerekir. Aşırı metal yığılma bunu off ve daha fazla çarpılmaya yol açar. Bu nedenle kaynakçı kaynak ağızlarının tasarıma uygun olup olmadığını her zaman dikkat edecektir ve hatalı durumlarda gerekli müdahaleyi yapacaktır.

3. T iç köşe kaynaklarında birleştirilecek parçaların arasındaki mesafe 1,6 mm'den daha büyük ise kaynak ayak uzunluğu parça kalınlığına bağlı olarak standart uzunluktan parçalar arası açıklık kadar büyüklük olmalıdır. Efektif alanı büyük olan kaynak daha fazla dış yük taşıyabilir. Parçalar arası mesafe artınca kaynak ayak uzunluğu arttırılmaz ise birleştirmenin yük taşıma kapasitesi düşük olur. Kulp, köşebent gibi küçük parçaların kaynağında bu tür hatalar yaygındır. Eğer parçalar yük taşıma mecburiyetinde kalırsa ani kırılmalar meydana gelir.

4. Tayin edilmiş ön tavlama ve pasolararası sıcaklıklara sadık kalınmalıdır. Bu durum önemli olmasına rağmen çok kere ihmal edilir. Ön tavlama işleminin sadece yüzeysel olmaması, parçanın kalınlık doğrultusunda da ısınması gerekir. Yüzeysel ısıtma yapılırsa ısı kaynağı iş parçasından uzaklaşır uzaklaşmaz ısı hızla yayındığından kaynak yüzey sıcaklığı da hemen düşme gösterir. Bu nedenle mümkün ise iş parçasının her iki yüzeyinden sıcaklık ölçülerek ısıtma ısısının derinlemesine transferi kontrol edilir. Ayrıca pasolar arası bekleme süresi uygun tutularak kaynak bölgesinin istenen sıcaklığa gelmesi sağlanmalıdır.

5. Kaynak edilen parçalara uygun elektrod kullanılmalıdır. Kaynakta kullanılan elektrod veya kaynak telinin oluşturacağı kaynak metalinin ana metal özellikleri ile uyumlu olması lazımdır. Mesela mukavemetleri, süneklikleri, toklukları uyumlu olmalıdır. Çok cinsten sarf maddesi mevcuttur. Bunların seçiminde dikkatli olunmalıdır. Bilhassa iş şartnamesinde belirtme yapılmış ise şartnameye harfiyen uyulmalıdır.

6. İş şartnamesinde belirtilen hususlara (elektrod tipi, elektrod çapı, kaynak sıcaklığı v.s.) kesinkes uyulmalıdır. Bu durum açık bir mecburiyettir. Ancak konstrüksiyon kaynaklarında ve büyük imalatçı firmalarda kaynağı yapan kaynak operatörüne kaynak şartları tam olarak intikal ettirilememektedir. Bu bilgi akışının ve operatöründe şartnameye uyması sıkı kontrol edilmelidir.

7. Çatlamış veya hatalı olan punta kaynaklar kaynak işleminden önce giderilmelidir. Kaynak öncesi hatasız punto kaynakları yapılmalıdır. Punto kaynaklarına büyük geldiği için kolayca çatlarlar. Birçok kaynakçı bunları eriterek yok edecek beceri seviyesinde olduğuna inanır. Ancak normal bir kaynakçının becerisi buna yetmediği için dikişe çatlaklar geçer. Bu çatlaklar yüzeyden görülmese de tahribatsız muayene yöntemleri ile kolayca saptanır.

8. Dikişte oluşan çatlaklar ve yüzey bozuklukları giderilmeden kaynak işlemine devam edilmemelidir. Bu da açık bir kural olmasına rağmen ihmale uğrayabilir. Kaynakçı ilk dikişteki bu hataları ikinci dikiş ile yok edeceğini zannedebilir. Ancak bu hatalar ikinci dikişin altında kalırlar. Bu nedenle dikişteki hatalar giderilmeden üzerine ikinci dikiş çekilmemelidir. Kaynak işleminde en iyi tamir politikası mümkün en kısa zamanda tamir kaynağının yapılmasıdır.

9. Fazla yüzey porozitesi olan kaynak dikişi kırılmalı ve yeni dikiş çekilmelidir. Yüzey porozitesi yüzey altı boşlukları olduğunun göstergesidir. Bu nedenle yüzey porozitesine yol açan sebep tesbit edilmeli, mevcut dikiş sökülmesi ve uygun şartlar altında yeni dikiş kaynatılmalıdır.

10.İkinci dikiş çekilmeden önce bütün kaynak kraterleri tamamen doldurulmalıdır. Krater, dikişin sonunda meydana gelen çökmedir. Eğer kaynak işlemi sırasında biten elektrodun yerine yeni elektrod takıp hemen dikiş çekmeye devam edilecekse yeni elektrod ile ilk önce krater doldurması yapılmalıdır. Krater elektrod bitiş noktasında, malzemenin köşesinde veya dikiş yönünün değiştiği noktada meydana gelir. Kaynak operatörü bu noktalarda arkı söndürmeden önce tedbir alırsa krater oluşmaz. Kraterler çatlak oluşumuna kabiliyetlidirler. Böylece kaynak birleştirmenin hizmet ömrünün kısılmasına yol açarlar.

11.Curuf ile ark koruması yapılan ark kaynaklarında her dikişten sonra curuf temizlemesi yapılmalıdır. Bu curuf temizleme dikkatli yapılmalıdır. Bilhassa yanma oluklarına toplanan curufu temizlemek çok zordur. Dikkatsiz curuf izleme sonucunda çok pasolu kaynaklarda kaynak metali içerisinde curuf kalır. Bu kalıntı curuf kaynak mukavemetini düşürür.

12. Kaynak resimlerinde verilen kaynak uzunluğu ve kaynak boyutu kabul edilebilir minimum değerlerdir. Kaynak boyutu toleransları (-0) ve (+1,6 mm) olmalıdır. İç köşe kaynaklarında kaynak ayak uzunluğu genellikle resimde verilen değerden %10 kadar büyük olarak kaynatılır. Böylece tolerans altına düşme tehlikesi ile karşılaşmaz. Daha büyük tolerans ile dikiş çekmeye kalkarsak kaynak metali gereksiz yere büyüdüğünden maliyet artışı meydana gelir. Kaynak operatörü resimde verilen boyutların kesinkes altındaki boyutta dikiş çekmemelidir. Yoksa kaynak mukavemetinde önemli düşme olur.

13. Kaynak taşkınlığı yüksekliği manuel kaynaklarda 1,6 mm'yi ve otomatik kaynaklarda ise 3,2 mm'yi geçmemelidir. Bu sınırlama konmasının birçok sebebi vardır. Birincisi gereğinden fazla kaynak metali israfına ve ekonomik kayıba yol açar. İkincisi bazı kaynakçılar akım kaynaklarında oluşan bazı hataları kamufle etmek için aşırı kaynak taşkınlığı yaparlar. Ayrıca ekstra kaynak taşkınlığı gerilme yığılmasına yol açar. Taşkınlığın kenarı keskin ise gerilme yığılma daha yüksek olur. Alaşım ve az alaşımlı çeliklerin kaynağında kaynak metali akıma mukavemetli çeliklerden yüksek olduğundan bu metaller için kaynak taşkınlığına hiç gerek yoktur. Kaynak metali az eksik olsa bile doldurmaya gerek yoktur.

14. Yüksek statik gerilmeye veya dinamik gerilmeye maruz kaynaklarda yanma oluşu olmamalıdır. Birçok şartnamede yanma oluşuna müsaade edilmez iken bazılarında belli limitler içinde derin olmayan yanma oluklarına müsaade edilmiştir. Yanma olukları gerilme yığılması yaparak çatlak oluşturduğundan istenmemektedir.

15. Kök açıklığı olan kaynaklı birleştirmelerde kök ergimesi tamamen gerçekleşmelidir. Arkalık kullanılan veya kullanılmayan bütün kaynaklarda her ikisi de bu hususa dikkat edilir. Kök yüzeylerinin dikiş ile nüfuziyetini sağlayan ergime gerçekleştirilmelidir. Bu ergime kök dikişinin sıhhatinin şartıdır. Bu nedenle kök pasolarının tahribatsız muayene yöntemi ile muayene yapılmasının sebebi açıklanmış olmaktadır.

16. Kaynak dikişinin yüzey altında curuf veya boşluklar olduğu tahribatsız muayene yöntemleri ile tesbit edilirse dikiş sökölür ve yeniden dikiş çekilir. Bazı standartlarda sürekli olmayan ve ince dağılmış olan az miktardaki curuf veya poroziteye müsaade edilmektedir. Curuf ve porozite boşluklarının köşeleri genellikle keskin olmadığından gerilme altında büyömezler.

17. Tahribatsız muayene yöntemleri ile dikiş yüzeyinin altında çatlaklar tesbit edilirse sağlam metale kadar dikiş sökölür ve tekrar kaynatılır. Çatlakların köşeleri keskin olduğundan köşelerde gerilme yığılması oluşur ve çatlak gerilme altında kolayca ilerler. Hiç bir standard yüzey altı çatlağa müsaade etmez.

18. Bütün kaynaklar mümkün olduğu kadar yatay konumda olmalıdır. Bu kaynak işlemini hızlandırır ve ekonomiklik sağlar. Ayrıca kaynakçı rahat konumda çalışacağı için kaynağın kalitesinde yüksek olacaktır.

19. Kaynak kalitesini tesbit etmek için rastgele seçilen kaynaklara %100 göz muayenesi ve/veya tahribatsız muayene yöntemi uygulanır.

20. Üretilen kaynakların kalitesinde sorun çıkarsa kaynak operatörlerini yeniden yeterlilik sınavından geçirmek gerekir. Bir kaynak operatörünün işinin herhangi bir sebepten bozulması sık karşılaşılan bir olaydır. Operatörün yeterlilik testinden geçirilmesi sırasında hatanın sebebi tesbit edilir. Hata geçici bir problem olabilir, eğitim ile düzeltilebilir veya görme bozukluğunun tedavisi ile çözümlenebilir. Bu yöntem bir operatörün üretim kalitesi düştüğünde kaynak işlemi kontrolörünün kullanabileceği bir yöntemdir.

## 5.1.USTALIK STANDARDI KURALLARI

Her kaynakçı yapılan kaynak işleminden sorumludur. Yüksek kalitede kaynak üretmek için aşağıdaki ustalık standard kurallarına mutlaka uyulmalıdır. Bu kurallar şirket standardı olarak kullanılabilir. (Özel standart veya şartnameler bu kuralların üzerine çıkar.)

1. Kaynak yapılacak yüzeyler pas, yağ, boya, su ve benzeri maddelerden makul surette temizlenecektir.

2. Kaynatılacak parçalarda gerekli hallerde kaynak ağız açma hazırlığı yapılmalı ve tasarlanan kök açıklığı ile kaynak yüzey açıları elde edilmelidir.

3.T iç köşe kaynağında iş parçaları arası 1,6 mm den büyük ise standart dikiş kaynak uzunluğuna açıklık kadar uzunluk ilave edilmelidir.

4. Ön tavlama ve pasolararası sıcaklıklara mutlaka uyulmalıdır.

5.Ana metale uygun elektrod seçimi yapılmalıdır.

6. Tasarlanan kaynak şartlarına (elektrod cinsi, elektrod çapı, ön tavlama vb.) mutlaka uyulmalıdır.

7. Çatlak veya hatalı puntalama kaynakları esas kaynak işleminden önce hatasızlar ile değiştirilmelidir.

8. Çatlamış veya yüzey bozuklukları olan dikişler derhal giderilmelidir.

9. Aşırı yüzey porozitesi olan dikişler sökülmeli ve yenileri çekilmelidir.

10. İkinci pasoyu çekmeden önce birinci pasonun kraterleri doldurulmalıdır.

11.İkinci paso çekilmeden önce birinci pasonun curufu tamamen temizlenmelidir.

12.Kaynak resimlerinde verilen kaynak uzunluk ve boyutları kabul edilen minimum değerlerdir. Kaynak boyutu toleransı +1,6 - 0 mm olmalıdır.

13.Manuel kaynaklarda kaynak taşkınlığı 1,6 mm'yi geçmemelidir.

14. Dinamik veya yüksek gerilmeye maruz kaynaklarda yanma oluşu olmamalıdır.

15.Kök açıklığı mevcut olarak tasarlanan kaynaklarda kök ergimesi tamamen gerçekleştirilmelidir. Arkalık kullanılan kaynaklarda da bu hususa dikkat edilmelidir.

**16.**Tahribatsız muayene yöntemleri ile yüzey altı curuf veya boşlukları tesbit edilirse, sağlam metale kadar dikiş sökülmeli ve yeniden kaynak yapılmalıdır.

**17.**Tahribatsız muayene yöntemleri ile yüzey altı çatlaklar tesbit edilirse, dikiş sökülmeli ve yeniden kaynatılmalıdır.

**18.** Mümkün olduğu kadar kaynak işlemleri yatay pozisyonda yapılmalıdır.

**19.**Kaynak kalitesini tayin etmek için rastgele kaynak seçilir ve 100 göz muayenesinden veya herhangi bir tahribatsız muayenesinden geçirilir.

**20.** Kaynak operatörünün yaptığı kaynakların kalitesinde sorun çıkarsa operatör kaynakçı yeterlilik testinden geçirilebilir.



## BÖLÜM 6 : KAYNAKLI BİRLEŞTİRMELERDEKİ STATİK MUKAVEMET HESAPLARI

### 6.1.KAYNAKLI KONSTRÜKSİYON TASARIMINA YAKLAŞIM

Bir kaynaklı makina parçası ya da yapının tasarım sorumluluğunu yüklenmiş olan mühendis çoğu kez ağır elverişsiz koşullar altında işe girer. Şöyleki, malzeme ve bileşenler hususunda akademik eğitim ve deneyi bulunsa bile, kaynaklı tasarıma giren özgül etmenler hakkında yeterli bilgiye her zaman sahip olmayabilir. Onun çeliğin nasıl etkin şekilde kullanılacağını bir kirişe takviye bayraklarının nasıl yerleştirileceğini, burulmaya karşı koymak için nasıl bir dizayn şekli seçileceğini, amacını, hangi kaynaklı birleşmelerin uygun olacağını vb..... bilmesi gerekir. Bunların dışında genellikle mühendis okullarında okutulmayıp kitaplarda da bulunmayan, ama buna karşılık büyük pratik değeri olan birtakım uygulamalar hakkında da fikri olacaktır.

Kaynaklı çelik tasarım sanatı zaman içinde, bazı hatalar ile de birlikte gelişmiştir. Kaynaklı çelik konstrüksiyonların tasarımında içinde düşülen ve acemilerce sık tekrarlanan en eski hatalardan biri, kaynaklı konstrüksiyonu , yerini tutmasının amaçladığı döküm parçanın dış şekil ve görünüm itibarı ile kopyası olarak tasarlamaktır. Döküm parçasını bütün girinti ve çıkıntılarını gereksiz yere aynen kaynakla gerçekleştirme girişiminde malzeme ve işçilikten zarar edilecektir.. Tasarımcı ile onun üstündeki makamlar, *kaynaklı çelik konstrüksiyonların dökümünden farklı olduklarını*, ve başka türlü görüneceklerini anlamalıdır. Kaynaklı çelik konstrüksiyon, kendine özgü görünümü olan bir bütündür..

Bir döküm parça, kaynaklı konstrüksiyona dönüştürüldüğünde hem görünümü hem de çalışması düzenlenmiş olur. Ancak bu dönüşümün esas nedeni üretim maliyeti, makina, parça ya da yapıya daha ekonomik imal edip, piyasada rekabet edebilmektir. Bu itibarla maliyet, tasarımda her aşamada dikkatle gözönüne alınacak, tasarımcı sadece belirgin üretim maliyetlerini değil, malzeme ve imal yöntemlerinin seçiminden bitmiş ürünün son muayenesi ve yüklenmeye hazırlanmasına kadar tüm bölümlerini hesaba katacaktır.

### 6.1.1.Başlıca Tasarım Faktörleri

Genel imal kaideleri, kullanılan bütün malzeme ve işçilikten tasarruf, standart yarı mamullerin tercihen kullanılması vb.'nin dışında, doğruca kaynakla ilgili olan faktörler özetle şunlardır:

- Emniyet katsayısı gerçekçi olacak çoğu eski konstrüksiyonda olduğu gibi aşırı olmayacaktır.
- Güzel görünümün değeri olmakla birlikte bu husus sadece göze görülen kısımlar için dikkate alınacaktır. Teknik resimlerde bunlar gösterilecektir.
- Bayrakların uygun kullanımı malzemenin asgari ağırlığında rijitlik sağlar.
- Burulmaya çalışan parçalarda kapalı boru kesitleri ya da çapraz diyagoneller kullanılacaktır. Bir kapalı boru kesiti, bir açık kesitten birkaç kat daha iyi olabilir.
- Mümkün olan her yerde yumuşak çelik kullanılacaktır. Yüksek karbonlu ve alaşımlı çelikler ön ısıtmayı, çoğu kezde son ısıtmayı gerektirip bu işlemler maliyete bindirilir.
- Tasarımda bakım ve tamir olanakları gözönüne alınacaktır. Örneğin; Bir rulman dayanağı veya başka bir aşınabilen parça bir kaynaklı kapalı kutuya gömülmeyecektir.

### 6.1.2.Kaynak Boyut ve Miktarı

Fazla kaynak hem tasarım, hem de üretim de sık rastlanan bir hatadır. Kontrol, tasarımla başlayıp bütün toplama ve kaynak işlemleri boyunca sürecektir.Uyulması gereken temel kaideler şöyle sıralanabilir.

- Sadece gerektiği kadar kaynak kullanıldığından emin olunacaktır. Aşırı kaynak boyutu pahalı, çoğu kez de zararlıdır.
- Tasarımda sadece gereği kadar kaynak yapılacağı belirtilecek olup tasarımcının kullandığı müsaade edilebilir sınırlar emniyet katsayısını içerirler.
- Köşe kaynaklarının kenar (ayak) boyu özellikle önemlidir. Şöyleki ayak boyu uzadıkça gerekli kaynak miktarı bunun karesi kadar artar.
- Eşit mukavemette daha kısa ayak boylu uzun köşe kaynakları, kalın aralıklı kaynaklardan daha ucuzdur.
- Bazen, özellikle hafif yük ya da yüksüz koşullarda, sürekli ve aynı ayak uzunluğunda kaynak yerine aralıklı dikişler kullanılarak maliyet düşürülebilir.
- Daha önce de belirtmiş olduğumuz gibi kaynağın boyutları en ince levhaya göre saptanacaktır.
- Bayrak ya da bölmeler fazla kaynağı gerektirmezler; bunlarda kaynak ayak boyu ve mümkün ise kaynağın boyu kısaltılacaktır.
- Kaynak miktarını asgaride tutmak distorsiyon ve iç gerilmeleri ve dolayısıyla gerilim giderme ve doğrultma masraflarını azaltır.

### 6.1.3.Alt Montaj Gruplarının Kullanılması

Konstrüksiyonu toplama süresini göz önüne getirirken tasarımcı bunu alt montaj gruplarına parçalayacaktır; Bu yönde önüne birkaç alternatif çıkabilir; Doğal olarak en az masraflısı seçilecektir. Aşağıdaki hususlar önemlidir.:

- Alt montaj grupları işi dağıtır ve aynı anda çok kişinin iş üzerinde çalışmasına olanak verir.
- Alt montaj grupları genellikle kaynak için daha iyi ulaşma yolları sağlar.
- Kaynaklı konstrüksiyon alt montaj gruplarından imal edildiğinde distorsiyon ya da kalıntı gerilme olanakları azalır.
- Son montaj için kaynaktan önce sıkı toleranslarla kısımların işlenmesi mümkün olur. Gerektiğinde bazı bölünlerin gerilim giderme işlemi montajdan önce yapılabilir. Montaj'da yapılacak kaynak, yerel olarak gerilmeden arındırılabilir.
- Muayeneler kolaylaşır, hatalar, iş bunların giderilmesini imkansız kılacak kadar ilerlemeden, yakalanabilir.
- Alt montaj gruplara ayırmanın bir yararı da bunlardan her birinin kaynağını kendi nötr eksenine etrafında dengeleme olanağıdır. Mümkün olan her durumda bu yola gidilecektir.
- Çok eğilebilir kesimleri önceden kaynak etmek, montajdan önce herhangi bir doğrultma işlemini kolaylaştırır.

#### Aparatlar, Tespit Takımları ve Pozisyon Makinaları

Bunların kullanılması imal süresini kısaltır. Montaj ve alt montajların planlanmasında tasarımcı aparatın, basitçe montaj ve puntalamada yardımcı mı olacağına, yoksa bütün kaynak işleminin bu aparatın içinde mi yapılacağına karar vermelidir. Aşağıdaki değerlendirmeler bu açıdan anlamlıdır.

- Aparat, kaynaklı konstrüksiyonun ölçülerini tutmak için gerekli olan rijitliği sağlamalıdır.
- Aparatların takılıp çıkarılmaları kolay olmalıdır.
- Distorsiyonun kontrolü için kemerlenme, takımın içinde imal edilebilir.
- Kaynak pozisyon makinaları yerde yatay pozisyonunda kaynak miktarını çoğaltır.

### 6.1.3. Tasarımcının Bilmesi Gereken Hususlar.

Mühendis çoğu kez kaynaklı tasarıma bir bireysel vesileyle girer: anormal bir titreşim ya da bir darbeli yükleme sorununu çözmek için bir kaynaklı konstrüksiyona başvurabilir. Bu vesileyle kaynaklı çeliğin kullanımını daha etraflıca düşünmeye başlar. Belki de bir konstrüksiyonun herhangi bir elementinin performansını sadece iki temel faktöre, malzemesinin nitelikleriyle bunun kesitinin niteliklerine bağlı olduğunu kabul edecektir.

Ancak bir kaynaklı konstrüksiyonun tasarımını üstlendiği zaman birçok sorunu göğüslemek zorunda kalır. Geçmişin deneyleriyle ampirik olarak çalışmanın, kaynaklı çelik tasarımına bir pratik yaklaşım olduğu bir zamanlar düşünülüyordu. Bu uygulama kendi kendini yitirecekti şöyleki şekil ve kesitlerin seçiminde tahmin ve parmak hesabı aşırı kalın kesitlere ve malzeme ve işçilikte yüksek maliyetlere götürüyordu. Ve bu tür “pratik” yaklaşımlar bir kenara itilip imalatçılar matematiksel hesaplara dayanan tasarımlar kullanmaya başlayana kadar kaynaklı konstrüksiyonların avantajları gölgede kalacaktı.

Gerçi kuvvetlerin ve bunların kesitleri üzerindeki etkilerinin hesabı ve bu kuvvetlere dayanacak kesitlerin saptanması nice mühendisin gözünde büyür. Oysa ki uygun bir yaklaşımla tasarım analizini ve bu formüllerin kullanımı basitleştirilebilir. Gerçekten çoğu kez, sıkıcı hesaplara boğulmadan bir denklem içindeki bir ya da iki değişkeni tetkik ederek doğru tasarım kararına varmak mümkün olur. Tümüyle kaynak tasarımının matematiği, öbür mühendislik alanlarındakinden daha karmaşık değildir; o sadece, öncekiler gibi *kalıplaşmış değildir*.

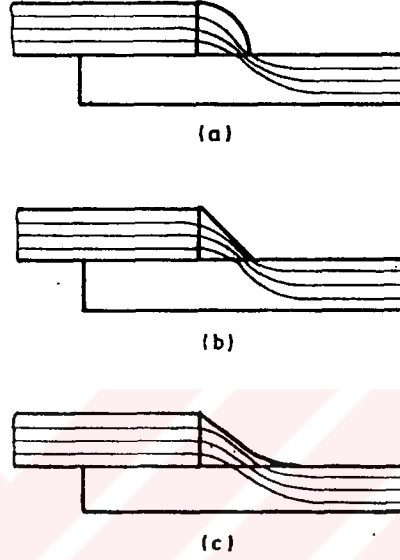
Bir tasarım “*sadece mukavemet*” ya da “*mukavemet artı rijitlik*” gerektirebilir. Sadece mukavemetin arandığı yerler genellikle bayındırlık makinaları, tarım aletleri vb’dir. Buna karşılık, yukarıda sözünü ettiğimiz gezer köprülerde (kreynlerde) olduğu gibi, özellikle takım tezgahlarında, mukavemetin yanı sıra rijitlikte büyük önem taşımaktadır; şöyleki yük altında aşırı bir şekil bozulması tezgahı kendinden beklenen hassasiyetten yoksun kılar (örneğin tornalar, silindirik taşlama tezgahları vb.’nin prospektüsleri, punta yüksekliği, yani tezgaha bağlanabilecek azami çapın yanısıra puntalar arasına alınabilecek azami ağırlığıda verirler. Böylece aynı punta arası mesafe ve punta yüksekliğinde iki torna arasında, bu azami ağırlık farkları itibariyle, büyük ağırlık ve dolayısıyla, fiat farkı da bulunabilir.)

Bu değerlendirmeler, dökülmüş bileşenler için olduğu kadar çoğu kez bunların zamanla yerini alan kaynaklı konstrüksiyonlar için de aynen geçerlidir.

#### 6.1.4. Kuvvetlerin Aktarımı

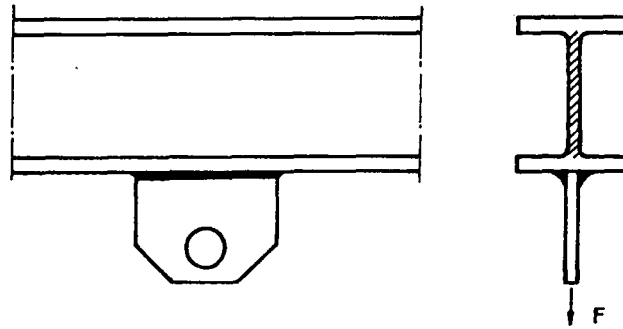
Yükler, konstrüksiyon içinde, onları karşılayabilecek uygun yerlere taşınan kuvvetler doğurur. Tasarımcı, etkin yolların nasıl sağlanacağını bilmek ihtiyacındadır.

Devam etmeden önce, bir konstrüksiyonda dikiş şekillerinin, kuvvet hatlarının yoğunlaşması üzerindeki etkisine bir örnek vererek bunun önemini hatırlatalım. Şekil 6.1.'de yeterince aydınlatıcıdır.



Şekil 6.1. Bindirme Kaynaklarında Kuvvet Aktarımı

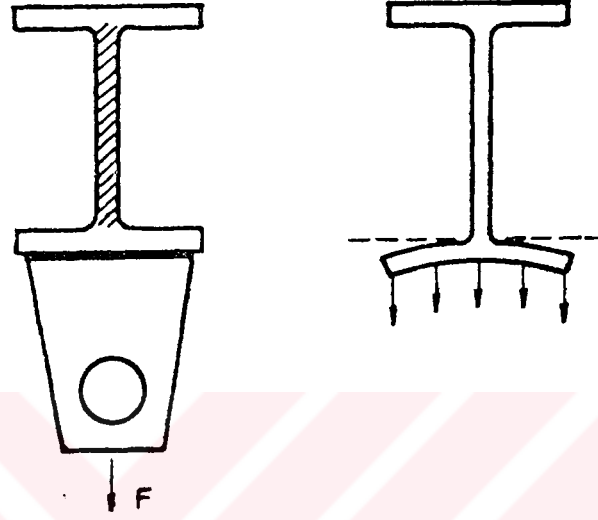
Kuvvetlerin aktarımı hususunda temel kaidelerden biri, bir bileşene enine uygulanmış bir kuvvetin sonunda, uygulanan kuvvete paralel olan kesit bölümüne dahil olacaktır.



Şekil 6.2. Ağırlık Kuvvetine Çalışan Kiriş

Şekil 6.2.'te, bir kirişin boyuna paralel olarak kaynak edilmiş bir kulağı gösterir. Kirişin uygulanan kuvvete paralel olan ve böylece bu kuvveti karşılayan kesit bölümü, orta dikmesidir. Kulağa uygulanan kuvvet, birleştirici kaynaklar arasında dikmeye kolaylıkla geçer, şöyleki ilave rijitleştirici bayrak ya da bağlayıcı levhaya gerek yoktur.

Şimdi de kulağın kirişin alt tablasına, kiriş boyuna dikey olarak kaynak edildiğini farzedelim. (Şekil 6.3.) Tablanın dış kenarları sarmaya çalışacak ve kaynağın dikmenin hizasında olan küçük bir bölümü bir aşırı yük taşımaya zorlanmış olacaktır.



**Şekil 6.3. Sarkmaya Çalışan Kiriş**

Bu durumun önlenmesi için iki bayrak kirişin iç kısmına , kulakla aynı hizada olmak üzere kaynak edilebilir ( Şekil.6.4). Bu şekil hem kaynaklar, hem de kulak içinde bir muntazam kuvvet dağılımını sağlayacaktır. Bayraklar, alt tablanın yanlardan sarmasını önleyerek kaynak içinde bir uniform kuvvet dağılımı gerçekleşir. Bu kuvvet kirişin dikmesine intikal ettiğinden bayrakları üst tablaya kaynak etmenin gereği yoktur. Her üç (a), (b) ve (c.) kaynağı, uygulanan  $F$  kuvvetini taşıyacak gibi tasarlanacaktır.

Herhangi bir nedenle bu kuvvetin tablalara paralel olarak uygulanması halinde (Şekil 6.5) kulağı basitçe kirişin dikmesine bağlamak yeterli olmaz şöyleki bu, dikmenin yüklenip kuvveti tablalara aktarılmadan önce aşırı derecede bel vermesini sonuçlandıracaktır.

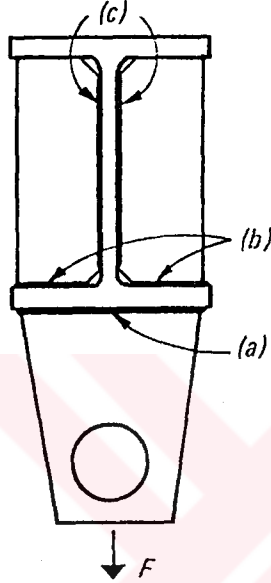
Böyle bir durumda kulak, Şekil 6.6'da görüldüğü gibi kirişin içine, bir bayrak rolünü oynamak üzere, sadece tablalara kaynak edilebilir. Gerçekten dikmeye aktarılacak herhangi bir kuvvet söz konusu değildir.

Daha büyük yüklerde, dikmenin üstünde de bir bayrak gerekebilir. (Şekil 6.7). Bu durumda her iki bayrak hem dikmeye, hem de tablalara kaynak edilecektir. Zira üst bayrak sadece dikme boyunca çekilmiş kaynaklar aracılığıyla yüklenebilir.

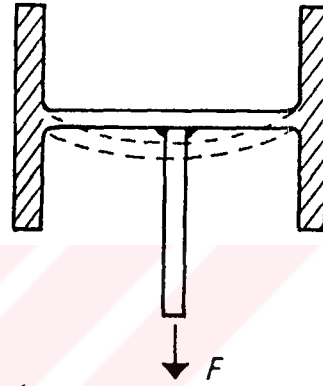
### 6.1.5. Uygulama Açısından Gözönüne Alınacak Hususlar

Bir kaynaklı konstrüksiyonun tasarımında imalat için elde mevcut atelye donanımı vb. olanaklar dikkate alınacaktır. Örneğin, abkant presinin boyut ve kapasitesi, bir makina kaidesinin kenarları kıvrılmış saçtan ya da köşeleri kaynaklı levhalardan yapılacağını saptar.

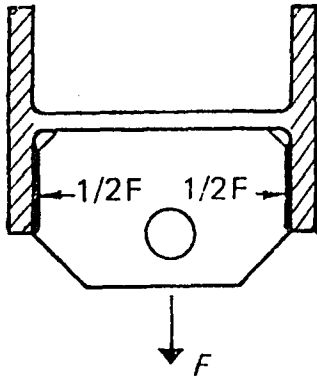
Kağıt üstüne çizgi çizmenin hiçbir zorluğu yoktur. Ama sıra bu çizileni imal etmeye gelince iş değişir. Şekil 6.8'da, buna dair yeterince fikir verir.



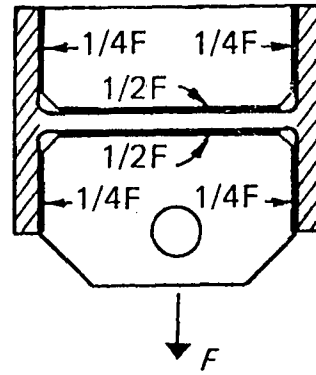
Şekil 6.4  
Sarkmaya Karşı Önlem Alınmış Kiriş



Şekil 6.5.  
Bel Veren Hatalı Konstrüksiyon  
Tasarımı

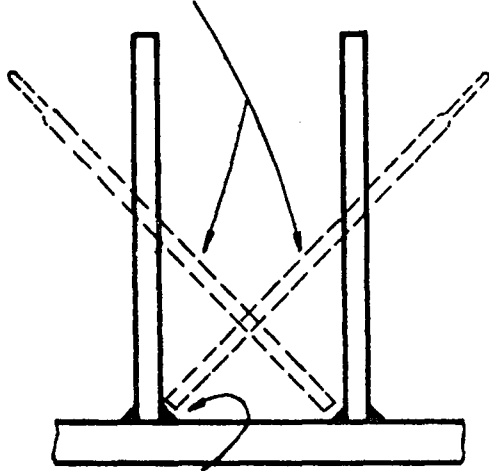


Şekil 6.6.  
Bel Vermeyen Hatasız Konstrüksiyon

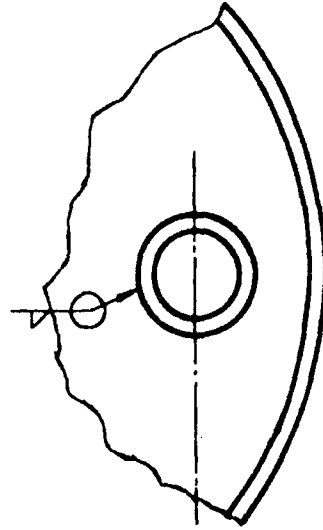


Şekil 6.7.  
Büyük Yüklerde Kullanılan Tasarım

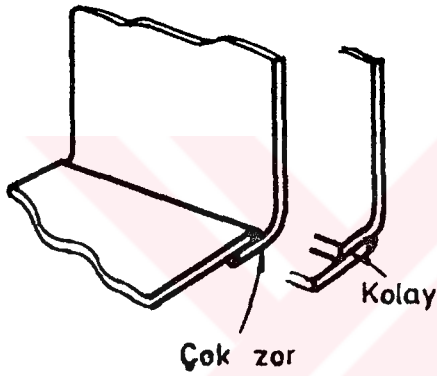
Bu köşe kaynağında elektrod yakl. 45° eğimle tutulacak



Çizmesi kolay ama 2. iç köşe kaynağı nasıl yapılacak ?...

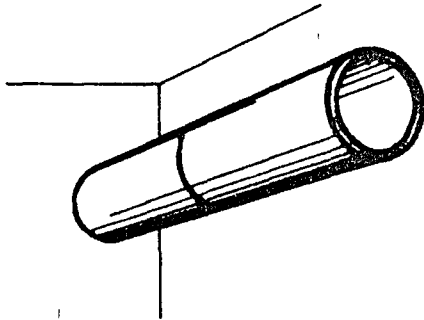


Çepçevre kaynak işareti koymak kolay, ama...

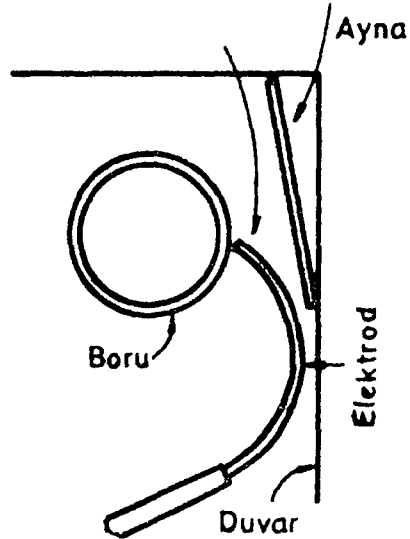


Kolay

Çok zor



Boru birleşmelerini duvara yakın yerlere getirmemeye dikkat edilecek; zira buralarda ayna ve kıvrık elektrod gerekir.



Şekil 6.8. Konstrüksiyonda Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar

## 6.2. KAYNAKLI KONSTRÜKSİYONLARIN HESABINA GİRİŞ

Tavsiye edilen müsaade edilebilir gerilme düzeyi, bir malzemenin niteliğine bağlı olsun ya da olmasın, belli bir konstrüksiyon sınıfı ve yükleme koşulunda başarılı bir tasarım uygulamasını karakterize eder. Bununla birlikte herkesin herhangi bir zamanda içinde düştüğü aşikar bir tuzak, yükleme, çevre, işçilik kalitesi ve malzeme davranışının farklı olabildiği belli bir konstrüksiyon sınıfından bir tavsiye edilmiş değeri başka bir konstrüksiyon sınıfına aynen aktarmak ya da ekstrapole etmektir. Böyle bir hatanın en belirgin örneği durağan yüklemeye uygun tasarım gerilmelerinin, yükün değişken ve yorulma kırılmalarının olası konstrüksiyonlara uygulanmasıdır.

Bu itibarla değişik uygulama normlarının kaynaklar için tasarım gerilmelerinde uyuşmaya varmaları beklenmemektedir. Bununla birlikte bunlarda bazı müşterek noktalar vardır. Biz aşağıda bazı normların özetini ve bunlar arasındaki müşterek prensipleri vereceğiz.

***Kaynak dikişlerinin birim uzunluk başına mukavemeti, bunların enine kesitlerinin şekil ve boyutlarının fonksiyonudur.*** Buradan da bu iki temel karakteristiğin, yani dikişlerin enine kesitinin şekil ve ölçülerinin önemi meydana çıkar.

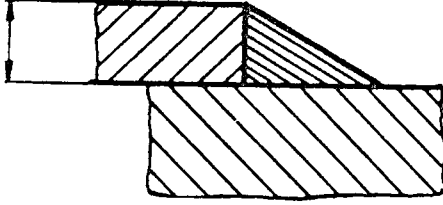
Genel olarak dikiş boyutlarının küçüklüğü oranında bu iki karakteristik daha az belirgin olur.

Genel bir köşe kaynağında, dikiş yüzeyi dalgalı olup dalgaların derinliği 1 ila 2 mm iken dikiş yüksekliğinin 3 ya da 5 mm olduğunu söylemek güçtür. Böyle bir belirsizliğin sonucu olarak da bu dikişin mukavemet hesaplarında belirsizlikler % 20 ila 40 olur. 10 veya 12 mm yükseklikte bir dikişte, yüzey dalgalanmaları aynı kaldığından hesabın belirsizliği azalır.

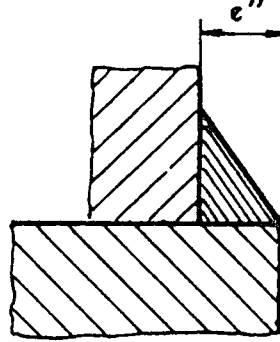
Doldurmak zorunda oldukları sınırlı köşelere çekilmiş dikişlerde belirginlik çok daha büyük olur. Böylece  $e$  kalınlığında bir levhayı tamamen kaynak eden bir dikiş,  $e$  'ye eşit bir yüksekliğe sahip olacaktır. (Şekil 6.9); aynı şekilde, taşkın bir levhanın bütün  $e$  ' çıkıntısını kaynak etmiş dikişin ayağı bu  $e$  ' ' ye eşit olacaktır. (Şekil 6.11)

Bütün bunlar nedeniyle, ince dikişlerin mukavemetinin deneysel olarak hassas şekilde incelenmesi istendiğinde, dikişleri, yükseklik ve ayak olarak birleştirilecek levhaların kalınlığı ve taşkınlıklarıyla sınırlı deney parçaları meydana getirilir. (Şekil 6.11)

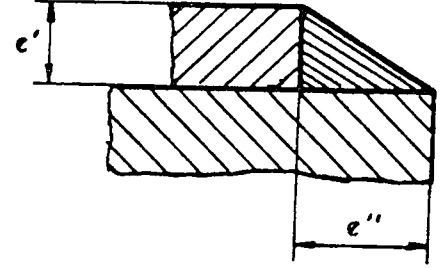
Aynı şekilde, konstrüksiyonlarda, mümkün olabildiği kadar, dikişin boyutlarından bir tanesini, yukarıdaki şekillerin bir tanesine uygun olarak, saptamak gerekir. Böylece kontrol da kolaylaşır şöyleki, aynı kalınlıkta bir levhayı kaynak eden 10 mm'lik bir dikişin, istenen 10 mm'yi haiz olup olmadığını görmek kolay olur; oysa ki 10 mm'lik bir levhayı kaynak eden 8 mm'lik bir dikişte aynı kontrolu yapmak çok daha zor olur.



Şekil 6.9.  
Yüksekliği sınırlı  
bir köşede dikiş



Şekil 6.10  
Genişliği sınırlı  
bir köşede dikiş



Şekil 6.11  
Genişliği ve yüksekliği  
sınırlı bir köşede dikiş

Normal kaynakçılar tarafından gerçekleştirilen çok sayıda eş deneyde, sapmalar genelde bir ortlamaya göre  $\pm \% 7,5$  olarak saptanmıştır. Oysa ki konstrüksiyonlarda genel olarak kullanılan St 37-44 arası hadde ürünlerinin basit çekme mukavemeti bir ortalama

$$R_{ort.} = 40 \text{ Kg/mm}^2$$

etrafında 37 ve 44  $\text{Kg/mm}^2$  arasında kalır.

$$\text{Azami sapma } 44-40 = 4 \text{ Kg/mm}^2 = e_{max}$$

Böyle bir çeliğin imal mükemmelliği, nispi değer olarak

$$e_{max} = \frac{e_{max}}{R_{ort}} = \frac{4}{40} = \% 10$$

ile ölçülür.

Aynı şekilde ark kaynağının mükemmelliğinde

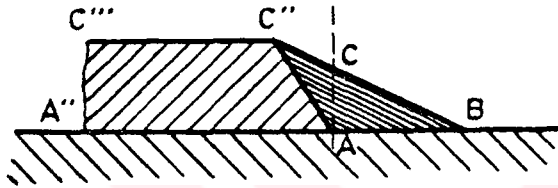
$$e_{max} = \% 7,5 \text{ ile ölçülür.}$$

Bundan çıkan sonuç :

*Konstrüksiyon yumuşak çeliğine pratik olarak eşdeğerde bir metal terkeden örtülü elektrodlar yapılan ark kaynağı, birleştirilen çelik çubukların imal mükemmelliğine eşit mükemmellikte bir birleşme yöntemi oluşturmaktadır.*

Yukarda, kaynak dikişlerinin mukavemetinin bunların enine kesitlerinin şekillerinin fonksiyonu olduğunu görmüştük. Hesap için, kıyaslama terimi olarak, çok sayıda deneysel araştırmanın konusunu oluşturan, dik köşe dikişlerinin mukavemeti alınır.

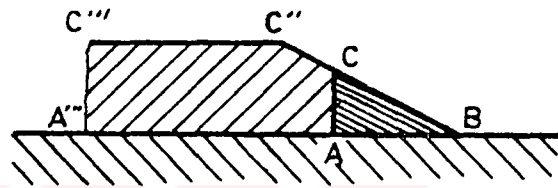
C'' AB (Şekil 6.12) gibi geniş açılı bir köşe dikişi C''' C'' CAA''' (Şekil 6.13) parçasını birleştiren dik köşeli CAB dikişine eşdeğerdedir.



Şekil 6.12

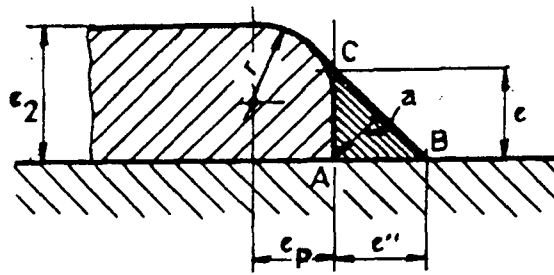
#### Geniş Açılı Köşe Dikişi

Profil demirleri kanatlarının köşeleri yuvarlatılmış olduğundan ( Şekil 6.14 ) bu mülahaza çok önemli olmaktadır. Gerçekten kuvvetli bir yuvarlaklığı haiz bir çubuk boyunca, bunun kenarının aşırı bir bölümünü ergitmeden aynı kalınlıkta bir dikiş elde etmek mümkün değildir. (Şekil 6.13) Bu da kaynakçıdan üst parçaya bir  $e_p$  kadar nüfuziyetin sağlanmasını istemek demektir ki bu, pratikte gerçekleşemediği gibi kontrolü de tamamen olanak dışıdır.



Şekil 6.13.

#### Keski Kenarlı Köşe Dikişi



Şekil 6.14.

#### Yuvarlak Köşe Dikişi

Genel olarak yuvarlatılmış köşeler üzerinde dikişler, Şekil 6.14''de gösterildiği gibi olmakta ve pratik olarak dikişin  $e$  kalınlığı, ucu yuvarlatılmış çubuğun  $e_2$  kalınlığından azdır. Örneğin;

|               |      |                      |
|---------------|------|----------------------|
| $r = e_2$     | için | $e = 0,4 e_2$        |
| $r = 1/2 e_2$ | için | $e = 0,7 e_2$        |
| $r = 1/4 e_2$ | için | $e = 0,85 e_2$ olur. |

### 6.2.1. Müsaade Edilen Gerilme

Burada genel elastikiyet teorisi ve mukavemet hesap prensipleri tekrar edilmektedir.. Bu kısımda, bunların kaynaklı konstrüksiyonlara uygulanma şekilleri özet olarak verilmektedir.

Normların çoğunda tasarım gerilmeleri, yorulma yüklemesinin mümkün olduğu haller dışında ,malzemenin akma ya da azami kopma mukavemetinin bir oranı olarak ifade edilir. Akma mukavemeti esasının tehlikesi,tasarımcıyı yüksek akma /azami kopma mukavemeti oranlı malzeme kullanmaya iterek süreklilikten vazgeçirme eğilimindedir.

Tasarım / akma gerilmesi oranı çoğu kez gerilmenin karakterine bağlı olarak değişkenlik arzeder. Konstrüksiyon geniş ve önemli bölgelerinde doğruca kırılmaya götürebilen statik olarak muayyen gerilme genellikle, yerel akmanın daha az zararlı olacağı bir eğme veya makaslama gerilmesinden daha aşağı düzeyde tutulur.

Aynı noktaya etki yapan normal ve makaslama gerilmeleri genellikle “eşdeğer” ya da Von Mises gerilmesi olarak birleştirilir. Aykırı olarak tek başına etki yapan makaslama gerilmesine bazen daha yüksek bir eşdeğer gerilmeye yükselme müsaadesi verilir. Örneğin çelik konstrüksiyonu köprülere dair BS 153, eğme gerilmesine ya da bileşik eşdeğer gerilmesine akmanın % 66’ sına kadar müsaade ediyor; tek başına etki eden makaslama için eşdeğer gerilmeye de % 66’ ya kadar izin var. Doğruca ya da primer gerilmeler, öbür yandan, akmanın % 59’ unda tutuluyor.

Kaynağın bir ince parçada bir basma gerilmesi bölgesinde bulunması halinde burkulma sorunu ortaya çıkar ve bu takdirde müsaade edilebilen gerilme teorik burkulma mukavemetinin bir oranı olarak ifade edilir.

#### 6.2.1.1.Alın Kaynaklarının Analizi

Bir alın kaynağı, yüklenmiş bileşenle, özellikle tam nüfuziyet söz konusu olduğunda, bütünleşmiş olarak kabul edilebilir. Bu itibarla herhangi bir özel analiz sorunu bulunmaz; bileşenle analize tabi tutulacaksa, kaynak gerilmeleri bir sonuç olarak kabul edilebilir. Geleneksel ve yanlış olarak “pekiştirme” adı verilen birleşme yerinin fazla doldurulması (dikiş taşkınlığı), birleşme mukavemetine hiçbir şey eklediğinden, gözardı edilir; aslında bu, bir gerilme yoğunlaşmasına götürdüğünden, ters etki yapar. Kısmi nüfuziyetle kaynaklarda hesap sadece kaynaklı bağlantı kısmına dayanacaktır. Birçok standardda, yorulma söz konusu olmasa bile, kısmi nüfuziyetli kaynaktan kaçınma öğütlenir. Çünkü bunlar hem kaynak sırasında çatlama eğiliminde olurlar, hemde parçanın çalışması sırasında kırılma tehlikesini artırır.

Birçok malzeme de kaynak metali ile ısıdan etkilenmiş bölgenin mukavemetini ana metalinki ile eşit tutmak mümkün olup bu nedenle alın kaynakları için müsaade edilen gerilmeler genellikle ana malzemeler için saptanmış olanlarda aynıdır. Ancak bu malzemelerde, ana metalin mukavemetinin işleme sertleşmesi, su verme ve menevişlemeye veya yaşlanmaya tabi olduğundan ve daha sonra yapılacak bir ergitme

kaynağı bu mukavemeti tutturamadığından ya da yumuşamış bölgeler oluştuğundan, bazı güçlükler ortaya çıkar. Bu, sadece, örneğin akmanın kırılmaya götürebileceği enine alın kaynaklarında olduğu gibi, “ primer” yük noktalarında bir sorun olur. Başka yerlerde, örneğin gerilme yoğunlaşmalarında, kaynak sünekliği ve tokluğu muhtemelen statik mukavemetten daha değerli olmaktadır.

#### 6.2.1.2.Köşe Kaynaklarının Analizi

Bunun aksine köşe kaynakları, karakterleri itibariyle bileşenle bütünleşmezler ve yüklemeye bağlı bir şekil ve yöne sahiptirler; bu sonuncular ise basit gerilme analizlerine izin vermezler.

Köşe kaynakları için birçok pratik tasarımda iki basitleştirici varsayıma gidilir.Bunlardan ilki gerilmelerin kaynak kesit alanına bağlanabilecekleridir. Bununla birlikte bu kesit alanı uniform değildir. Bunun için asgari kesit, ya da “boğaz “ düzlemi temsili alan ya da referans alanı olarak seçilir. 45<sup>0</sup> köşe kaynakları için boğaz alanı 0,707 x ayak uzunluğu x<sub>k</sub> kaynak uzunluğu ile verilir.

İkinci varsayım, boğaz düzleminin yükle ya da komponentin düzlemiyle açı teşkil etmeyip ona paralel veya dik olduğudur. Böylece köşe kaynaklı birleşme, bağlantı alanının boğaz alanı tarafından temsil edildiği bir alın kaynağına benzetilir.(Şekil 6.15)

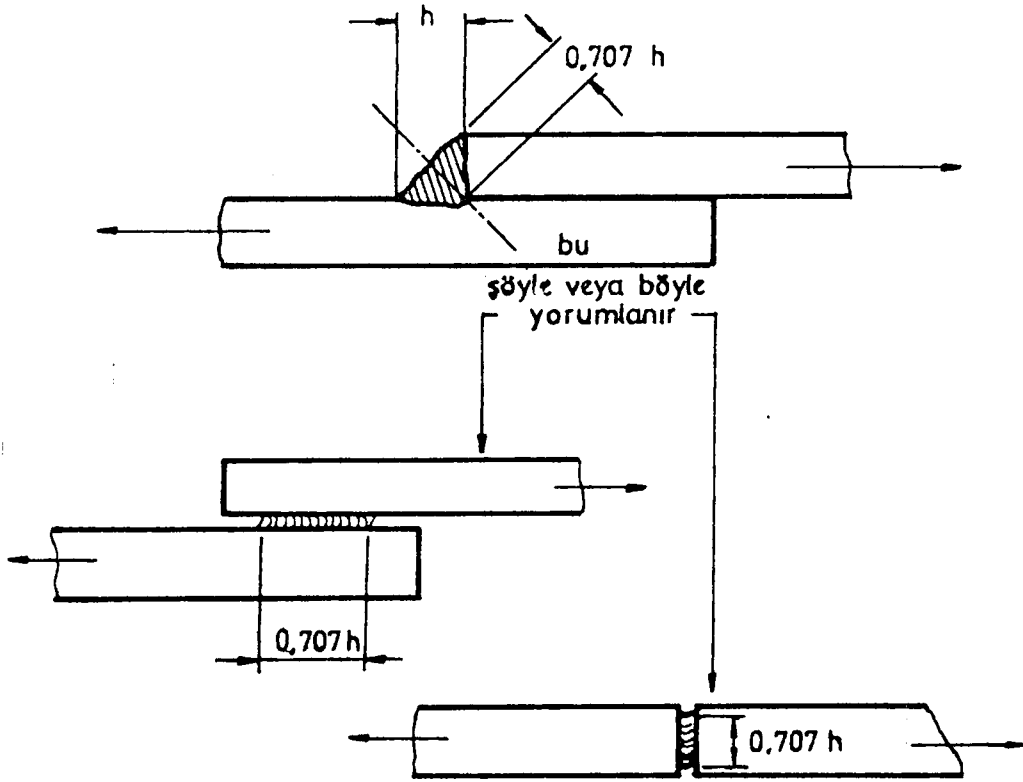
Bu yaklaşımın çok doğru olmayışı, müsaade edilen gerilmenin düşürülmesiyle teslim edilmektedir. BS 153 ve benzeri çelik konstrüksiyonlara dair normlarda bir köşe kaynağı için önerilen müsaade edilir gerilme, akma mukavemeti hiç dikkate alınmadan, 1000 dN/cm<sup>2</sup> olarak saptanmıştır. Bu değer, yorulmaya tabi yük taşıyan köşe kaynakları için daha da düşürülebilir. Normal gerilme ile makaslama arasındaki ayırım, yukardaki ilk varsayım dolayısıyla, burada bahis konusu değildir. 1000 dN/cm<sup>2</sup> ‘nin, minimum akma mukavemeti yumuşak çelik ana malzeme ya da alın kaynaklarından müsaade edilen durağan makaslama gerilmesine denk geldiğini kaydetmek ilginç olmaktadır.

Bu prensipler aşağıdaki birkaç örnekte belirgin olacaktır:

**Örnek:1:Köşe kaynaklarına paralel yük (Şekil 6.16a)**

Kaynak düzlemindeki küçük eğme momentinin etkisi ihmal edilerek ve makaslama gerilmesinin kaynak uzunluğu boyunca uniform varsayılarak

$$T_{ortal} = \frac{P}{2 \times 0,707 h \times l}$$



**Şekil 6.15. Köşe Kaynaklı Birleşme, Bağlantı Alanının Boğaz Alanı Tarafından Temsil Edilmesi**

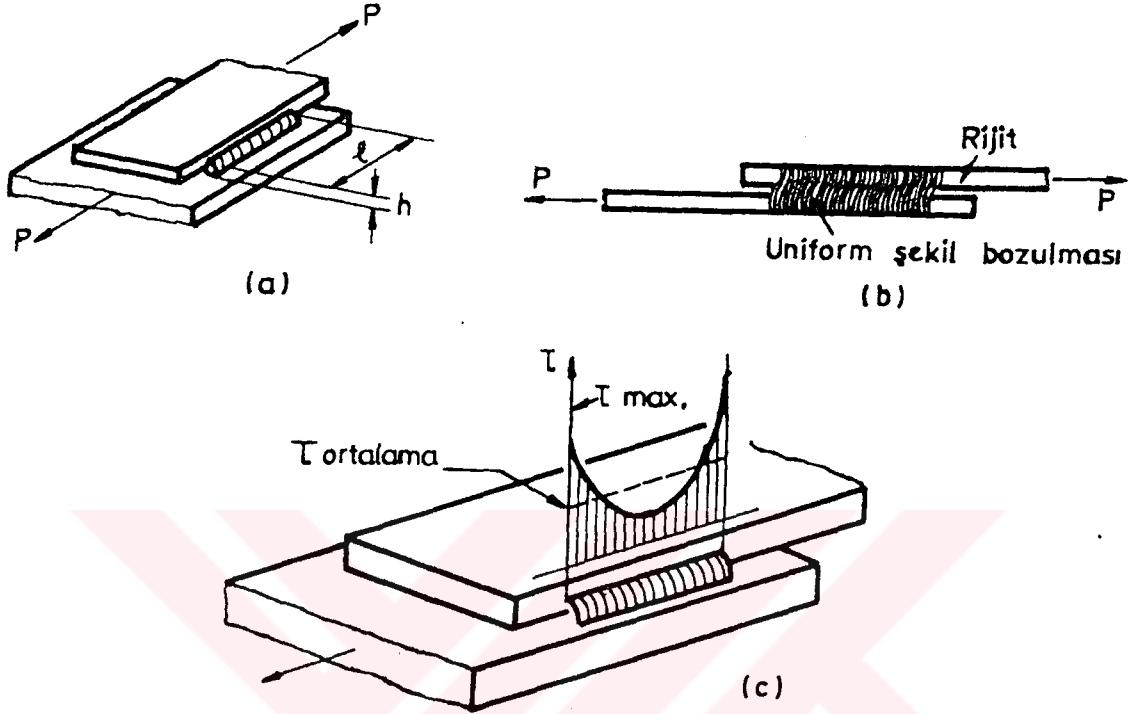
Uniform gerilme varsayımı bazı tartışmaları gerektirir. Levhaların kaynaklara göre kalın olmaları halinde bunların rijit oldukları kabul edilebilir (Şekil 6.16 b). Ama levhaların göze görünür ölçüde şekil değiştirmeleri halinde yükün daha büyük bir oranı, şekil bozulmasının yüksek olduğu kaynak uçlarının yakınına aktarılacak olup Şekil 3.17 c’de görülen makaslama gerilmesi dağılımına neden olacaktır. Aşağıdaki analiz gerilme eğilimlerinin tetkiki için, her ne kadar kaba sayılacak birleşmenin fazlaca yapay bir ele alınış şekli ise de, faydalıdır. Kaynak uçlarında azami makaslama gerilmesi;

$$T_{\max} = T_{\text{ortal.}} + \frac{\sigma \lambda'}{12 \times 0,707 h} \quad \text{ile verilir. Burada } \sigma \text{ ,levhada anma}$$

gerilmesi ve  $\lambda'$  da bir kaynak uzunluk biriminin rijitliği (deneysel olarak saptanmış) olup dolayısıyla boğaz ölçülerine bağlıdır.

$\sigma$  alçak olursa (kalın levhalar), yukardaki ikinci terim küçük olur ve uniform olarak dağılmış makaslama gerilmesi varsayımı akla yakın düşer. Her ne kadar  $T_{\text{ortal.}}$ , kaynak boyu artırılarak azaltılabilirse de ikinci terimdeki “P”in etkisi bir “sivrilik” arzeden gerilme dağılımına götürür. Bununla birlikte kısa yan köşe kaynaklarının bazı olumsuzlukları vardır şöyle ki *levhaların içinde* normal gerilme, kenarlara yakın yerlerde yüksek olacaktır.

Gerilme yoğunlaşmasının kaynak bitimlerinde meydana gelmesi bir talihsizliktir zira bu bölgeler genellikle kaynak ucunun şeklinden ileri gelen küçük ölçüde gerilim yükselticilerini ve dur/ başla kusurlarını içerirler. Bu nedenle kaynağa kısa olarak köşeyi döndürmek ve levhaların uç yüzeylerine uzatmak önerilir.



Şekil 6.16 Köşe Kaynaklarına Paralel Yükler

**Örnek 2: Bindirme birleşme - uç köşe kaynakları (Şekil 6.17)**

Yine eğilmeyi gözardı ederek ve gerilim dağılımını da uniform farzederek, ortalama makaslama gerilmesi

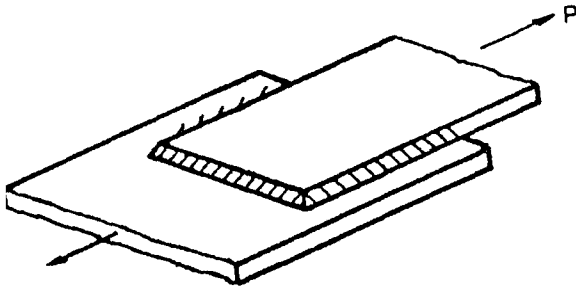
$$T = \frac{P}{2 \times 0,707 hl}$$

Uç köşenin her iki levhanın tüm genişliğini kapsamaması halinde gerilmenin genişlik boyunca değişmesi için bir neden yoktur. Kaynak daha kısa ise gerilme modeli muhtemelen bir kademeli genişlikte levhanınkine benzeyecektir, yani orta bölgede uniform, uçlarda gerilme yüksek olacaktır.

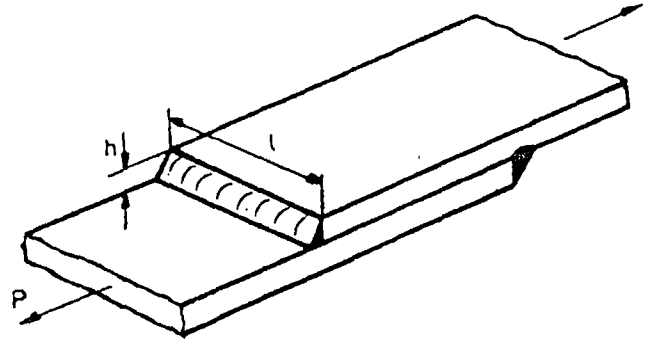
**Örnek 3 : Çepeçevre kaynak (Şekil 6.18)**

Ortalama makaslama gerilmesi

$$T = \frac{P}{\sum 0,707 hl} \text{ ile verilir.}$$



Şekil 6.17  
Bindirme Birleşme Kaynağı

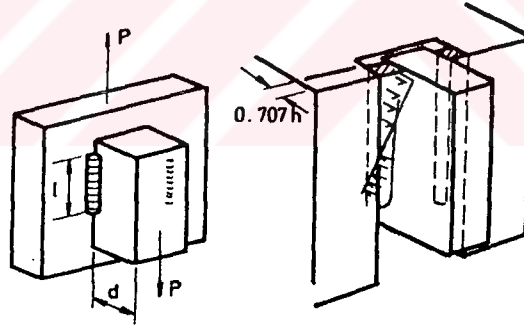


Şekil 6.18  
Çepe çevre Bindirme Kaynağı

Yorulma deneyleri sonuçlarından gerilim yoğunlaşmalarının yine levha köşelerinde olduğu görülür. Her ne kadar yuvarlatılmış köşeler kaynakçıya yardımcı olmakta ise de gerilme yoğunlaşmasını fazlaca azalttığı sanılmamaktadır. Şimdilik yan köşelerden uç köşelere ne oranda yük aktarıldığına dair elde müspet bir bilgi yoksa da Örnek 1'den, kalın uç kaynaklarının gerilme yoğunlaşmalarını azaltmakta yardımcı olabileceği düşünülebilir. Keza, bindirme levhası daha az engellenmişken uç köşelerini önce kaynak etmek önerilir.

**Örnek 4 : Köşe kaynaklarının eğilme ve makaslanması (Şekil 6.19)**

Kaynak düzleminde ciddi bir eğilme momentinin var olması halinde değişik düzlem içi ve düzlem dışı makaslama gerilmeleri ortaya çıkacaktır. (boğaz düzleminin kaynak düzlemine dik olduğu varsayımıyla)



Şekil 6.19 Köşe Kaynaklarının Eğilmesi ve Makaslanması

Eğilmeden doğan azami düzlem dışı makaslama kaynak uçlarında belirir:

$$T_{eg} = Pd \times \frac{y}{I} \text{ olup burada } I, \text{ kaynak grubunun ikinci alan momenti olup,}$$

$$T_{eg} = Pd \frac{12}{2 \times 0,707 h^3} \frac{l}{2} \text{ dir. (1)}$$

(Bu (1) denkleminin, boğaz düzleminin, birleşme düzlemi içinde  $45^\circ$  döndüğü farzedilecek olursa, eğilmeden doğan normal gerilme için de aynı değeri vereceği kaydedilecektir.)

Öbür yandan düzlem içi makaslama gerilmesi dağılımı, eğilme tarafından bozulmuş olup bu dağılım merkezde yoğunlaşmış olup kaynak uçlarında sıfıra düşer. Klasik mukavemet formüllerinden

$$T_{max} = \frac{P A y_{max}}{b l}; \text{ burada } y, A \text{ alanının merkezinin nötr eksene mesafesi; } b, \text{ ilgili}$$

düzeyde genişliktir. Buna göre;

$$T_{max} = \frac{P \times 2 \times 0,707 h \times (1/2) \times (1/4)}{2 \times 0,707 h \times (2/12) \times 0,707 h^3}$$

$$T_{max} = \frac{3P}{4 \times 0,707 h l} \quad (2)$$

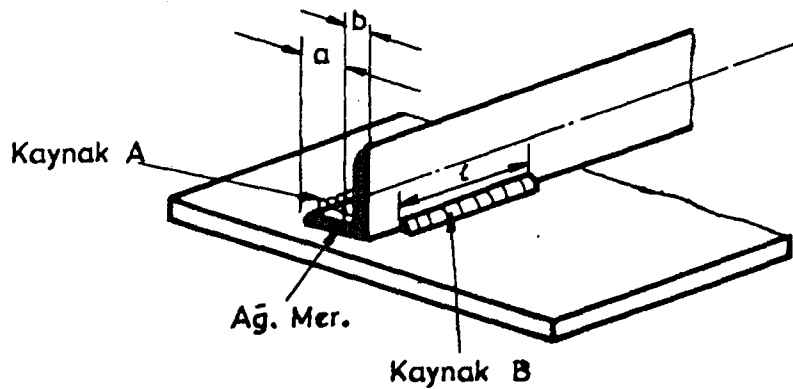
Bu işlemde bileşkenlerin kaynak düzleminde yeterince uzağa uzandığı, (2) denkleminin gerektirdiği tamamlayıcı makaslamların bu yönde tutulabileceği varsayılmıştır.

Nötr eksenden herhangi bir y mesafesinde düzlem içi ve dışı makaslama gerilmelerinin aynı kesit alanına etki yaptıkları ve dolayısıyla vektöryel olarak eklenebilecekleri açıkça varsayıldığına göre

$$T_{toplam} = (T_{b2} + T_{s2})^{1/2}$$

Eğilme gerilmesinin bir normal gerilme gibi ele alınması halinde, gerilmelerin birbirlerine eklenmesinin sadece Mohr dairesince yapılabileceği kaydedilecektir. Bununla birlikte sonuçtaki sayısal fark, benzeri hususlardaki büyük hatalara göre önemsiz kalmaktadır.

**Örnek 5:** Simetrik olmayan kesitlerin bağlantısı (Şekil 6.20)



Şekil 6.20 Simetrik Olmayan Kesitlerin Bağlantısı

Kafes konstrüksiyonlar (kirişler) çoğu kez, bileşenler arasındaki bağlantılar pimle yapılmış gibi analiz edilir. Bu varsayım sistemi statik olarak belirli kılıp böylece bir denge sistemi olarak mütalaa edilme olanağını sağlar. Kaynaklı birleşmeler kullanıldığında, bağlantı, birleşme dönmeyecek ve bağlı komponent eksenal olarak yüklenildiğinde eğilmeyecek şekilde, böylece de hayali statik olarak belirli analizi koruyacak gibi düzenlenecektir.

Bu itibarla aşağıdaki hususlar yerine getirilecektir:

1. Her kaynaklı bağlantı noktasının yer değiştirmesi (şekil bozulması değil), aynı olacaktır.
2. P yükü, kesitin merkezine uygulanacaktır.

Dengeden,

$$P = P_A + P_B$$

Bu da,

$$P_A = \frac{P_b}{a + b}; P_B = \frac{P_a}{a + b}$$

$P_A a = P_B b$  ye götürür.

Bu itibarla A kaynağında makaslama gerilmesi,

$$T_A = \frac{P_b}{a + b} \times \frac{1}{0,707 h_A l_A}$$

B kaynağındaki de,

$$T_B = \frac{P_a}{a + b} \times \frac{1}{0,707 h_B l_B} \text{ olur.}$$

Buradan makaslama yer değiştirmesi

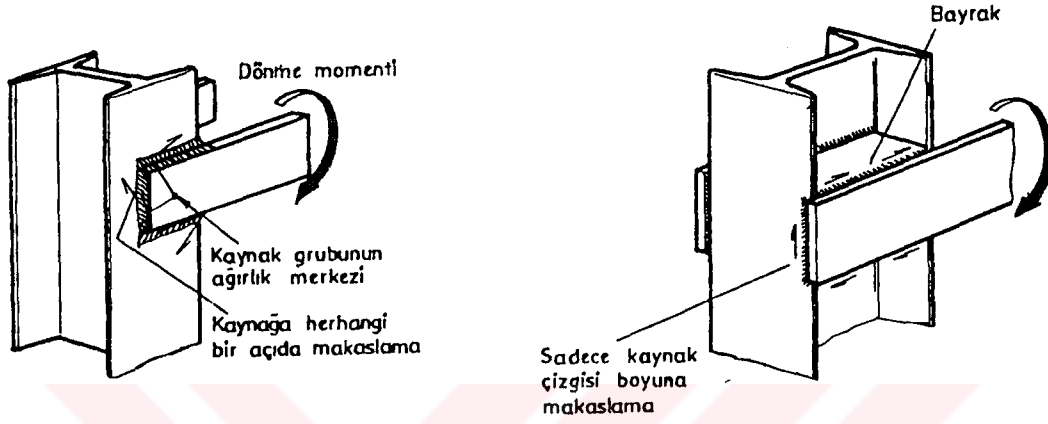
$$\delta_A = \frac{P_b}{a + b} \times \frac{1}{0,707 h_A l_A} \times \frac{1}{G} \times 0,707 h_A \text{ ve}$$

$$\delta_B = \frac{P_a}{a + b} \times \frac{1}{0,707 h_B l_B} \times \frac{1}{G} \times 0,707 h_B \text{ ve 1.koşuldan kaynak uzunlukları}$$

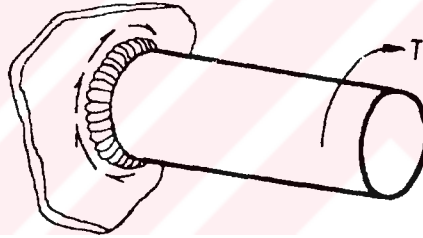
$$\frac{a}{b} = \frac{l_B}{l_A} \text{ oranında olacaktır.}$$

### 6.2.1.3. Burulmaya Çalışan Kaynaklar:

Burulmaya tabi kaynak grupları incelendiğinde tamamen ayrı iki varsayım yapılabilir. (I) Bir Kaynak, burulmadan ileri gelen herhangi yönde makaslama gerilmelerini karşılayacaktır, veya (II) sadece kaynak çizgisi boyunca makaslama karşı koyacaktır. (I) varsayımı, birleştirilecek olan bileşenlerin göreceli olarak rijit olduklarını söylemeye eşittir. Bu iki durum arasındaki fark Şekil 6.21’de gösterilmiştir. Bu iki tasavvur, bir dairesel kaynak bağlantısı (Şekil 6.22) halinde aynı sonuca götürecektir.



Şekil 6.21. Makaslama Gerilmeleri

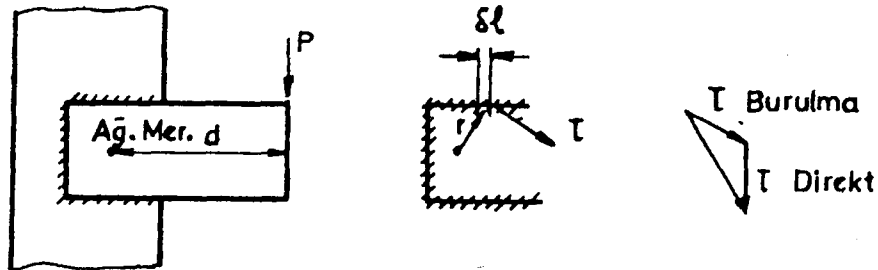


Şekil 6.22 Dairesel Bağlantı Kaynağı

Örnek 6: (I) varsayımına göre her bir kaynak elementi üzerindeki toplam kuvvet, bir dik makaslama gerilmesi veren bir dik kuvvet

$$T_{\text{direkt}} = \frac{P}{\sum 0,707 hl}$$

ve bir de burulma makaslama gerilmesinden ibarettir..



Şekil 6.23. Dik Makaslama Gerilmesi

Her noktadaki burulma gerilmesi aşağıdaki yaklaşık şekilde işleme tabi tutulur. Her element üzerindeki kuvvetin, kaynak grubunun merkezinden mesafeye orantılı olduğu varsayılıyor. (Şekil bozulması muhtemelen  $r$  mesafesiyle orantılı olduğundan bu, akla yakın görünmektedir.)

Bir küçük elementin dönme momenti mukavemeti,

$$\begin{aligned}\delta I &= T r d A \\ &= \frac{T r^2}{r} d A \\ &= \frac{T_{max}}{T_{max}} r^2 d A\end{aligned}$$

Bu itibarla kaynak grubunun toplam dönme momenti mukavemeti,

$$\begin{aligned}&= \frac{T_{max}}{T_{max}} x \int_{\text{kaynak uzunlu}} r^2 d A \\ &= \frac{T_{max}}{T_{max}} x J\end{aligned}$$

Burada  $J$ , alanın ikinci polar atalet momentidir. Bu arada, paralel ve dikey eksenler teoremi dolayısıyla,

$$J = \text{Alan} \times \sum [r^2 + (l^2/12)]$$

Böylece,

$$T_{max} = \frac{P d r_{max}}{\sum 0,707 h l [r^2 + (l^2/12)]} \text{ olup}$$

$r$  yarıçapına dikey olarak etki yapar.

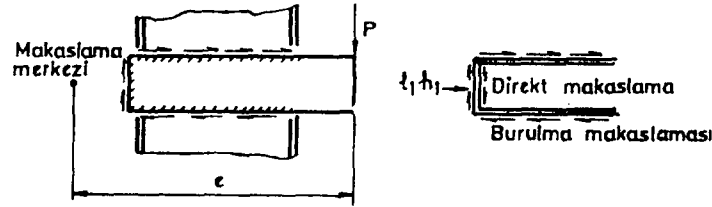
Burulmadan ileri gelen gerilme doğruca makaslama ileri gelenle vektöryel olarak birleşmiş olup sonuç, müsaade edilen gerilmelerle kıyaslanır.

**Örnek 7:** (II) varsayımına göre dönme momenti, dik  $P$  kuvveti ömakaslama merkezinin mesafesiyle çarpılarak hesaplanır. Dönme momentinden ileri gelen yüksek makaslama mukavemeti (Şekil 6.23) dan bulunur.

$$T_{max} = \frac{3 P e \times 0,707 h_{max}}{\sum [l (0,707 h)^3]} \text{ olup}$$

Doğruca makaslama sadece dik kaynak grubunda meydana gelebilir ve

$$T_{max} = \frac{P}{0,707 h_1 l_1}$$



Şekil 6.24 Dönme Momentinden İleri gelen Makaslama Mukavemeti

#### 6.2.2.Amerikan Uygulamaları

Uzun bir süre köşe kaynaklarında müsaade edilebilir makaslama gerilmesi için tek bir değer mevcut olmuştur. E60 (42 Kg/mm<sup>2</sup>) kaynak metali için 13.600 psi (9,6 Kg/mm<sup>2</sup>). 1961'de E70 (49 Kg/mm<sup>2</sup>). kaynak metali için 15.800 psi (11 Kg/mm<sup>2</sup>) değeri eklenmiş ve bunların her ikisi kısmi nüfuziyetli ağız kaynaklarını da kapsamışlardır. Deneyimli mühendisler bunların aşırı muhafazakar değerler olduğunun farkına varmışlardır. şöyle ki ana metal için müsaade edilen makaslama mukavemeti, AISC (American Institute of Steel Construction) 1.5.12'de tanımlandığı üzere

$$T = 0,40\sigma_y \text{ olup burada } \sigma_y,$$

malzemenin çekmede akma mukavemetidir.

Bu formül dahi tutucu bulunmuş. Yapı levhasının makaslama mukavemeti, kopma mukavemetinin 2/3'ü ile 3/4 arasında değerlere ulaşmış iken yukarıdaki müsaade edilebilir makaslama, müsaade edilen çekme gerilmesinin sadece 2/3'ü ( $2/3 \times 0,60\sigma_y = 0,40 \sigma_y$ ) olmaktadır. Bundan başka bir makaslama gerilmesi değeri öncelikle kirişlerin orta dikmeleri için önerilmiş, böylece de makaslama yüklemesinin hasil ettiği diyagonal basma kuvvetleri tarafından dikmenin burkulmasının önlenmesi amaçlanmıştır.

Bu itibarla levha formülünün kullanılması halinde kaynak metali için daha gerçekçi bir değer elde edilmesi mantıklıdır..

Bu değerlendirmeler ışığında AISC ve AWS, bir köşe veya kısmi nüfuziyetli ağız kaynağında, kaynak metali için müsaade edilen makaslama değerini saptamışlardır.

$$r = 0,30 \times \text{elektrodun belirtilmiş minimum kopma gerilmesi,}$$

Bu değerin geçerliliğide, her iki kuruluşun köşe kaynak deneyleriyle ispatlanmıştır. Bu deneylerin sonuçları, müsaade edilebilir makaslama gerilmelerinin emniyetiyle artırılabilceğini son olarak göstermiş olup aşağıdaki tabloda verilmiş yeni müsaade edilen gerilmeler AISC ve AWS Structural Welding Code, Section 8, Buildings ve Section 10, Tubular Structures, Section 9 tarafından kabul edilmiştir. Köprülerde bu değerlerin %10 aşağısı kullanılacaktır.

**TABLO 6.1.Çeşitli Boyutta Köşe Kaynakları İçin Müsaade Edilen Yük.**

| Kaynak metalin mukavemet düzeyi<br>(EXX)                                                                       |                                                                                               |        |        |        |        |        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                                                                                                                | 60                                                                                            | 70     | 80     | 90     | 100    | 110    |
| Köşe kaynağı veya kısmi nüfuziyetli ağız kaynağının<br>boğazında müsaade edilen makaslama gerilmesi (1000 psi) |                                                                                               |        |        |        |        |        |
| T=                                                                                                             | 18.0                                                                                          | 21.0   | 24.0   | 27.0   | 30.0   | 33.0   |
| Köşe kaynağında müsaade edilen birim kuvvet (1000 psi /lineer<br>direnc)                                       |                                                                                               |        |        |        |        |        |
| f=                                                                                                             | 12.73ω                                                                                        | 14.85ω | 16.97ω | 19.09ω | 21.21ω | 23.33ω |
| Ayak Boyu<br>(inç)ω                                                                                            | Değişik köşe kaynağı boyutları için müsaade edilen birim kuvvet<br>(1000 Lbs. /Lineer Direnc) |        |        |        |        |        |
| 1                                                                                                              | 12.73                                                                                         | 14.85  | 16.97  | 19.09  | 21.21  | 23.33  |
| 7/8                                                                                                            | 11.14                                                                                         | 12.99  | 14.85  | 16.70  | 18.57  | 20.41  |
| 3/4                                                                                                            | 9.55                                                                                          | 11.14  | 12.73  | 14.32  | 15.92  | 17.50  |
| 5/8                                                                                                            | 7.96                                                                                          | 9.28   | 10.61  | 11.93  | 13.27  | 14.58  |
| 1/2                                                                                                            | 6.37                                                                                          | 7.42   | 8.48   | 9.54   | 10.61  | 11.67  |
| 7/16                                                                                                           | 5.57                                                                                          | 6.50   | 7.42   | 8.35   | 9.28   | 10.21  |
| 3/8                                                                                                            | 4.77                                                                                          | 5.57   | 6.36   | 7.16   | 7.95   | 8.75   |
| 5/16                                                                                                           | 3.98                                                                                          | 4.64   | 5.30   | 5.97   | 6.63   | 7.29   |
| 1/4                                                                                                            | 3.18                                                                                          | 3.71   | 4.24   | 4.77   | 5.30   | 5.83   |
| 3/16                                                                                                           | 2.39                                                                                          | 2.78   | 3.18   | 3.58   | 3.98   | 4.38   |
| 1/8                                                                                                            | 1.59                                                                                          | 1.86   | 2.12   | 2.39   | 2.65   | 2.92   |
| 1/16                                                                                                           | 0.795                                                                                         | 0.930  | 1.06   | 1.19   | 1.33   | 1.46   |

#### 6.2.2.1.Müsaade Edilen Makaslama ve Birim Kuvvetler

Yukarıdaki tablo çeşitli kaynak metalin mukavemet düzeyleri ve en yaygın köşe kaynak boyutları için müsaade edilen makaslama değerlerini vermektedir. Bu değerler, etkin te boğazın 0,707 x ayak boyu (ω)'na eşit olması hali içindir. Bu tabloyla, muayyen bir elektrod tipi ile yapılmış bir kaynak boyutu için lineer inç başına müsaade edilebilen (f) birim kuvvet hesaplanabilir. Örneğin bir E70 elektroduyla yapılmış bir 1/2'in köşe kaynağı için inç başına (f) müsaade edilen birim kuvvet,

$$f = 0,707\omega \times T$$

$$f = 0,707\omega \times (0,30) (EXX)$$

$$= 0,707 \times 1/2 \text{ in.} \times 0,30 \times 70000 \text{ psi}$$

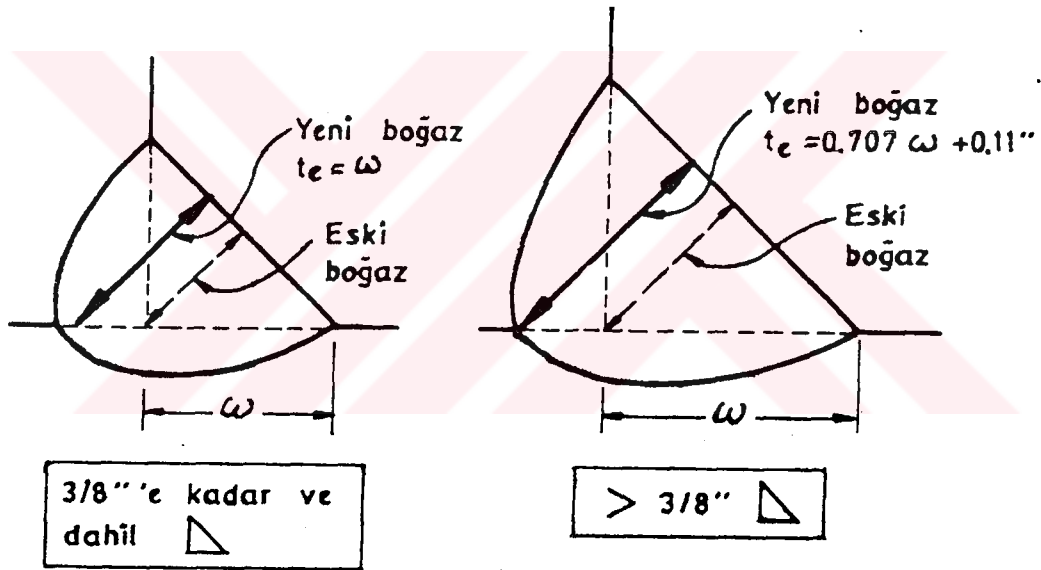
$$= 7,420 \text{ psi/lineer in.}$$

Yukarıdaki tablonun, yaygın olarak kullanılan E70 kaynak metali için müsaade edilen ( $t$ ) makaslama gerilmesi olarak 21.000 psi (0,30 x 70)'yi verdiğine dikkat edilecektir şöyle ki bunda, önceleri müsaade edilen 15800 psi'ye göre %33 kadar bir artış vardır ki bu da, birleşmede aynı müsaade edilen gerilmeyi koruyarak kaynak boyutunda %25 bir azalmaya olanak sağlamaktadır.

#### 6.2.2.2. Tozaltı Nüfuziyetinde Tanınan Fazlalık

Bir AISC maddesi (1.14.7), tozaltı yöntemiyle yapılmış bir köşe kaynağının kökünün ötesinde nüfuziyet için sınırlı bir fazlalık tanımaktadır. Nüfuziyet kaynağın etkin boğaz kalınlığını arttırdığından (Şekil 6.25), madde, kaynak mukavemeti hesabında bu değerde bir artışı öngörüyor. 3/8 in. ve daha küçük köşe kaynakları için, etkin ( $t_e$ ) boğazı bu kez kaynağın  $\omega$  ayak boyuna eşit olmaktadır.

$\omega \leq 3/8$  in. için  $t_e = \omega$



Şekil 6.25. Tozaltı

3/8 in.'ten büyük tozaltı köşe kaynağı için etkin kaynak boğazı 0,707  $\omega$ 'ya 0,11 ekleyerek elde edilir.

$\omega > 3/8$  in. için  $t_e = 0,707 \omega + 0,11$  in.

Bu değişikliğin maliyet azalmasıdaki rolü büyüktür. 1/8 in.'e kadar ve 3/8 in. dahil köşeler için etkin kaynak boğazı %41 artmakla birlikte müsaade edilen makaslama gerilmesi de % 33 artmaktadır.

### 6.2.2.3.Köşe Kaynaklarının Minimum Boyutları

Çeşitli malzeme kalınlıkları için köşe kaynaklarının minimum boyutları aşağıdaki tabloda gösterilmiştir. AISC spesifikasyonları ile AWS Structural Welding Code'de bu tablo, ¼ in.'den az kalınlıkta malzemeyle 1/8 in. köşeleri de içine lacak şekilde genişletilmiştir. Farklı kalınlıkta malzemelerin birbirlerine kaynak edilmesinde, minimum köşe kaynağı boyutu, daha kalın olan malzeme tarafından saptanırsa da bu boyut, hesaplanan gerilme aksini gerektirmedikçe, daha ince malzemenin kalınlığını aşmayacaktır.

**TABLO 6.2. :AISC 1.17.5'e göre köşe kaynağı minimum boyutu (ω)**

| Birleşen en kalın parçanın kalınlığı<br>(inç) |              | Min. Köşe k. boyutu<br>(inç) |
|-----------------------------------------------|--------------|------------------------------|
| 1/4' e kadar (dahil)                          |              | 1/8                          |
| 1/4 >                                         | 1/2 ila      | 3/16                         |
| 1/2.>                                         | 3/4.ila      | 1/4.                         |
| 3/4.>                                         | 1- 1/2 ila   | 5/16                         |
| 1-1/2 >                                       | 2 - 1/4. ila | 3/8                          |
| 2,1/4 >                                       | 6 ila        | 1/2.                         |
| 6>                                            |              | 5/8                          |

### 6.2.2.4.Kaynak Metali İçin Müsaade Edilen Gerilmeler

Yandaki tablo AWS Structural Welding Code ile kaynak metali için AISC'nin müsaade edilen gerilmelerini özetlemektedir.

**TABLO 6.3. KAYNAKTA MÜSAADE EDİLEN GERİLME**

| KAYNAK VE GERİLME TİPİ                                          | MÜSAADE EDİLEN GERİLME                                                                                                             | GEREKLİ MUKAVEMET DÜZEYİ                                                                                       |
|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| TAM NÜFUZİYETLİ KAYNAK AĞIZLI KAYNAKLAR                         |                                                                                                                                    |                                                                                                                |
| Etkin boğaza dikey çekme                                        | Ana metal ile aynı                                                                                                                 | Eşit mukavemette kaynak metalini kullanılacak.                                                                 |
| Etkin boğaza dikey basma                                        | Ana metal ile aynı                                                                                                                 | Eşit mukavemette kaynak metalinki ile aynı veya daha düşük mukavemet düzeyinde kaynak metalini kullanılabilir. |
| Kaynak eksenine paralel çekme veya basma                        | Ana metal ile aynı                                                                                                                 |                                                                                                                |
| Etkin boğazda makaslama                                         | 0,30 x kaynak metalinin nominal çekme mukavemeti (ana metalde gerilmenin 0,40 x ana metal akma gerilmesini aşmaması hali dışında). |                                                                                                                |
| KİSMİ NÜFUZİYETLİ KAYNAK AĞIZLI KAYNAKLAR                       |                                                                                                                                    |                                                                                                                |
| Etkin boğaza dikey basma                                        | Ana metal ile aynı                                                                                                                 | Eşit mukavemette kaynak metalinki ile aynı veya daha düşük mukavemet düzeyinde kaynak metalini kullanılabilir. |
| Kaynak eksenine paralel çekme veya basma                        | Ana metal ile aynı                                                                                                                 |                                                                                                                |
| Kaynak eksenine paralel makaslama                               | 0,30 x kaynak metalinin nominal çekme mukavemeti (ana metalde gerilmenin 0,40 x ana metal akma gerilmesini aşmaması hali dışında). |                                                                                                                |
| Etkin boğaza dikey çekme                                        | 0,30 x kaynak metalinin nominal çekme mukavemeti (ana metalde gerilmenin 0,60 x ana metal akma gerilmesini aşmaması hali dışında). |                                                                                                                |
| KÖŞE KAYNAKLARI                                                 |                                                                                                                                    |                                                                                                                |
| Boğaz üzerinde gerilme, yükün uygulanma yönü dikkate alınmıyor. | 0,30 x kaynak metalinin nominal çekme mukavemeti (ana metalde gerilmenin 0,60 x ana metal akma gerilmesini aşmaması hali dışında). | Eşit mukavemette kaynak metalinki ile aynı veya daha düşük mukavemet düzeyinde kaynak metalini kullanılabilir. |
| Kaynak eksenine paralel çekme veya basma                        | Ana metal ile aynı                                                                                                                 |                                                                                                                |

### 6.3. MUKAVEMET SORUNLARI

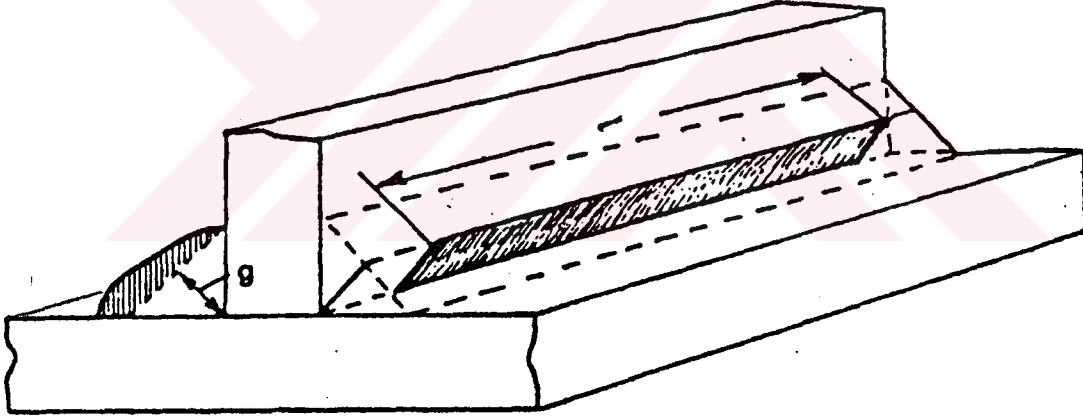
#### 6.3.1. Dış Köşe Birleştirmelerinin Mukavemeti

Kaynaklı birleştirmelerin mukavemet sorunları büyük önem arzeder. Bu bölümde önceki belirtilenlere bazı ilaveler yapılacaktır.

Bir dış köşe kaynağı dikişinin mukavemeti sağlayan kesiti, başka deyimle boğaz kesiti, boğaz yüksekliğinin dikişin faydalı uzunluğuyla çarpımından meydana gelen dikdörtgen alandır.

Boğaz yüksekliği ya da basitçe “boğaz” dan, dikişin enine kesitinin içine çizilen ikizkenar üçgenin yüksekliği anlaşılır.

Bu itibarla mümkün olduğu kadar ikizkenar dikişler meydana getirmede fayda vardır. İkizkenar dikiş normunun fazlalığı hesaba girmez.



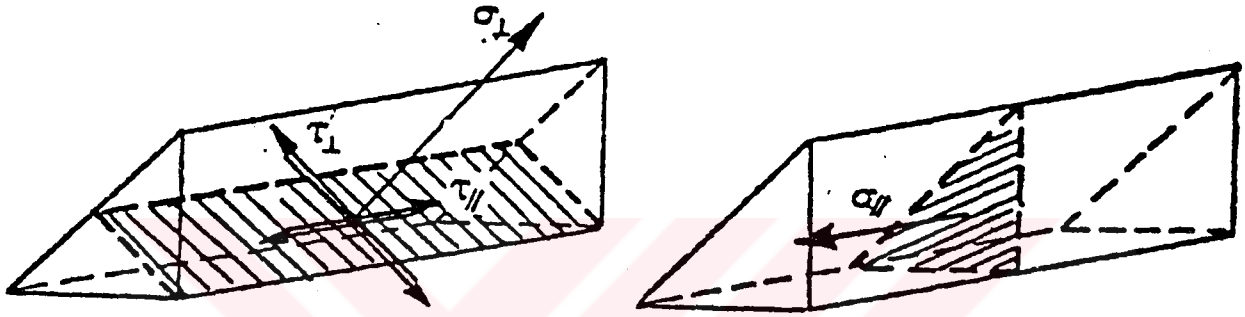
Şekil 6.26.

**Açı dikişlerinin boğaz yüksekliği, faydalı uzunluğu ve mukavemeti sağlayan kesiti**

Bir dikişin “I” faydalı uzunluğu, fiili uzunluktan “g” boğaz yüksekliğinin iki katının çıkarılmasından sonra geri kalanı olup bu çıkarmadan amaç, çoğu kez kusurlu olan uçtaki yığılmaları, mukavemeti sağlayan kesitin dışında tutmaktır.

Sonuç olarak mukavemeti sağlayan kesit, kaynak edilmiş iki düzlemlî şeklin açıortayı düzleminde bulunan bir dikdörtgen olarak belirir. (Şekil 6.26)

Dış kuvvet ve momentlerin sonucu olarak boğaz kesiti üzerine etki yapabilecek olan zorlamalar şunlardır. (Şekil 6.27)



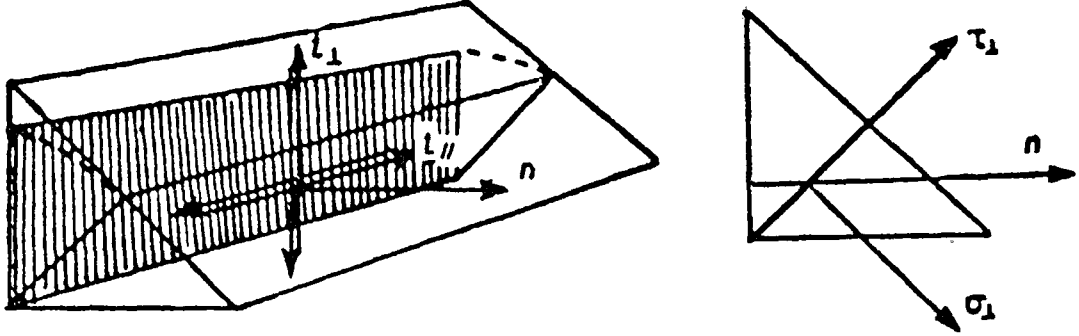
Şekil 6.27. Dikişin boğaz kesiti ve dikey kesiti üzerinde birim gerilmeler

- Bir  $\sigma_d$  dikey gerilme;
- Bir  $T_p$ , dikiş eksenine paralel makaslama gerilmesi;
- Bir  $T_d$ , dikiş eksenine dikey makaslama gerilmesi;
- Ve nihayet bir  $\sigma_p$ , dikey kesitine dik, dikiş ekseninin kendisine paralel gerilme mevcut olabilir.

Dış kuvvetleri, basitleştirme amacıyla birim zorlamalara irca etmek üzere boğaz kesiti, dikişin yanlarından biri üzerine  $45^\circ$  yatırılabilir. Bu basitleştirme, ancak yatırılmış kesit üzerinde zorlamalar daha kolayca hesaplandıktan sonra bu kesiti, gerilmelerin intikalini vektoryel olarak yaparak, gerçek konumuna geri getirmek kaydıyla mümkün olabilir.

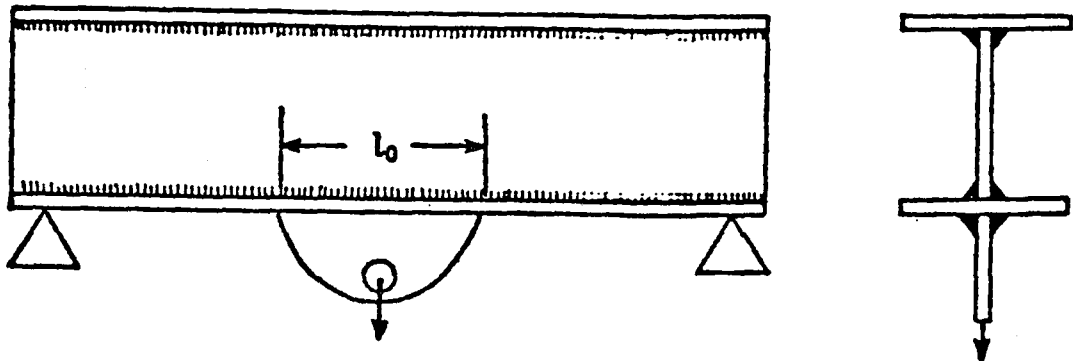
Yatırılmış kesit üzerinde birim gerilmeler genellikle  $n$ ,  $t_p$ ,  $t_d$  simgeleriyle gösterilir. (Şekil 6.28)

Yatırılmış kesitin gerçek konumuna geri getirilmesi  $t_p$ 'in değerini değiştirmez.; buna karşılık  $n$ , bir  $\sigma_d$  ile bir  $T_d$  gerilmelerine ayrışır. Vereceğimiz örnekler, teklif edilen basit kaideyi açıklamaya yarayacaktır. En tam ve en karmaşık zorlama hali, üzerine aynı zamanda mümkün bütün  $\sigma_d$ ,  $\sigma_p$ ,  $T_d$ ,  $T_p$  gerilmelerin etki yaptıkları bir köşe dikişininkidir.



**Şekil 6.28. Yatırılmış kesit üzerinde birim gerilmeler ve gerçek konumuna geri geldikten sonra n'nin ayrışımı**

Bu türden bir örnek, Şekil 6.29'da görülür ki, bu durumu daha önce kuvvetlerin aktarımı açısından incelenmişti.



**Şekil 6.29.  $l_0$  merkezi bölgede, orta dikme ile kanat arasındaki aç dikişleri, mümkün dört birim gerilmeyi taşırlar.**

Bahis konusu iki dikişten her biri, nötr eksen altında bulunan kiriş bölümüne ait olması itibarıyla, bir  $\sigma_p$  uzunlamasına çekmeye maruzdur.

Ayrıca yükün kanadı orta dikmeden koparmaya çalıştığını kabul edeceğiz ve makul olarak bu eğilime,  $l_0$  mesafesine eşit uzunlukta bir dikiş bölümünün karşı koyduğunu farzedebiliriz. Bu bölümde bir  $\sigma_d$  ile bir  $T_d$  gerilmeleri bulunacaktır. Keza makaslama zorlamasının etkisiyle, boğaz kesitinde bir  $T_p$ , bulunacaktır.

Bahis konusu dikişler üzerinde mukavemet nasıl tahkik edilecek?

Zorlamaların ayrı ayrı çalıştıkları hallerden hareket ederek sırasıyla gidelim.

a) Dikişin tek bir  $\sigma$  gerilmesine maruz olduğu halde deney, bunun birim mukavemetinin, ana metalin çekmeye mukavemetine eşit olduğunu göstermiştir. Bu itibarla  $\sigma_d$  veya  $\sigma_p$  in, ana metal için müsaade edilen  $\sigma_{zul}$  gerilmesinden küçük olduğunu kontrol etmek yeterlidir.

b) Dikişin sadece Bir  $T$  gerilmesine maruz olduğu halde deney, makaslama mukavemetinin ana metalin kopma mukavemetinin %75'ine eşit olduğunu göstermiştir.

Bu itibarla  $T_d$  ve  $T_p$  'in  $0,75\sigma_{zul}$  den küçük olduğunu kontrol etmek yeterlidir.

c)  $T_d$  ve  $T_p$  'in dikiş üzerine beraberce etki yaptıkları halde,

$T = \sqrt{T_d^2 + T_p^2}$  vektöryel bileşkenini  $0,75 \sigma_{zul}$  den küçük olduğunu tahkik etmek yeterlidir.

d)  $\sigma_d$  ve  $\sigma_p$  in dikiş üzerine beraberce etki yaptıkları halde, eşdeğer tek eksenli kritik  $\sigma_c$  gerilmesi.

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_d^2 + \sigma_p^2 - \sigma_d \cdot \sigma_p}$$

formülüyle verilir. İşte bu  $\sigma_c$ ,  $\sigma_{zul}$  ile karşılanacaktır.

e) Bütün  $\sigma$  ve  $T$  gerilmelerin dikiş üzerine aynı zamanda etki yaptıkları en genel halde eşdeğer tek eksenli kritik gerilme aşağıdaki formülle bulunur.

$$T_p = \sqrt{\sigma_d^2 + \sigma_p^2 - \sigma_d \cdot \sigma_p + 1,8 (T_d^2 + T_p^2)} \quad (1)$$

Bu ifadenin, genel durumla ilişkili olması itibariyle, özel durumla ilişkili olarak, daha önce sözünü ettiklerimizde kapsayacağı muhakkaktır. Gerçekten  $T$  gerilmelerinin bulunmaması halinde, aynen d) haline gelmiş oluyoruz. Bu kez  $T$  gerilmelerinin eksik olması durumunda;

$$\sigma_c = \sqrt{1,8 (T_d^2 + T_p^2)} = \frac{1}{0,75} \sqrt{(T_d^2 + T_p^2)} \quad \text{olur ki bu da c) halidir.}$$

Keza  $\sigma_c$  eşdeğeri, malzeme mukavemeti üzerinde çeşitli varsayımlardan (Saint-Venant, Mohr, Von Mises.....) hareket ederek kuramsal mülahazalardan da elde edilebilir.

Von Mises kuramı (en büyük distorsiyon potansiyel elastik enerji) kabul edilecek olursa;

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_d^2 + \sigma_p^2 - \sigma_d \cdot \sigma_p + 3 (T_d^2 + T_p^2)} \quad (2)$$

elde edilir.

(1) ve (2) denklemleri kıyaslanırsa, bunların sadece  $(T_d^2 + T_p^2)$  nin çarpanı olan  $\beta$  katsayısında fark ettikleri görülür.

Birinci halde bu katsayı 1,8 ikincisinde 3'tür.

Von Mises teorik varsayımı, deneysel bileşim kaidesine göre daha kötümser olup dikişler için, deneysel olarak saptanmış olandan daha küçük bir makaslama mukavemeti

$$\text{öngörüyor. } \left( \frac{1}{\sqrt{1,8}} = 0,75 \right) \text{ e karşılık } \left( \frac{1}{\sqrt{3}} = 0,57 \right).$$

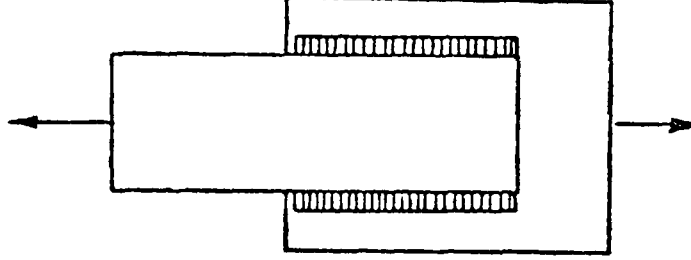
Bunlardan hangisinin seçileceği tartışması henüz sonuna gelmemiş olmakla birlikte Von Mises'in formülü lehine bir tercih ağır basmaktadır. Şöyle ki, Von Mises, ihtiyadın yanında yer almaktadır.

Bu formulların birinden  $\sigma_c$  eşdeğer tek eksenli gerilmenin değeri hesaplandıktan sonra

$$\sigma_c \leq k \sigma_{zul}$$

olduğu tahkik edilecektir; burada  $k$ , birleşme yerinde muhtemel kusurları hesaba katan bir etkinlik katsayısıdır. Bunun değeri kaynağın yapılmasında gösterilen özen ve kontrollerin az çok geniş uygulamasına bağlıdır. Şimdi dış aç dikişleri üzerinde birkaç statik hesap örneği verelim:

a) Bir çekmeye maruz uzunlamasına dikişli bindirmeli birleşme (Şekil 6.30)



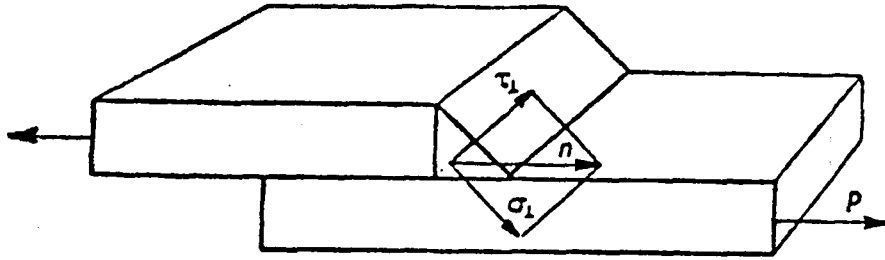
Şekil 6.30

Bu halde sadece bir  $T_p$  vardır ve boğaz kesitini yatırmaya gerek yoktur. Basitleştirmek için genellikle makaslama zorlamasının mukavemeti sağlayan kesite uniform şekilde dağıtılmış olduğu kabul edilir.

$T_p$  gerilmesi hesaplandıktan sonra, mukavemetin kontrolü hemen mümkün olur;

$$\sigma_c = \sqrt{\beta T^2} \leq k_{zul}$$

b) Alın dikişli, çekmeye maruz bindirme birleşmesi (Şekil 6.31)



Şekil 6.31.

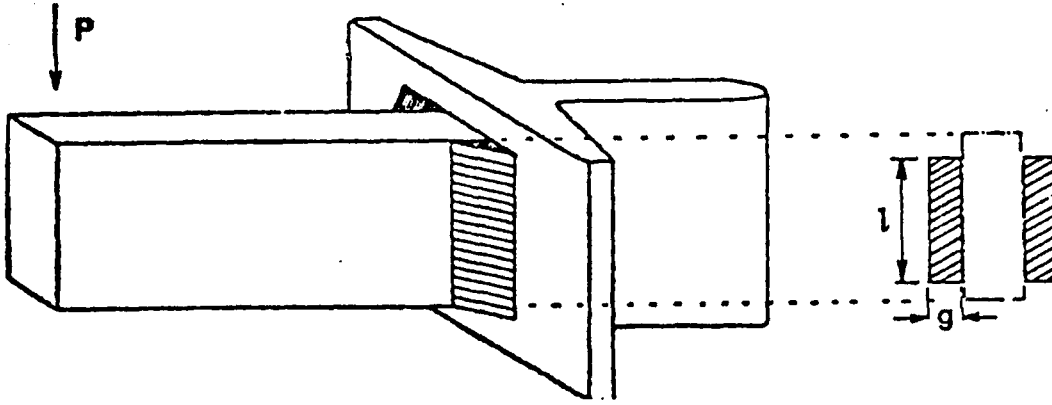
Boğaz kesitini dış zorlamaya dikey düzlem üzerine yatırıp  $n = P/gl$ 'i hesap etmek uygun olur.

Bundan sonra boğaz kesiti gerçek konumuna geri getirilip vektöryel olarak

$$\sigma_d = n \sin 45^\circ = n \sqrt{2/2} \text{ ve } T_d = n \cos 45^\circ = n \sqrt{2/2} \text{ çıkarılır.}$$

Mukavemetin kontrolü için  $\sigma_c = \sqrt{\sigma_d^2 \beta T_d^2} = k_{zul}$  olacaktır.

c) Uzunlamasına dikişli, bir p yüküne maruz konsol kiriş (Şekil 6.32)



Şekil 6.32. Uzunlamasına dikişli konsol kiriş ve mukavemeti sağlayan kesit

(2 x gl) boğaz kesitlerini ankastre düzlemine yatırmak uygun olur. Eğme momenti, yatırılmış kesit üzerine bir  $n = PL/W$  gerilmesi meydana getirir. (P, yük; L, kirişin uzunluğu ve  $W = 2 gl^2/6$ , yatırılmış mukavemeti sağlayan kesiti tanımlayan iki dikdörtgenin mukavemet momenti).

P kuvveti yine ankastrekesiti üzerinde bir  $t_p = P/2 lg$  gerilmesini dağıtır.

Boğaz kesiti gerçek konumuna geri getirildiğinde n, bir  $\sigma_d = n \sqrt{2}/2$  ve bir de yine  $n \sqrt{2}/2$ 'ye eşit  $T_d$ 'ye ayrışır.

$t_p$  yatırmadan etkilenmez ve  $P/2 lg$  değerini muhafaza ederek  $T_p$  olur.

**Mukavemetin kontrolü için**

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_d^2 \beta (T_d^2 + T_p^2)} \leq k_{\sigma} \sigma_{zul} \text{ olmalıdır.}$$

d) Bir duvarayağına hem kanattan hem de orta dikme üzerinde aç dikişlerle kaynak edilmiş ve bir uç yüküne maruz çift T kirişi (Şekil 6.33)

Toplam mukavemeti sağlayan kesit çeşitli boğaz kesitlerinin müşterek ankestra düzlemi üzerine yatırılmasıyla sonuçlanır..

Bütün kesitin eğilme momentine mukavemet ettiği, ama tedbirli olmak için, sadece orta dikmenin dikişlerinin makaslama zorlamasına mukavemet ettiği kabul edilir.

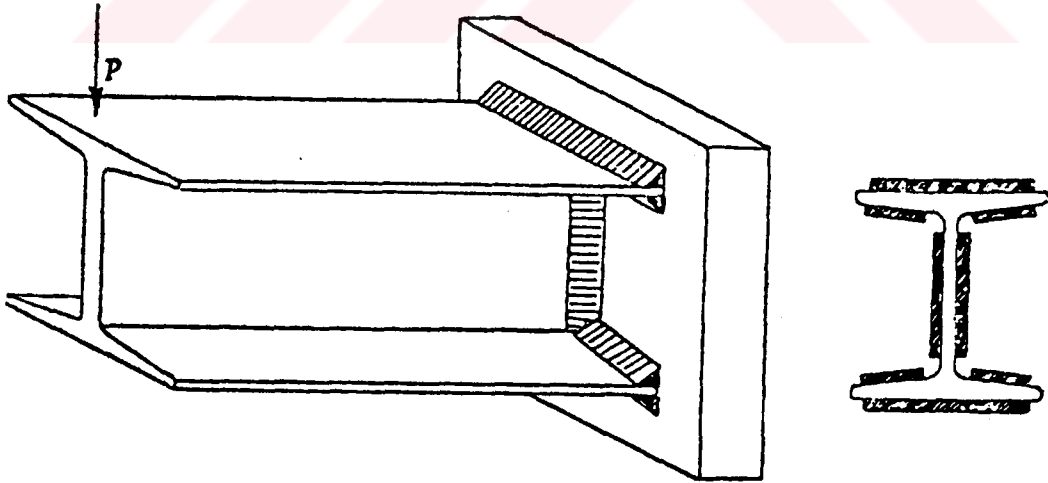
Bu nedenle de bir ikili kontrole başvurulacaktır.

-Üzerlerine sadece eğilme momentinin etki yaptığı ve bu dikişlerin nötr ekseninden uzakta olmaları dolayısıyla  $n$ 'in maksimum değere vardığı kanatların dış dikişleri kontrol edilecektir.

Boğaz kesiti gerçek konumuna geri getirildiğinde  $n$ , bir  $\sigma_d$  ve bir  $T_d$  gerilmelerine ayrışır.

- Eğilme momentinin daha düşük büyüklükte bir  $n$  gerilmesi meydana getirdiği, ama makaslama zorlamasından ileri gelen  $T_p$  'in eklenmesinin gerektiği orta dikmenin dikiş uçları kontrol edilecektir.

Statik hesap sadece, yukarıdaki örneklerde olduğu gibi, ankastreman geometrisinin, yatırma ile bütün boğaz kesitlerini tek bir müşterek düzleme taşıma imkanını vermesi halinde mümkündür. Daha karmaşık, değişik düzlemlerde dikişli ankastre statik olarak çözümü şimdilik mümkün görülmemektedir.



Şekil 6.33

#### 6.4. KAYNAK MUKAVEMET HESAPLARI

Günümüzde bir kısım çelik yapılar, köprüler, bazı makine elemanlarının ilkel hali kaynak işçiliği ile gerçekleştirilmektedir. Bu konstrüksiyonların teknolojinin üstün olanakları ile güvenli olacak şekilde yapılmakta oldukları da bir gerçektir. Kaynağın tipine göre boyutu ve faydalanılan dikiş uzunluğunun ne kadar olacağına karar verebilmek için bağlantının taşıyacağı yükün bilinmesi gerekir. Kaynak mukavemet hesapları şüphesiz, cisimlerin mukavemeti kurallarına dayanılarak yapılır.

Kaynak konstrüksiyonların en çok kullanılan birleştirmelerle ilgili formüller şekilleri altında verilmişlerdir. Bu bağlantılarda kiriş ağırlıklarının oluşturdukları gerilmeler dikkate alınmamışlardır.

##### a) Semboller

Kaynak mukavemet hesaplarında kullanılan semboller aşağıda gösterilmişlerdir.

$A_k$  : Kaynağın Dik Kesit Alanı

$I_k$  : Kaynağın dik kesitinin eksensel atalet momenti

$L$  : Moment Kolu

$M_e$  : Eğilme Momenti

$M_b$  : Burulma Momenti

$P$  : Uygulanan Kuvvet

$W_k$  : Kaynağın Dik Kesitinin Eksensel Mukavemet Momenti,

$\sigma$  : Toplam Gerilme

$\sigma_e$  : Eğilme Gerilmesi

$\sigma_f$  : Çekme Gerilmesi

$T_k$  : Kayma Gerilmesi

$T_b$  : Burulma Gerilmesi

$h$  : Kaynak Boyutu

$t$  : Levha Kalınlığı

$l$  : Faydalanılan Dikiş Uzunluğudur.

## b) Açıklamalar

Kaynak mukavemet hesaplarında söz konusu olan kaynak boyutu kalınlığı ile faydalanılan dikiş uzunluğu terimleri aşağıda açıklanmıştır.

### Kaynak Boyutu

Kaynak boyutu  $h$ , alın kaynaklarında kaynak kalınlığı, bindirme kaynaklarında kaynak taban uzunluğudur. Alın kaynaklarında kaynak kalınlığı (Şekil 6.1.), bindirme kaynaklarında kaynak taban uzunluğu (Şekil 6.2) de gösterilmiştir.

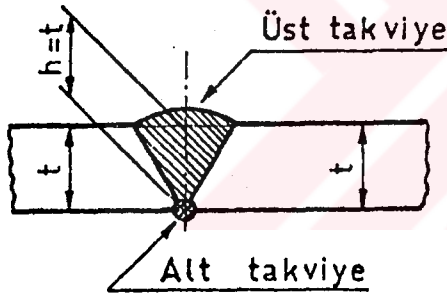
### Kaynak Kalınlığı

1. Birbirine eşit kalınlıklardaki iki parçayı birleştiren alın kaynaklarında kaynak kalınlığı, takviyelerden dolayı  $h=1,2 t$  olmasına rağmen hesaplarda  $h = t$  olarak alınır. (Şekil 6.34.)

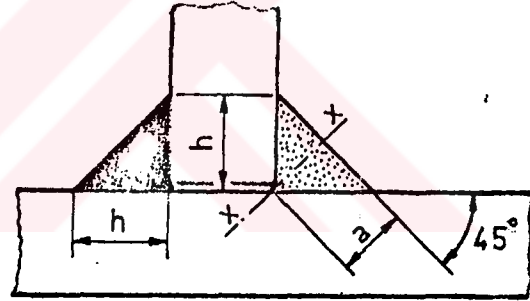
1.1. Birbirine eşit olmayan  $t_1$  ve  $t_2$  kalınlıklarındaki iki parçayı birleştiren alın kaynaklarında kaynak kalınlığı, ince levhanın  $t_2$  kalınlığına eşit kabul edilir. (Şekil 6.35.)

1.1.1. Bindirme kaynaklarda kaynak kalınlığı, büyük bir olasılıkla kopmanın oluşacağı x-x kesitindeki  $a$  boyutudur.  $a$  kaynak taban uzunluğuna bağlı olarak ifade edilir. Şekil 6.35.'nin incelenmesinden anlaşılabacağı üzere

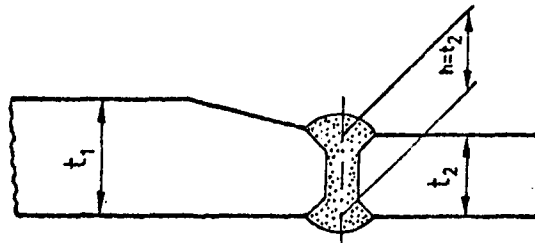
$$a = h \cdot \cos 45^\circ = 0,707 h \text{ 'dır.}$$



Şekil 6.34.



Şekil 6.35.



Şekil 6.36.

### Faydalanılan Dikiş Uzunluğu

Faydalanılan dikiş uzunluğu 1, kapalı ve çepeçevre dikişlerde dikiş uzunluğu 1<sub>0</sub> a eşit alınır. Kapalı olmayan dikişlerde bu uzunluk, uçlarda kaynağın tam olarak oluşmayacağı olasılığına karşı, esas uzunluktan, başlangıç ve son için kaynak boyutu h kadar bir kısaltma yapılarak bulunur. Bu durumda  $1 = 1_0 - 2 h$  olur.

### c. Emniyet Gerilmeleri

Güvenle kullanılması söz konusu olan her konstrüksiyon için uygun hesapların yapılması gereklidir. Hesapların tutarlılığı, şüphesiz ele alınan emniyet gerilmelerinin doğruluğuna bağlı olmaktadır.

Emniyet gerilmeleri; birleştirilecek malzeme ve seçilen elektrod cinsi ile kaynak tipi, şekli, yüzeyi, niteliği, kaynağı oluşturma yöntemi ve kaynak yerinin sonradan dövülerek ya da ısıtılarak işlenmesi ve yükleme durumlarına göre deneylerin verileri dikkate alınarak saptanan değerlerdir.

Sabit yük altında bulunan I'ci nitelikteki kaynaklarda kaynak kalınlığı ile faydalanılan dikiş uzunluğu çarpımına eşit olan alana izafe edilen emniyet gerilmeleri parça için kullanılan değer kadar alınabilir. Hal böyle olmakla beraber, birleştirme, dikiş ve zorlanma şeklinin oluşturacağı olumsuzlukları gözönünde tutabilmek için kaynak emniyet gerilmesinin p a r ç a emniyet gerilmesinden daha küçük alınması uygun olur.

Değer ve yön değiştiren yüklerde emniyet gerilmeleri dikişin tüm nitelikleri ile kırılma gerilmelerine ait bilgiler gözönünde tutularak saptanır. Bu değerler işleme şartlarında yapıda oluşacak gerilmeleri emniyetli olarak karşılayacak düzeyde bulunmalıdır.

Aşağıda makine konstrüksiyonları ve kaynaklı çelik yapılarda kaynak emniyet gerilmelerinin ne olacağı açıklanmıştır.

### Makine konstrüksiyonlarında kaynak emniyet gerilmeleri,

#### 1.Sabit Yükleme

$$\sigma_{k_{em}} = v_0 \cdot v_1 \cdot \sigma_{em} \quad ; \quad T_{k_{em}} = v_0 \cdot v_1 \cdot T_{em} \text{ dir.}$$

Maksimum kayma gerilmesi varsayımına göre  $T_{em} = 0,5 \sigma_{em}$  alınabilir.

Burada,  $\sigma_{em} = \frac{\sigma_B}{S}$  kaynak edilen malzemenin sabit yük için emniyet gerilmesi,

$V_0$  kaynak niteliği çarpanı,

$V_1$  sabit yük için kaynak dikiş ve zorlanma şekli çarpanıdır.

$V_0$  ,  $V_1$  çarpanlarına ait değerler çizelgelerinde verilmişlerdir.

$V_0$ , kaynak niteliği çarpanları,

| Kaynak niteliği | $V_0$ |
|-----------------|-------|
| I               | 1     |
| II              | 0,80  |
| III             | 0,50  |

$V_1$  , sabit yük için kaynağın dikiş ve zorlanma şekli çarpanları,

| Kaynak Şekli | Dikiş | Zorlanma Şekli    | $V_1$ |
|--------------|-------|-------------------|-------|
|              |       | Çekme             | 0,75  |
| Alın         |       | Basma             | 0,85  |
|              |       | Eğilme            | 0,80  |
|              |       | Makaslama         | 0,65  |
| Köşe         |       | Bütün Zorlanmalar | 0,65  |

## 2. Değişen Yükleme

$$\sigma_{kD} = V_0 \cdot V_1 \cdot \sigma_D ; T_k = V_0 \cdot V_1 \cdot T_D \text{ dir.}$$

$em$                        $em$                        $D_{em}$                        $em$

Maksimum kayma gerilmesi varsayımına göre  $T_D = 0,5 \sigma D_{em}$  alınabilir.

Burada,

$\sigma D_{em}$  kaynak edilen malzemenin değişen yük için emniyet gerilmesi

$V_0$  kaynak niteliği çarpanı ,

$V_2$  değişen yük için kaynağın birleştirme, dikiş ve zorlanma şekli çarpanıdır.

$V_2$  çarpanına ait değerler de çizelgesinde verilmiştir.

**TABLO 6.4.  $V_2$  Değişen Yük İçin Kaynağın Birleştirme, Dikiş ve Zorlanma Şekli Çarpanları**

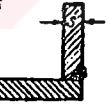
**Alın dikişi**

| Gösterilişi              |                 | Bütün sac | V · dikişi | V · dikişi<br>alttan<br>kaynaklı | V · dikişi<br>işlenmiş | X dikişi | Eğik<br>V · dikişi |
|--------------------------|-----------------|-----------|------------|----------------------------------|------------------------|----------|--------------------|
| Kaynak işareti           |                 |           |            |                                  |                        |          |                    |
| Kaynak şekli             |                 |           |            |                                  |                        |          |                    |
| V <sub>2</sub> katsayısı | Çeki - bası . . | 1         | 0,5        | 0,7                              | 0,92                   | 0,7      | 0,8                |
|                          | Eğilme . . .    | 1,2       | 0,6        | 0,84                             | 1,1                    | 0,84     | 0,98               |
|                          | Kesilme . . .   | 0,8       | 0,42       | 0,56                             | 0,73                   | 0,56     | 0,65               |

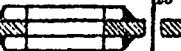
**T - Dikişi**

| Gösterilişi              |                 | bombeli köşe dikişi                                                               | Çift taraflı düz köşe dikişi                                                      | çökük köşe dikişi                                                                 | Tek taraflı düz köşe dikişi                                                        | Köşe alın dikişi                                                                    | Çift taraflı köşe alın dikişi                                                       | X-dikişi                                                                            |
|--------------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Kaynak işareti           |                 |  |  |  |   |  |  |  |
| Kaynak kalınlığı         |                 | 2a                                                                                | 2a                                                                                | 2a                                                                                | a                                                                                  | s                                                                                   | s                                                                                   | s                                                                                   |
| Kaynak şekli             |                 |  |  |  |  |  |  |  |
| V <sub>2</sub> katsayısı | Çeki - bası . . | 0,32                                                                              | 0,35                                                                              | 0,41                                                                              | 0,22                                                                               | 0,63                                                                                | 0,56                                                                                | 0,7                                                                                 |
|                          | Eğilme . . .    | 0,69                                                                              | 0,7                                                                               | 0,87                                                                              | 0,11                                                                               | 0,8                                                                                 | 0,8                                                                                 | 0,84                                                                                |
|                          | Kesilme . . .   | 0,32                                                                              | 0,35                                                                              | 0,41                                                                              | 0,22                                                                               | 0,5                                                                                 | 0,45                                                                                | 0,56                                                                                |

**Köşe dikişi**

| Gösteriliş               |                 | Tek taraflı                                                                         | Çift taraflı                                                                        | Köşe alın dikliği                                                                   |                                                                                       | Köşe X-dikliği                                                                        |
|--------------------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|                          |                 | düz köşe dikliği                                                                    |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                       |                                                                                       |
| Kaynak işareti           |                 |  |  |  |  |  |
| Kaynak kalınlığı         |                 | a                                                                                   | 2a                                                                                  | s                                                                                   | s                                                                                     | 2a                                                                                    |
| Kaynak şekli             |                 |  |  |  |  |  |
| V <sub>2</sub> katsayısı | Çeki - bası . . | 0,22                                                                                | 0,3                                                                                 | 0,45                                                                                | 0,6                                                                                   | 0,35                                                                                  |
|                          | Eğilme . .      | 0,11                                                                                | 0,6                                                                                 | 0,55                                                                                | 0,75                                                                                  | 0,7                                                                                   |
|                          | Kesilme . . .   | 0,22                                                                                | 0,3                                                                                 | 0,37                                                                                | 0,5                                                                                   | 0,35                                                                                  |

**Kapak parçası kaynağı**

| Gösterilişi              |                | Kapak alın dikişi                                                                   |                                                                                     | Kapak yan dikişi                                                                     |                                                                                       |
|--------------------------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Kaynak kalınlığı         |                | 2 a                                                                                 | 2 a                                                                                 | 2 a                                                                                  | 2 a                                                                                   |
| Kaynak şekli             |                |  |  |  |  |
|                          |                |  |  |  |  |
| v <sub>2</sub> katsayısı | Çeki . . . . . | 0,22                                                                                | 0,25                                                                                | 0,25                                                                                 | 0,48                                                                                  |
|                          |                |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |
|                          |                |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                      |                                                                                       |

### Kaynaklı Çelik Yapılarda Kaynak Emniyet Gerilmeleri.

Kaynaklı çelik yapılarda şartnamelerinin dayandığı standartlarda öngörülmüş olan kaynak emniyet gerilmelerinin kullanılmaları söz konusudur.

Aşağıdaki çizelge (Kaynaklı çelik yapıların hesap ve oluşturulmaları, DIN 4100) normundan alınmıştır. Buradaki değerler hareketsiz yüklere maruz kaynaklı çelik yapılarla üst geçitler ve üzerinden taşıt geçen mahzen katı tavanları, çelik yapı esaslarının cari olduğu makine tesislerinin inşai kısımları için yürürlüktedir.

**TABLO 6.5. Kaynaklı Birleştirmelerin emniyet gerilmeleri (kg/cm<sup>2</sup>)**

Hyükleme = Esas yüklerin toplamı

$\sigma_{kay em}$  ve  $T_{kay em}$ ;

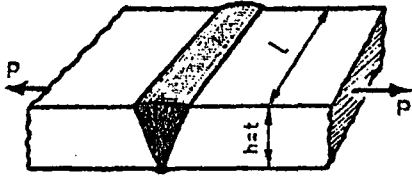
HZ yükleme = Esas ve munzam yüklerin toplamı

| 1     | 2                                                                         | 3                                                  | 4    | 5    | 6    | 7    |
|-------|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------|------|------|------|
| Sıfır | Dikiş Çeşidi ve yapı elemanı                                              | Zorlamanın çeşidi                                  | H    | HZ   | H    | HZ   |
| 1     | 100% röntgen muayenesi yapılmış küt dikişler (4,21)                       | Merkezi Çekme ve eğilmede çekme (Denklem 1,2 ve 3) | 1600 | 1600 | 2100 | 2400 |
| 2     |                                                                           | Merkezi veya eğilmede çekme (Denklem 1,2 ve 3)     | 1400 | 1600 | 2100 | 2400 |
| 3     |                                                                           | Kayma                                              | 900  | 1050 | 1350 | 1550 |
| 4     | 50% röntgen muayenesi yapılmış küt dikişler (4,21)                        | Merkezi Çekme ve eğilmede çekme (Denklem 1,2 ve 3) | 1400 | 1600 | 2100 | 2400 |
| 5     |                                                                           | Kayma                                              | 900  | 1050 | 1350 | 1500 |
| 6     |                                                                           | Merkezi Çekme ve Eğilmede çekme (Denklem 1,2,3)    | 1100 | 1300 | 1700 | 1900 |
| 7     | Röntgenle muayene edilmeyen küt kaynak dikişleri (4,21)                   | Merkezi Basınç ve eğilmede basınç (Denklem 1,2,3)  | 1400 | 1600 | 2100 | 2400 |
| 8     |                                                                           | Kayma                                              | 900  | 1050 | 1350 | 1550 |
| 9     | Köşe kaynağı (4,22)                                                       | Çekme, basınç, kayma                               | 900  | 1050 | 1350 | 1550 |
| 10    | Eğilmeğe mukavim giriş birleşimlerinde köşe kaynağı (3,)                  | Asal Gerilme (Denklem 4, 4a ve 5)                  | 1100 | 1300 | 1700 | 1900 |
| 11    |                                                                           | Kayma (Denklem 4b)                                 | 900  | 1050 | 1350 | 1550 |
| 12    | Boylama dikişler (köşe ve küt kaynaklar); mesela                          | Asal Gerilme (Denklem 6)                           | 1400 | 1600 | 2100 | 2400 |
| 13    | gövdenin boylama eki, başlık levhaları arasındaki dikişler(3,8)           | Kayma (Denklem 7)                                  | 900  | 1050 | 1350 | 1550 |
| 14    | Gövde levhasının enleme ekinde kaynak dikişi; 50% röntgen muayenesi (3,9) | Asal Gerilme (Denklem 8)                           | 1400 | 1600 | 2100 | 2400 |
| 15    |                                                                           | Kayma (Denklem 9)                                  | 900  | 1050 | 1350 | 1550 |

Köprüler, hafif çelik yapılar ve borulu çelik yapılar için kaynak emniyet gerilmeleri de şartnameleri ya da standartlarındaki esaslara göre saptanır.

#### 6.4.1. Alın Kaynakları

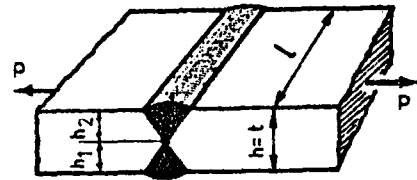
Alın kaynaklarının mukavemet hesapları gerilme yayılımının düzgün olmaması sebebi ile yaklaşık yapılabilir. Bu durumun istenmeyen sonuçları, gereğince seçilen emniyet gerilmeleri değerlerinin kullanılmaları ile önlenmiş olur. Aşağıda en çok kullanılan birleştirmelerle ilgili olup mukavemet hesapları yönünden gerekli bağıntılar şekilleri altında verilmiştir.



Şekil 6.37

$$\sigma_{\text{ç maks}} = \frac{P}{Ak}$$

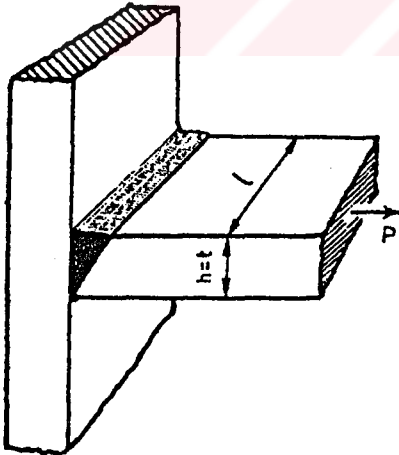
$$Ak = lh = lt$$



Şekil 6.38

$$\sigma_{\text{ç maks}} = \frac{P}{Ak}$$

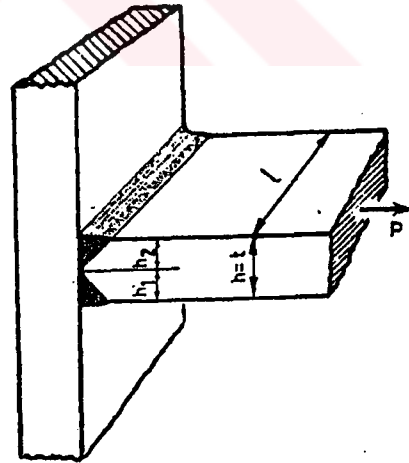
$$Ak = l(h_1 + h_2) = lt$$



Şekil 6.39

$$\sigma_{\text{ç maks}} = \frac{P}{Ak}$$

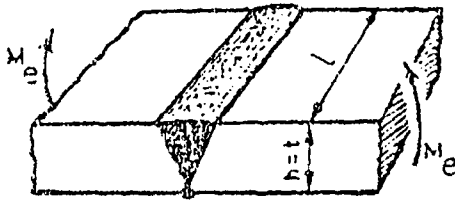
$$Ak = lh = lt$$



Şekil 6.40

$$\sigma_{\text{ç maks}} = \frac{P}{Ak}$$

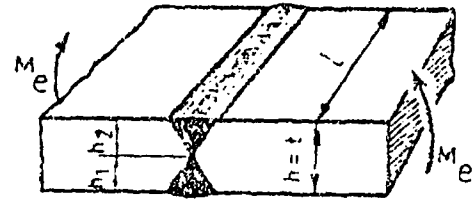
$$Ak = l(h_1 + h_2) = lt$$



Şekil 6.41  
Me

$$\sigma_{e \text{ maks}} = \frac{M_e}{W_k}$$

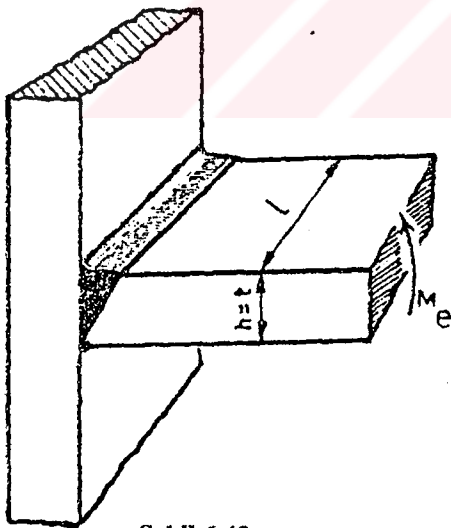
$$W_k = \frac{I h_2}{6} = \frac{I t_2}{6}$$



Şekil 6.42  
Me

$$\sigma_{e \text{ maks}} = \frac{M_e}{W_k}$$

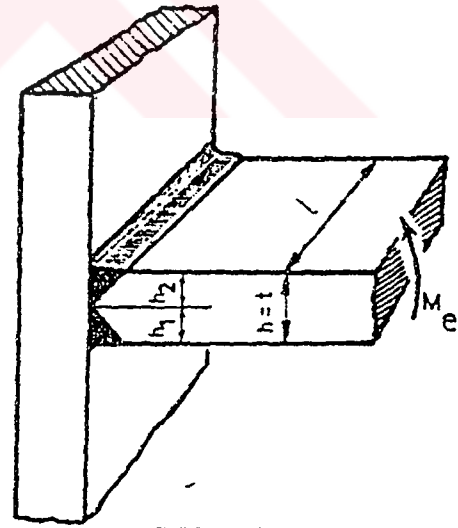
$$W_k = \frac{I (h_1 + h_2)^2}{6} = \frac{I t^2}{6}$$



Şekil 6.43  
Me

$$\sigma_{e \text{ maks}} = \frac{M_e}{W_k}$$

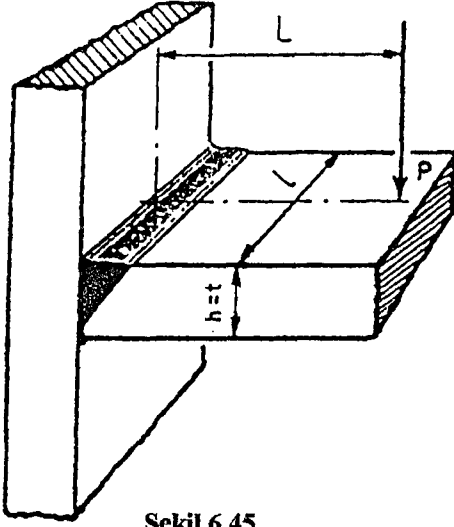
$$W_k = \frac{I h_2}{6} = \frac{I t_2}{6}$$



Şekil 6.44  
Me

$$\sigma_{e \text{ maks}} = \frac{M_e}{W_k}$$

$$W_k = \frac{I (h_1 + h_2)^2}{6} = \frac{I t^2}{6}$$

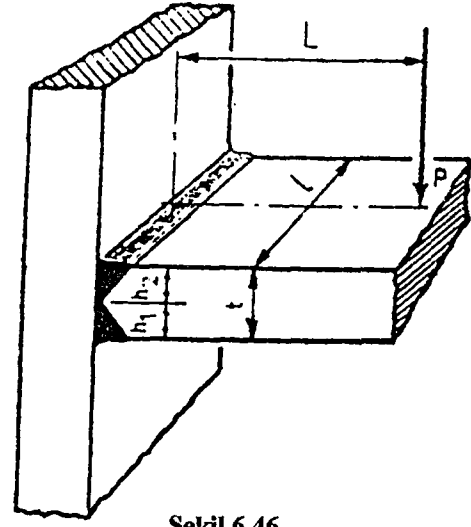


Şekil 6.45

$$\sigma_{e \text{ maks}} = \frac{PL}{W_k}; W_k = \frac{lh^2}{6} = \frac{l^2}{6}$$

$$T_{k \text{ maks}} = \frac{3P}{2A_k} = \frac{3P}{2lh} = \frac{3P}{2l^2}$$

$$A_k = lh = l^2$$

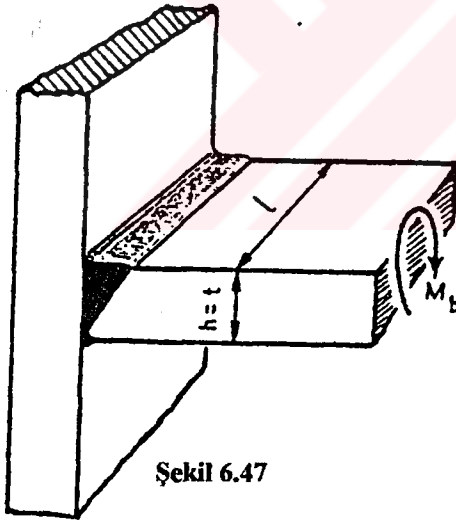


Şekil 6.46

$$\sigma_{e \text{ maks}} = \frac{PL}{W_k}; W_k = \frac{l(h_1+h_2)^2}{6} = \frac{l^2}{6}$$

$$T_{k \text{ maks}} = \frac{3P}{2A_k}; A_k = l(h_1 + h_2) = l^2$$

Kayma gerilmesi, maksimum eğilme gerilmesinin olduğu en dıştaki liflerde sıfır, tarafsız ekseninde ise maksimum değerdedir. Maksimum kayma gerilmesi, ortalama kayma gerilmesi  $P/A_k$  dan % 50 daha büyüktür.



Şekil 6.47

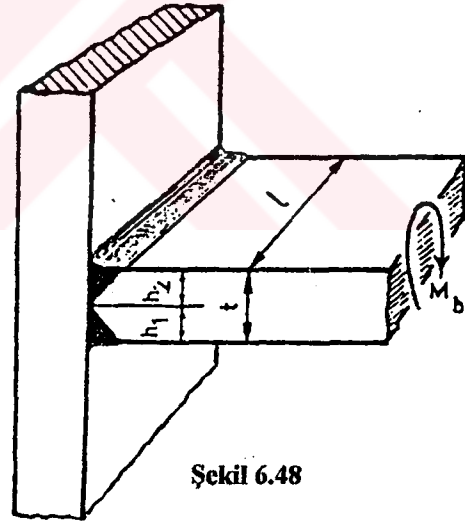
$$T_{b \text{ maks}} = \frac{M_b}{1 h^2}; (3 + 1,8 \frac{h}{1})$$

$$M_b$$

$$T_{k \text{ maks}} = \frac{M_b}{l^2 h^2} (3,1 + 1,8 h)$$

$$h = t$$

(C.Weber'e göre.)



Şekil 6.48

$$T_{b \text{ maks}} = \frac{M_b}{l(h_1+h_2)^2} (3+1,8 \frac{h_1+h_2}{1})$$

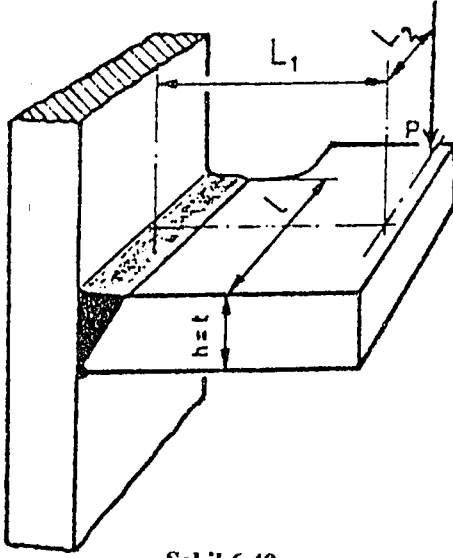
$$M_b$$

$$T_{k \text{ maks}} = \frac{M_b}{l^2 (h_1 + h_2)^2} [3,1 + 1,8 (h_1 + h_2)]$$

$$h_1 + h_2 = t$$

$$M_b$$

$$T_{b \text{ maks}} = \frac{M_b}{l^2 t^2} (3,1 + 1,8 t)$$



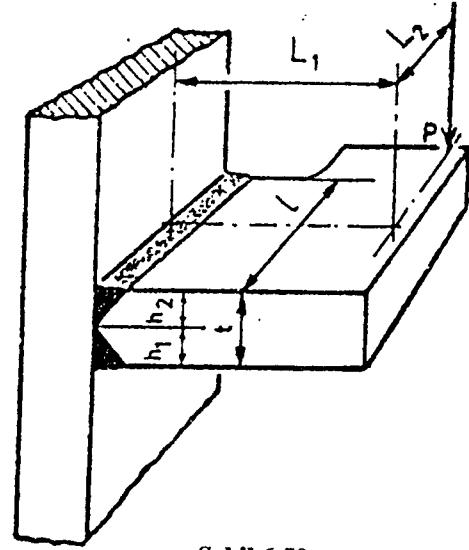
Şekil 6.49

$$\sigma_{e \text{ maks}} = \frac{PL_1}{W_k}$$

$$T_{k \text{ maks}} = \frac{3P}{2A_k}$$

$$W_k = \frac{lh^2}{6} = \frac{lt^2}{6}$$

$$A_k = lh = lt$$



Şekil 6.50

$$\sigma_{e \text{ maks}} = \frac{PL_1}{W_k}$$

$$T_{k \text{ maks}} = \frac{3P}{2A_k}$$

$$W_k = \frac{l(h_1+h_2)^2}{6} = \frac{lt^2}{6}$$

$$A_k = l(h_1+h_2) = lt$$

Şekil 6.48'de verilen  $T_{b \text{ maks}} = \frac{Mb}{l^2 t^2} (3.l + 1,8 t)$  bağıntısında

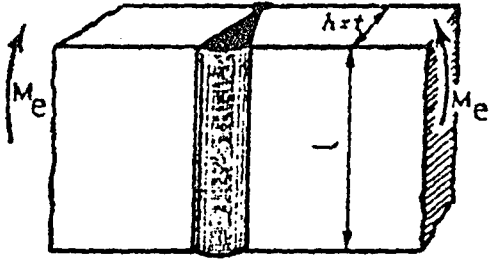
$$T_{b \text{ maks}} = \frac{PL_2}{l^2 t^2} ((3.l + 1,8 t))$$

$M_b$  yerine  $PL_2$  konursa maksimum burulma gerilmesi olarak bulunur.

Maksimum kayma gerilmesi  $T_{k \text{ maks}}$ , eğilme gerilmesi  $\sigma_e$ 'nin sıfır olduğu tarafsız ekseninde olduğundan; maksimum bileşik gerilme, eğilme gerilmesi  $\sigma_e$  ve burulma gerilmesi  $T_b$ 'nin maksimum değere eriştikleri en dıştaki lifte meydana gelir. Bu durumda maksimum bileşik gerilme

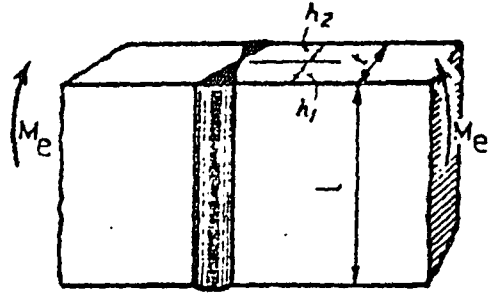
$$\sigma_{\text{maks}} = \frac{\sigma_{e \text{ maks}}}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{\sigma_{e \text{ maks}}^2 + 4 \pi^2 b_{\text{maks}}}$$

formülü ile hesaplanır. Buradaki  $\sigma_{e \text{ maks}}$  ve  $T_{b \text{ maks}}$  ilgili şekillerin altlarında ve daha aşağıda verilen bağıntılardan elde edilirler.



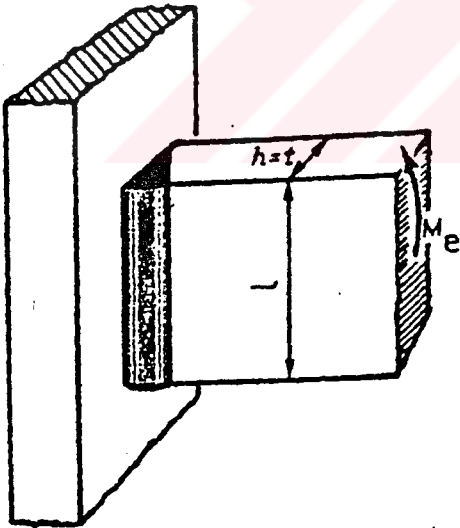
Şekil 6.51  
 $M_e$

$$\sigma_{e \text{ maks}} = \frac{W_k}{I^2 h} = \frac{I^2 t}{6}$$



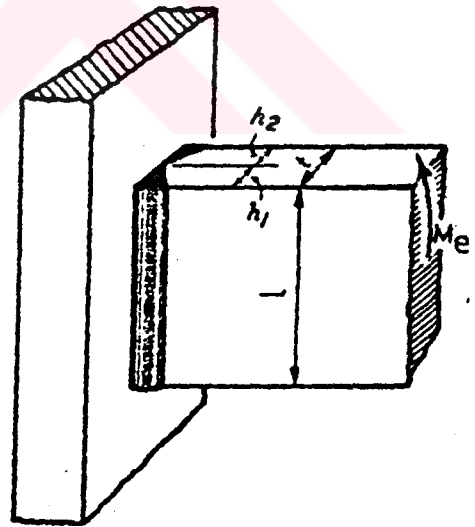
Şekil 6.52  
 $M_e$

$$\sigma_{e \text{ maks}} = \frac{W_k}{I^2 (h_1 + h_2)} = \frac{I^2 t}{6}$$



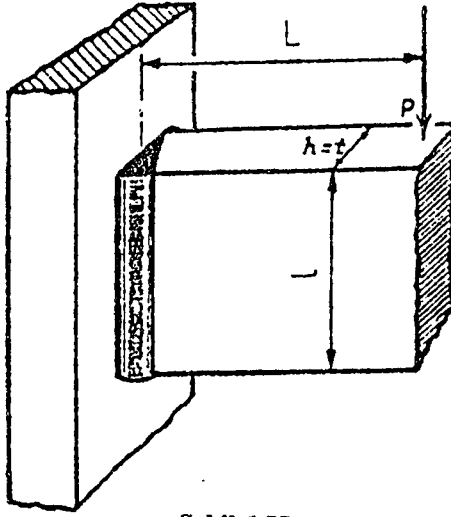
Şekil 6.53  
 $M_e$

$$\sigma_{e \text{ maks}} = \frac{W_k}{I^2 h} = \frac{I^2 t}{6}$$



Şekil 6.54  
 $M_e$

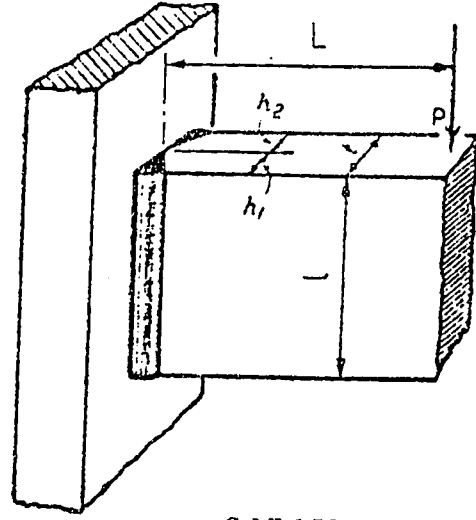
$$\sigma_{e \text{ maks}} = \frac{W_k}{I^2 (h_1 + h_2)} = \frac{I^2 t}{6}$$



Şekil 6.55

$$\sigma_{e \text{ maks}} = \frac{PL}{W_k}; W_k = \frac{l^2 h}{6} = \frac{l^2 t}{6}$$

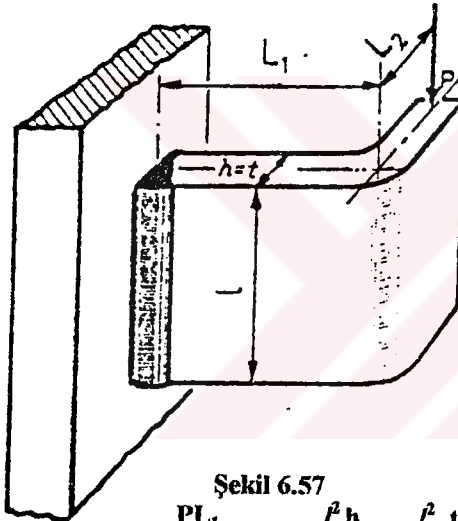
$$T_{k \text{ maks}} = \frac{3P}{2A_k} = \frac{3P}{2lh} = \frac{3P}{2lt}$$



Şekil 6.56

$$\sigma_{e \text{ maks}} = \frac{PL}{W_k}; W_k = \frac{l^2 (h_1 + h_2)}{6} = \frac{l^2 t}{6}$$

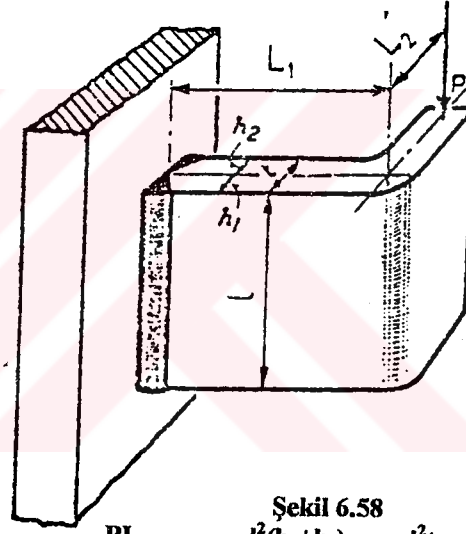
$$T_{k \text{ maks}} = \frac{3P}{2A_k}; A_k = l(h_1 + h_2) = lt$$



Şekil 6.57

$$\sigma_{e \text{ maks}} = \frac{PL_1}{W_k}; W_k = \frac{l^2 h}{6} = \frac{l^2 t}{6}$$

$$T_{k \text{ maks}} = \frac{3P}{2A_k} = \frac{3P}{2lh} = \frac{3P}{2lt}$$



Şekil 6.58

$$\sigma_{e \text{ maks}} = \frac{PL_1}{W_k}; W_k = \frac{l^2 (h_1 + h_2)}{6} = \frac{l^2 t}{6}$$

$$T_{k \text{ maks}} = \frac{3P}{2A_k}; A_k = l(h_1 + h_2) = lt$$

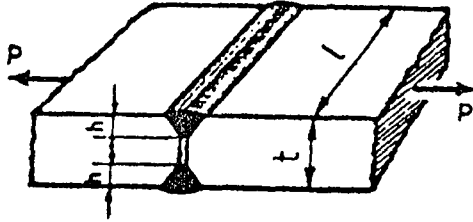
$$T_{b \text{ maks}} = \frac{PL_2}{l^2 \cdot t^2} ((3.l + 1,8 t))$$

$$T_{b \text{ maks}} = \frac{PL_2}{l^2 \cdot t^2} ((3.l + 1,8 t))$$

Her iki şekil için maksimum bileşik gerilme

$$\sigma_{\text{maks}} = \frac{\sigma_{e \text{ maks}}}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{\sigma_{e \text{ maks}}^2 + 4 \tau_{b \text{ maks}}^2}$$

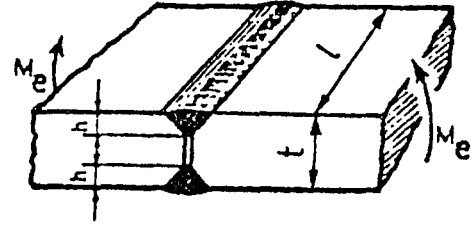
formülü ile hesaplanır.



Şekil 6.59

$$\sigma_{\epsilon \text{ maks}} = \frac{P}{A_k}$$

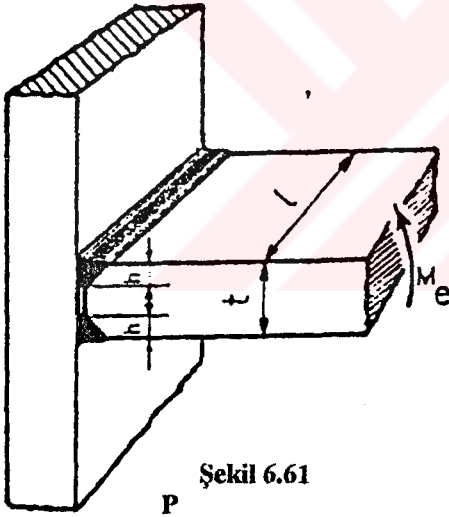
$$A_k = l(h + h) = 2 \cdot lh$$



Şekil 6.60

$$\sigma_{e \text{ maks}} = \frac{M_e}{W_k}$$

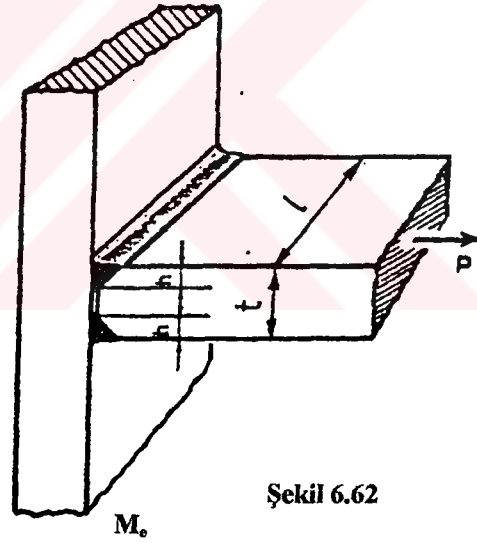
$W_k$ 'nın değeri aşağıda verilmiştir.



Şekil 6.61

$$\sigma_{\epsilon \text{ maks}} = \frac{P}{A_k}$$

$$A_k = l(h + h) = 2 \cdot lh$$



Şekil 6.62

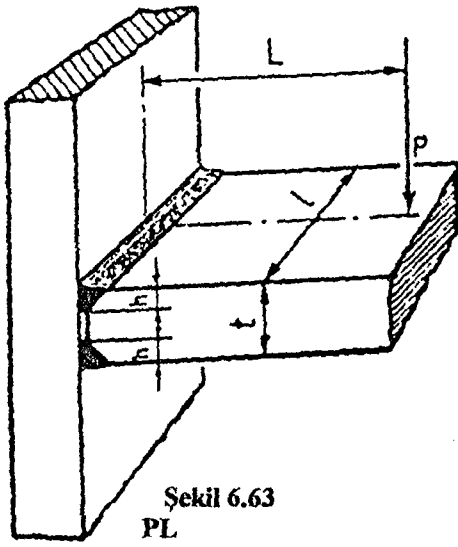
$$\sigma_{\epsilon \text{ maks}} = \frac{M_e}{W_k}$$

$W_k$ 'nın değeri aşağıda verilmiştir.

Şekil 6.60 ve Şekil 6.62.

$$W_k = \frac{\frac{1t^3}{12} - \frac{1(t-2h)^3}{12}}{t/2} = \frac{lh(3t^2 - 6th + 4h^2)}{3t}$$

dır.

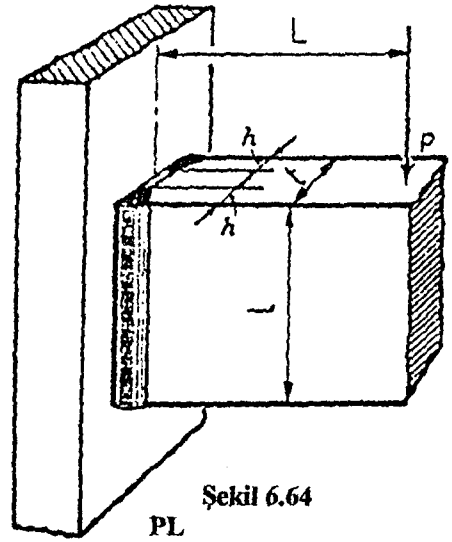


$$\sigma_{e \text{ maks}} = \frac{PL}{W_k}$$

$$T_{k \text{ maks}} = \frac{3P}{2A_k}$$

$$W_k = \frac{lh(3t^2 - 6th + 4t^2)}{3t}$$

$$A_k = 2.lh$$

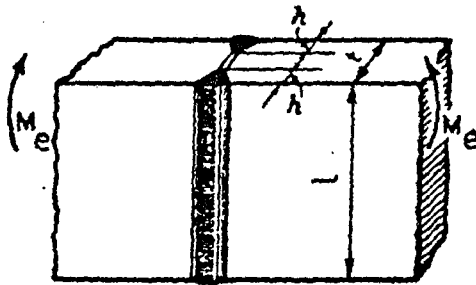


$$\sigma_{e \text{ maks}} = \frac{PL}{W_k}$$

$$T_{k \text{ maks}} = \frac{3P}{2A_k}$$

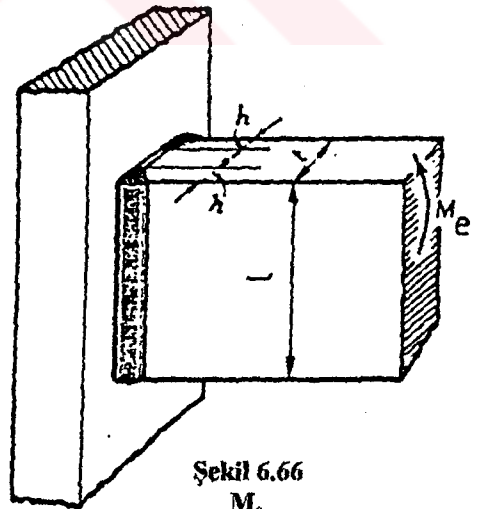
$$W_k = \frac{2l^2h}{6} = \frac{l^2h}{3}$$

$$A_k = 2.lh$$



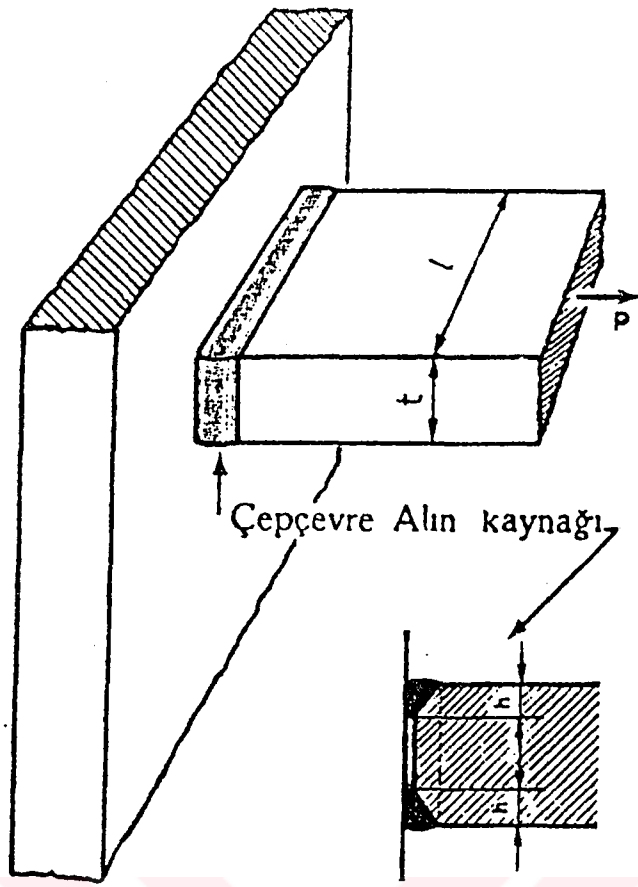
$$\sigma_{e \text{ maks}} = \frac{M_e}{W_k}$$

$$W_k = \frac{2l^2h}{6} = \frac{l^2h}{3}$$



$$\sigma_{e \text{ maks}} = \frac{M_e}{W_k}$$

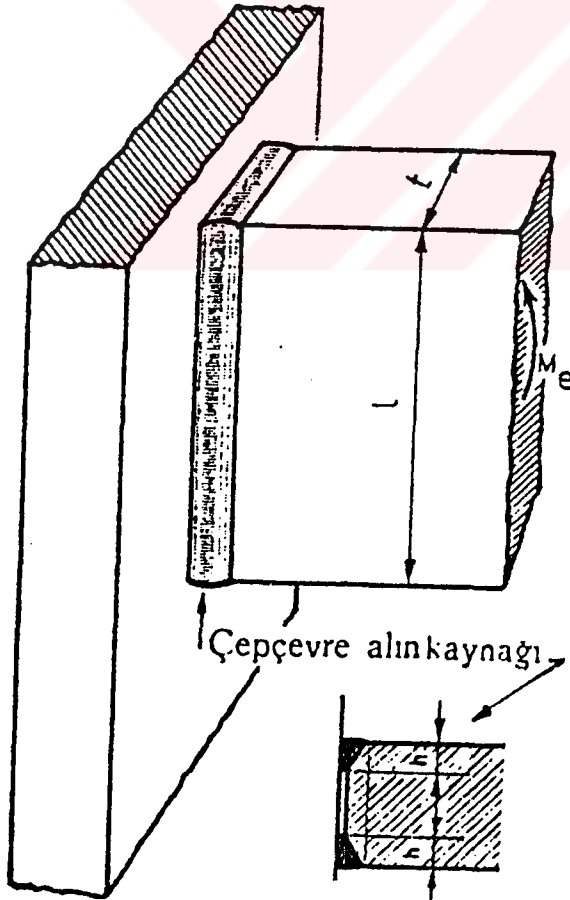
$$W_k = \frac{2l^2h}{6} = \frac{l^2h}{3}$$



$$\sigma_{\text{maks}} = \frac{P}{A_k}$$

$$A_k = l t - (l - 2 h) (t - 2 h) \\ = 2 h (l + t - 2 h)$$

Şekil 6.67.

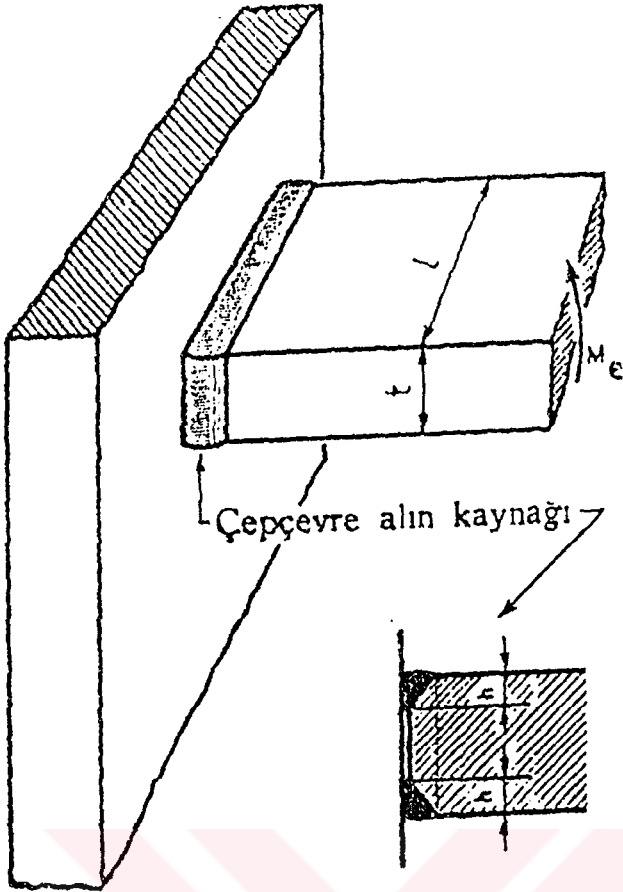


$$\sigma_{\text{maks}} = \frac{M_e}{W_k}$$

$$W_k = \frac{2}{l} = \frac{l^3 t - (l - 2 h)^3 (t - 2 h)}{12}$$

$$= \frac{l^3 t - (l - 2 h)^3 (t - 2 h)}{6l}$$

Şekil 6.68.

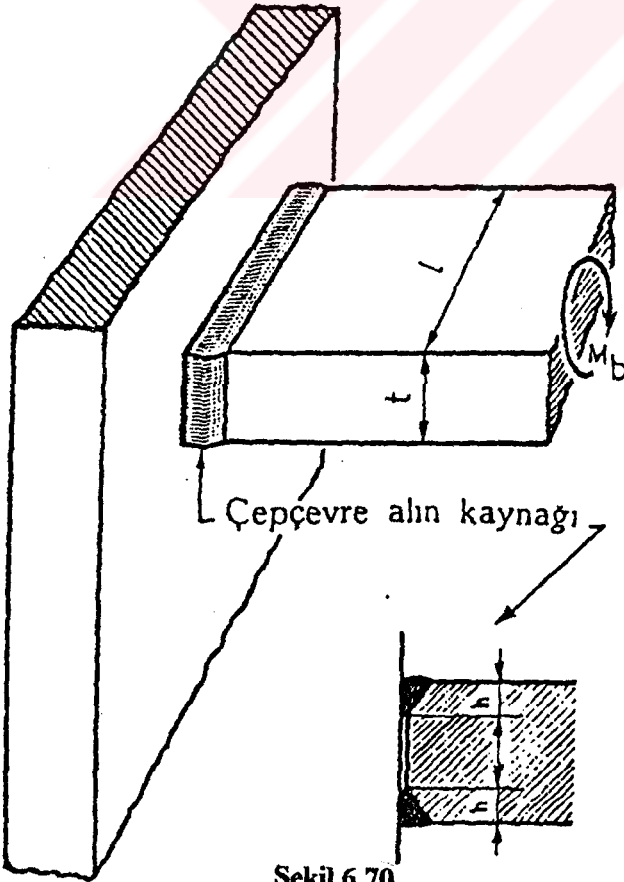


$$\sigma_{e \text{ maks}} = \frac{M_e}{W_k}$$

$$W_k = \frac{2}{t} \frac{l t^3 - (l - 2h) (t - 2h)^3}{12}$$

$$\frac{l t^3 - (l - 2h) (t - 2h)^3}{6t}$$

Şekil 6.69.



$$T_b = \frac{M_b}{2Ah}$$

$$A = (l - h) (t - h)$$

A ; kaynak kesitindeki dikiş  
eksenlerinin çevrelediği alandır.

(S.Timoshenko'ya göre)

Şekil 6.70.

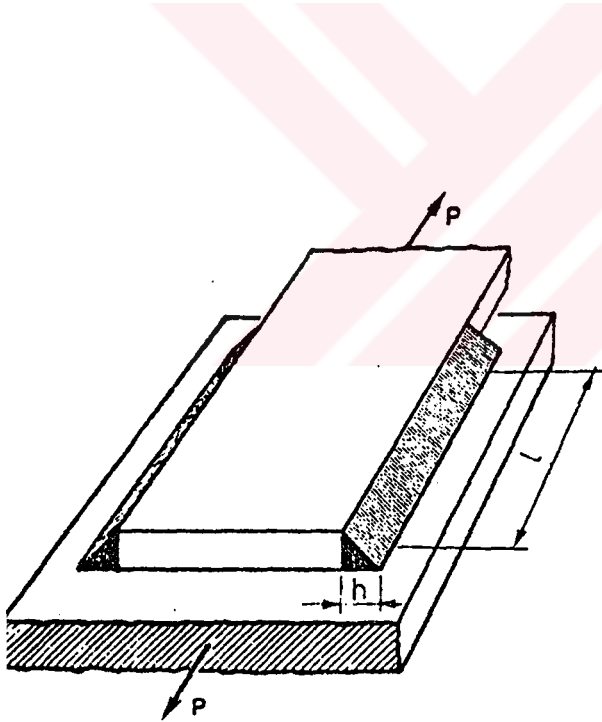
### 6.4.2. Bindirme Kaynakları

Bindirme kaynaklarının mukavemet hesapları, gerilmelerin düzgün yayılmamış olması ve bileşik gerilme hallerine rastlanması sebebi ile yaklaşıklıkla yapılabilir.

Bu kaynaklarda levhalar üst üste bindirildikleri için kuvvetler eksantrik olarak etki ederler. Bu sebeple birleştirmelerde eğilme momenti oluşur.

Kuvvet, kaynak dikişleri doğrultusunda uygulandığı zaman doğacak eğilme gerilmesi kayma gerilmesine oranla küçük kalır. Bu tip kaynaklarda genellikle eğilme gerilmeleri dikkate alınmaz, hesaplar; kaynak sadece kaymaya zorlanıyormuş gibi yapılır. Bu durumların istenmeyen sonuçları seçilen emniyet gerilmeleri ile karşılanmış olur. Kaymaya zorlanan en büyük gerilmeli kesit olarak, kaynak boyunca, kaynak kalınlığı  $a$ 'yı içine alan kesit dikkate alınır.

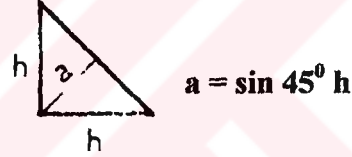
Aşağıda en çok kullanılan birleştirmelerle ilgili mukavemet hesapları yönünden gerekli bağıntılar şekilleri altında verilmiştir.



Şekil 6.71

$$T_k = \frac{P}{A_k}$$

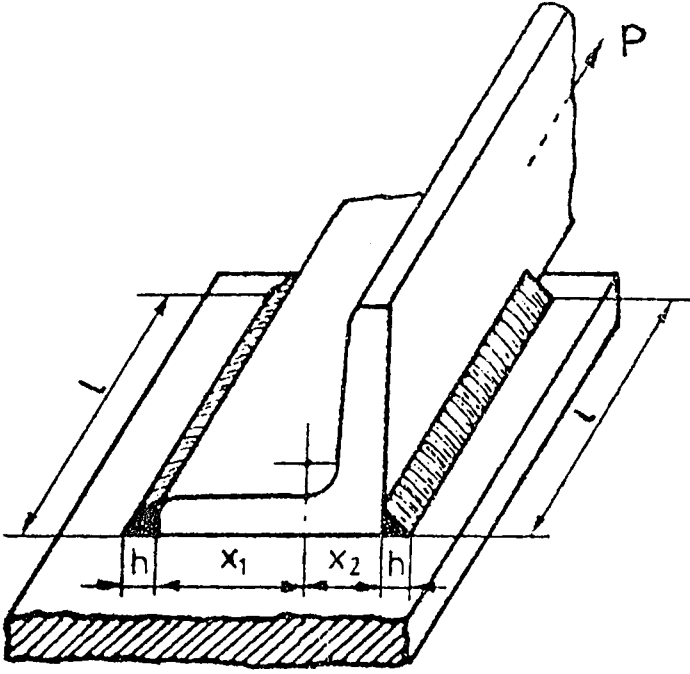
$$A_k = 2la = 2l \sin 45^\circ h \\ = 2 \sin 45^\circ l h$$



Şekil 6.72

$$T_k = \frac{P}{A_k}$$

$$A_k = 4 \sin 45^\circ l h$$

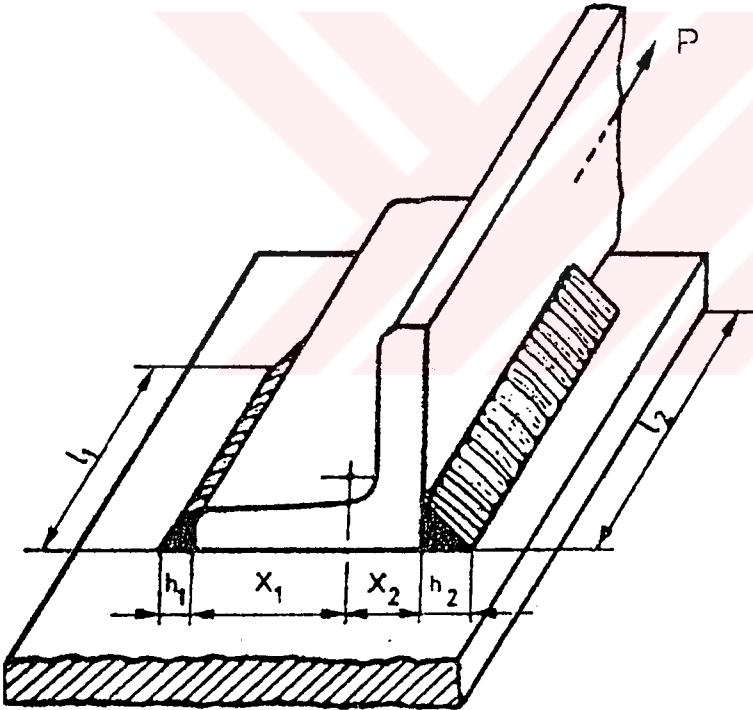


Şekil 6.73.

Bindirme kaynaklarında dikiş kesitlerinin eşit oldukları tertip

$$T_k = \frac{P}{A_k}$$

$$A_k = 2 \sin 45^\circ l h$$



Şekil 6.74.

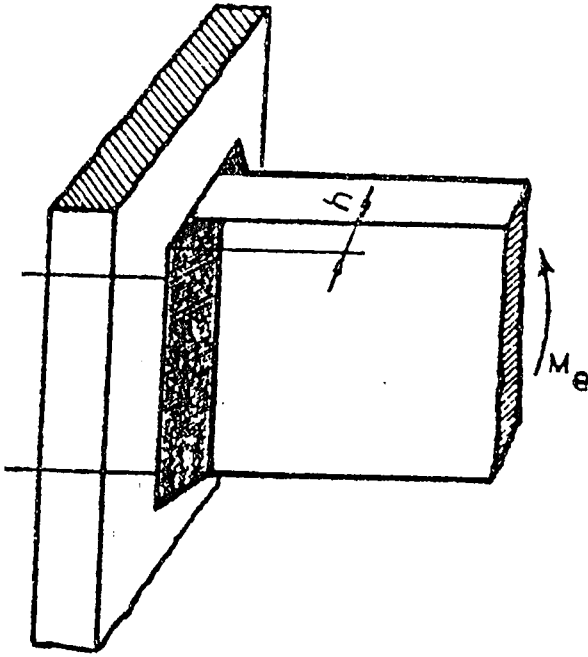
Bindirme kaynaklarında dikiş kesitlerinin, köşebent kesitinin ağırlık merkezinden olan uzaklıkları ile ters orantılı oldukları tertip.

$$T_k = \frac{P}{A_k}$$

$$A_{k1} = \sin 45^\circ l_1 h_1$$

$$A_k = A_{k1} + A_{k2}$$

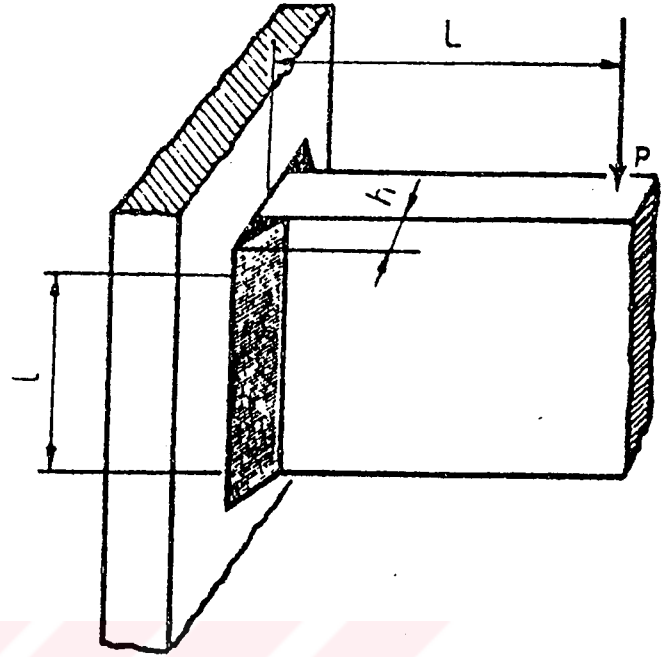
$$A_k = \sin 45^\circ l_2 h_2$$



Şekil 6.75.

$$\sigma_{e \text{ maks}} = \frac{M_e}{W_k}$$

$$W_k = \frac{2l^2 \cdot 0,707 h}{6}$$



Şekil 6.76.

$$\sigma_{e \text{ maks}} = \frac{PL}{W_k}$$

$$W_k = \frac{2l^2 \cdot 0,707 h}{6}$$

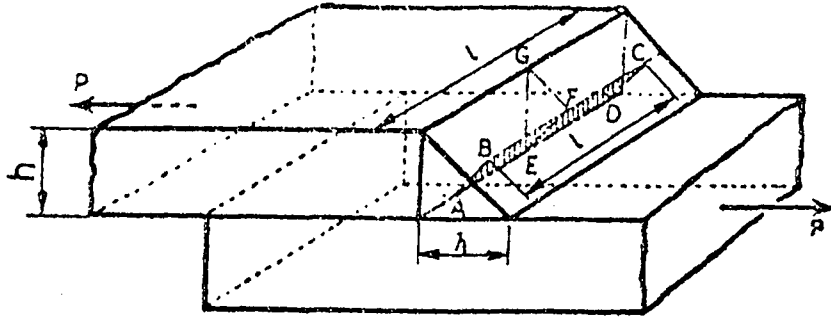
$$T_{k \text{ maks}} = \frac{3P}{2A_k}$$

$$A_k = 2 l 0,707 h$$

Eğilme ve kayma halinde maksimum eğilme gerilmesi (  $\sigma$  ) kaynak kesitinin üst ve altında, maksimum kayma gerilmesi (  $T$  ) ise kesitin merkezinde oluşur.

$L \leq \frac{4h}{3}$  olursa yalnız kesme kuvvetine göre hesap yapmak yeterlidir. (Şekil 6.71.)

Yan bindirme Kaynak dikişleri ile tesbit edilen çubuklarda eğilme gerilmesi göz önüne alınmalıdır. (Şekil 6.76)

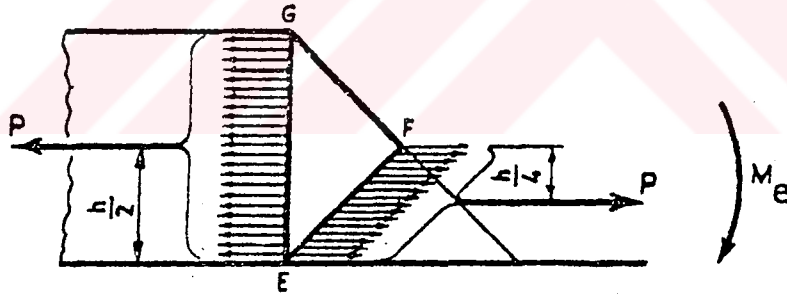


**Şekil 6.77.Çekmeye zorlanan iki bindirme levhayı 45°'lik yüz açısı ile bağlayan kaynağın mukavemeti**

En elverişsiz durum levhalar birbiri üzerine iyice oturmadığı zaman oluşur. Bu durumda kaynak çekme, kesilme ve eğilmeye zorlanır.

Kaynak kesit alanı ABCD; kaynak uzunluğu  $BC = 1$  ile kaynak kalınlığı  $AB = 0,707 h$  'nın çarpımından ibarettir.

Kaynağın yarı boyu dik kesitindeki yani EFG kısmındaki sola doğru etki eden yükün  $EG = h$  tabanı oyunca yayılmış olduğu ve üst levhanın ağırlık merkezinden, yani kaynak altından  $h/2$  yükseklikten etki ettiği kabul edilebilir. (Şekil 6.77 - 6.78.)



**Şekil 6.78**

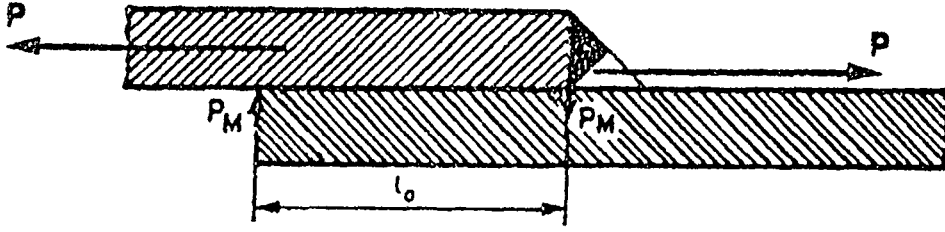
P değerinde ve sağa doğru tesir eden tepki, kaynak alanına yayılmış olup bileşkesi bu alanın ağırlık merkezinden, yani sola tesir eden P kuvvetinin doğrultusundan  $h/4$  kadar aşağısından geçmektedir.

$$P h$$

Bu kuvvetlerin dengede olması için  $M_e = \frac{P h}{4}$  e eşit bir moment ya da kuvvet çifti uygulanmalıdır.

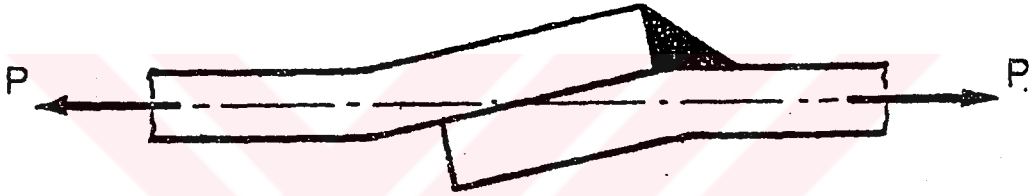
Eğer bağlanan iki levha yeterince rijit ise, bu eğilme momenti bindirme uzunluğu  $l_0$  'a eşit bir kaldıraç kolu ile etki eden

$$P_M = \frac{M_e}{l_0} \text{ mesnet kuvvetleri ile dengelenebilir. (Şekil 6.79)}$$

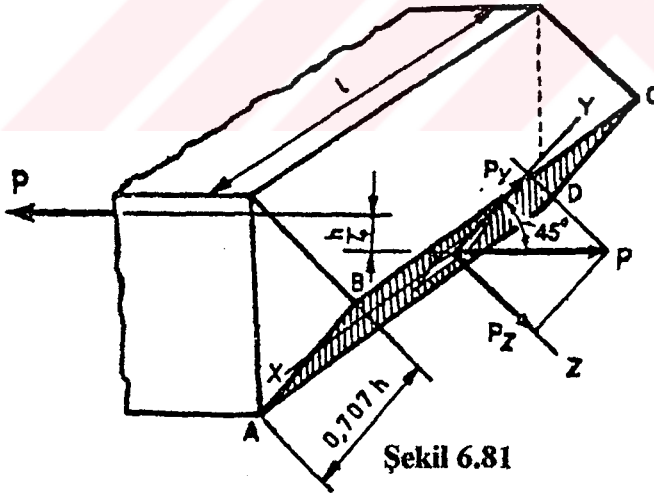


Şekil 6.79

Hal böyle olmakla beraber bindirme uzunluğu küçük olur ve  $P_M$  kuvvetinin levhada oluşturduğu gerilme akma sınırını geçerse (Şekil 6.80) deki şekil bozukluğu meydana gelir, bu halde de eğilme gerilmesinin kaynak tarafından taşınması gerekir.



Şekil 6.80



Şekil 6.81

Şekil 6.81.'de kaynak boyunca kesit tabanına paralel ve kesit içinde bir eksene x, bu eksene dik olan ikinci bir eksene y, ve kaynak kesitine dik olan üçüncü bir eksene de z denirse P kuvveti bu sistemde bileşenlerine ayrılabilir.

$$P_y = P \cos 45^\circ = 0,707 P \text{ değerinde olup kaynağı kesmeye,}$$

$$P_x = P \sin 45^\circ = 0,707 P \text{ değerinde olup kaynağı çekmeye zorlarlar.}$$

Bu durumda kaynak kesitine etki eden eğilme momenti  $M_e = \frac{P h}{4}$  dür.

Kaynak kesitinde gerilmenin düzgün yayıldığı kabul edilirse, kesme gerilmesi,

$$T_k = \frac{P_y}{0,707 \cdot lh} = \frac{0,707 \cdot P}{0,707 \cdot lh} = \frac{P}{lh}$$

çekme gerilmesi,

$$\sigma_c = \frac{P_z}{0,707 \cdot lh} = \frac{0,707 P}{0,707 \cdot lh} = \frac{P}{lh}$$

eğilme gerilmesi,

$$\sigma_e = \frac{M_e}{W_k} = \frac{Ph/4}{1 \cdot (0,707 h)^2 / 6} = \frac{Ph/4}{1 \cdot h^2 / 12} = \frac{3P}{lh} \text{ olur.}$$

$\sigma_c$  ve  $\sigma_e$  'nin aynı yönde etki ettikleri en dış lifteki maksimum normal gerilme,

$$\sigma_n = \sigma_c + \sigma_e = \frac{P}{lh} + \frac{3P}{lh} = \frac{4P}{lh} \text{ dır.}$$

Bu durumda eşdeğer gerilme,

$$\begin{aligned} \sigma_{es} &= \frac{\sigma_n}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{\sigma_n^2 + 4 T^2} \\ &= \frac{2P}{lh} + \frac{1}{2} \sqrt{\frac{16 P^2}{l^2 h^2} + \frac{4 P^2}{l^2 h^2}} \\ &= \frac{2P}{lh} + \frac{P \sqrt{5}}{lh} \\ &= \frac{4,236 P}{lh} \text{ bulunur.} \end{aligned}$$

Yükleme şartlarının eğilme gerilmesi oluşturma olasılığı varsa; Kaynağı bu durumdan kurtarmak için, tek bindirme bağlantılarından kaçınılmalı, dikişleri (Şekil 6.83-6.84 )' deki gibi çift olarak tertiplemelidir. Bu durumda bindirme uzunluğunun ince levha kalınlığının en az 4 katı olmasına dikkat etmek gerekir.

Eğilme gerilmesi kaynak tarafından taşınıyorsa, bir bindirme kaynağındaki normal gerilme,

$$\sigma_n = \sigma_s = \frac{P}{lh} \text{ ve eşdeğer gerilme,}$$

$$\sigma_{es} = \frac{P}{lh} + \frac{1}{2} \sqrt{\frac{P^2}{l^2 h^2} + 4 \frac{P^2}{l^2 h^2}}$$

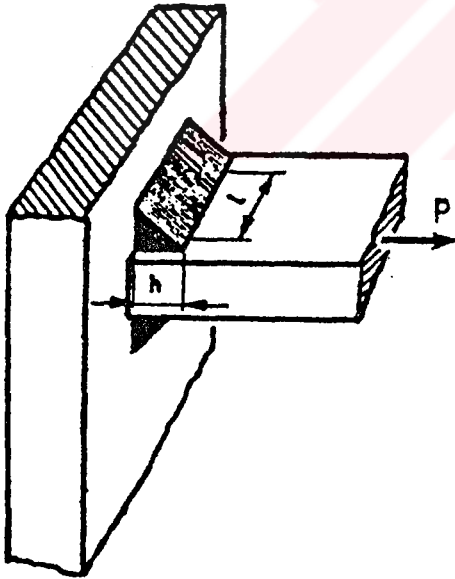
$$= \frac{P}{2lh} + \frac{P\sqrt{5}}{2lh}$$

$$= \frac{1,618 P}{lh} \text{ olur.}$$

Kayma söz konusu olmaz, kaynak kesiti P kuvveti ile çekmeye zorlanırsa ,

$$\sigma_s = \frac{P}{0,707 \cdot 1h} = \frac{P}{\sqrt{2/2} \cdot 1h} = \frac{2P}{\sqrt{2} \cdot 1h} = \frac{2\sqrt{2} P}{2 \cdot 1h} = \frac{1,414 P}{1h} \text{ bulunur.}$$

Bu formüle göre önceki formülün daha büyük değer verdiği görülmektedir. Hal böyle olmakla beraber uygulamada kayma yokmuş kabul edilip bu formül kullanılmaktadır.

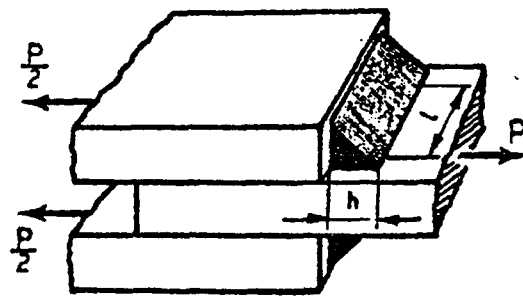


Şekil 6.82

$$T_k = \frac{P}{A_k}$$

$$A_k = 2 \cdot (0,707 l h)$$

$$= 1,414 l h$$

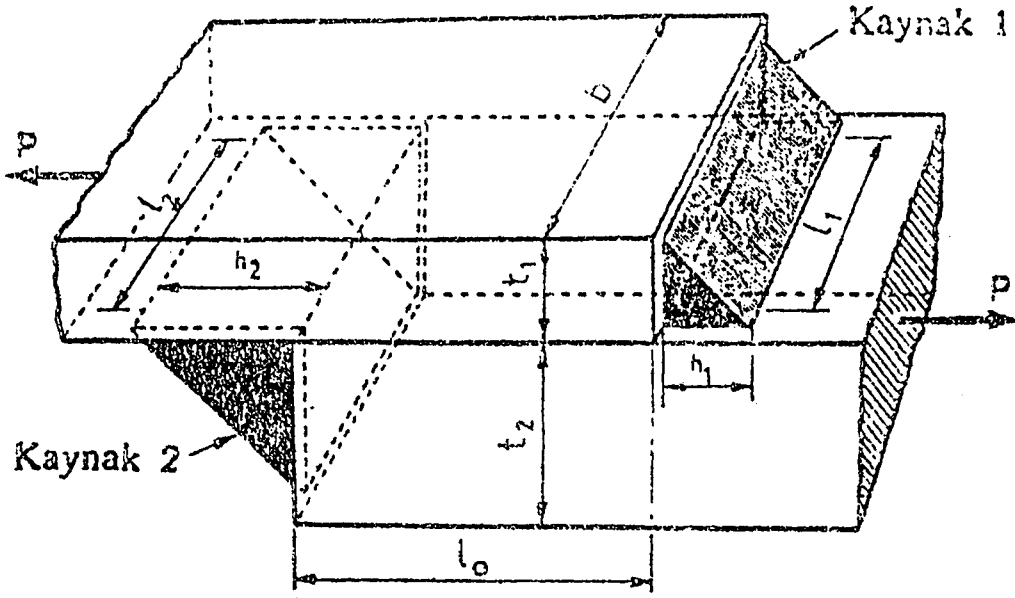


Şekil 6.83

$$T_k = \frac{P}{A_k}$$

$$A_k = 2 \cdot (0,707 l h)$$

$$= 1,414 l h$$

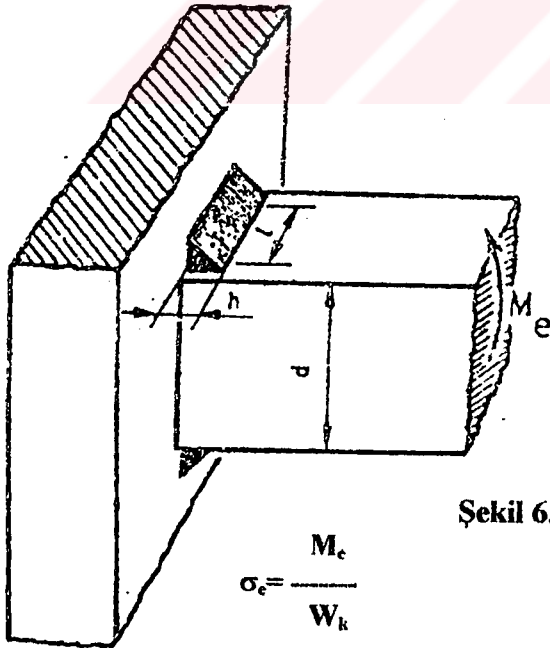


Şekil 6.84

Kaynaktaki gerilmeler levha kalınlıkları ile orantılıdır. Bu durumda,

$$T_1 = \frac{1,414 P t_1}{l_1 h_1 (t_1 + t_2)}$$

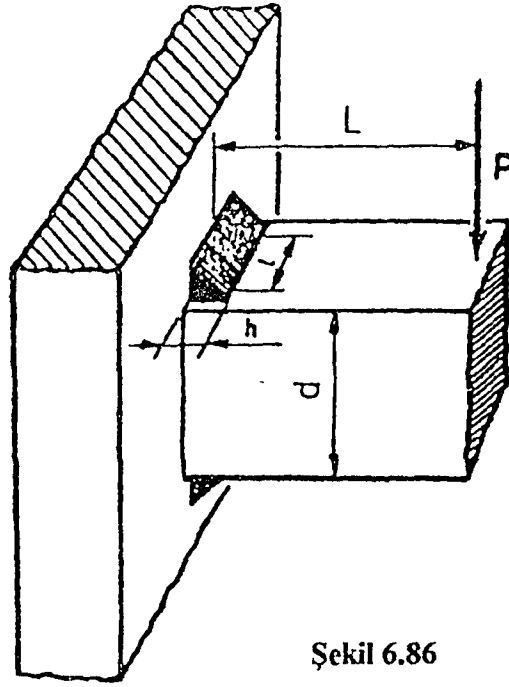
$$T_2 = \frac{1,414 P t_2}{l_2 h_2 (t_1 + t_2)} \quad \text{olur.}$$



Şekil 6.85

$$\sigma_e = \frac{M_e}{W_k}$$

$$W_k = 0,707 d l h \text{ (Yaklaşık)}$$



Şekil 6.86

Herbir kaynağın P kuvvetinin yarısını aldığını kabul edelim.

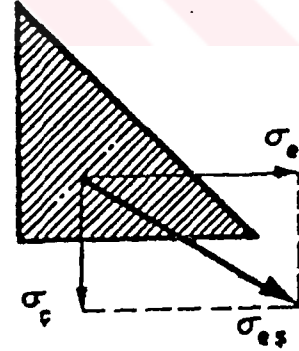
$$\sigma_s = \frac{P}{2A_k}$$

$$A_k = 0,707 \cdot l h$$

ilgili formüle göre  $M_e = P L$  olmak üzere,

$$\sigma_e = \frac{P L}{0,707 d l h} \text{ dır.}$$

Toplam gerilmeyi elde etmek için bu gerilmeler (Şekil 6.87) de açıklandığı gibi geometrik olarak toplanabilir. Bu durumda,



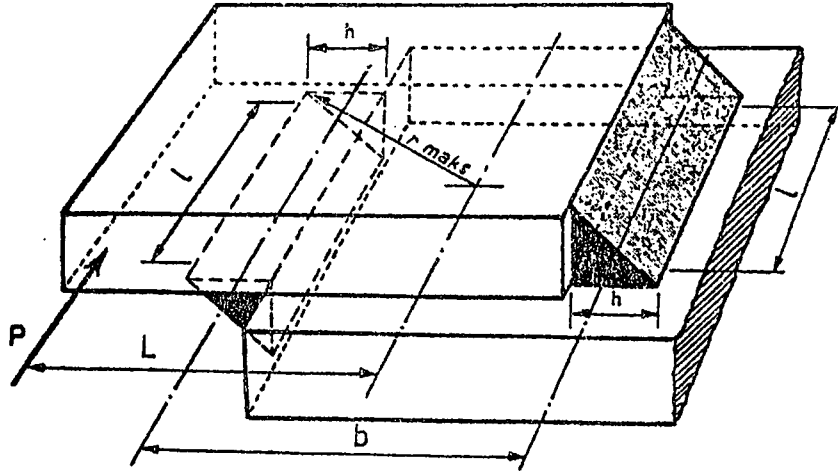
Şekil 6.89

$$\sigma_{es} = \sqrt{\sigma_s^2 + \sigma_e^2}$$

$$\sigma_{es} = \sqrt{\frac{P^2}{2 l^2 h^2} + \frac{2 P^2 L^2}{l^2 d^2 h^2}}$$

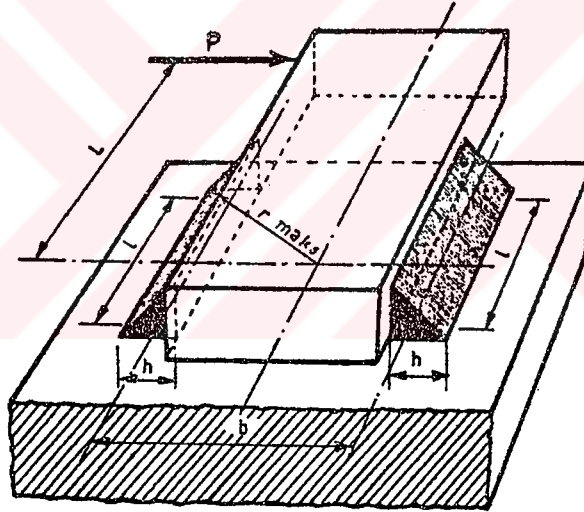
$$\sigma_{es} = \frac{0,707 P}{l h} \times \sqrt{1 + \frac{4 L^2}{d^2}}$$

olur.



Şekil 6.88

$$\sigma_{maks} = \frac{P L r_{maks}}{I_p}$$



Şekil 6.89

$$\sigma_{maks} = \frac{P L r_{maks}}{I_p}$$

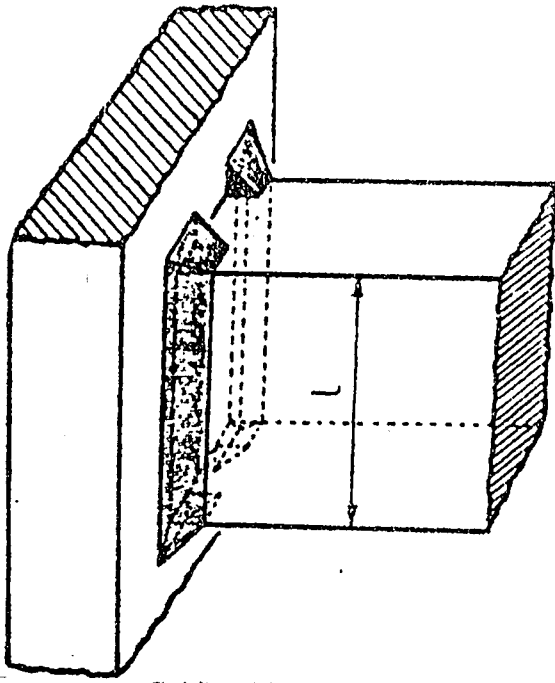
$I_p$

Kaynağın polar atalet momenti

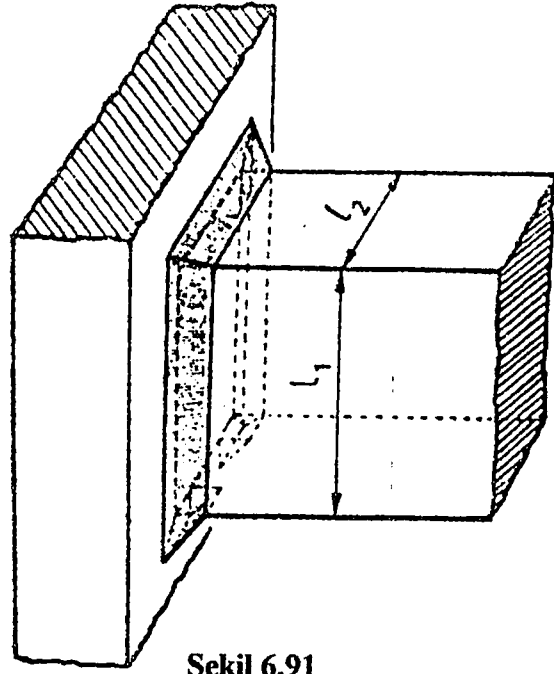
$r_{maks}$

Kaynağın ağırlık merkezinden en dıştaki lifin uzaklığı

Yukarıdaki her iki şekille ilgili bağıntı, deneysel sonuçlara oldukça yaklaşık değerler vermesi yönünden bazı el kitaplarında önerilmiş bulunmaktadır. Şüphesiz bu hesap tarzı yalnız dairesel kesitler için doğrudur. Bu durumda formülün ihtiyatla kullanılması gerekir.

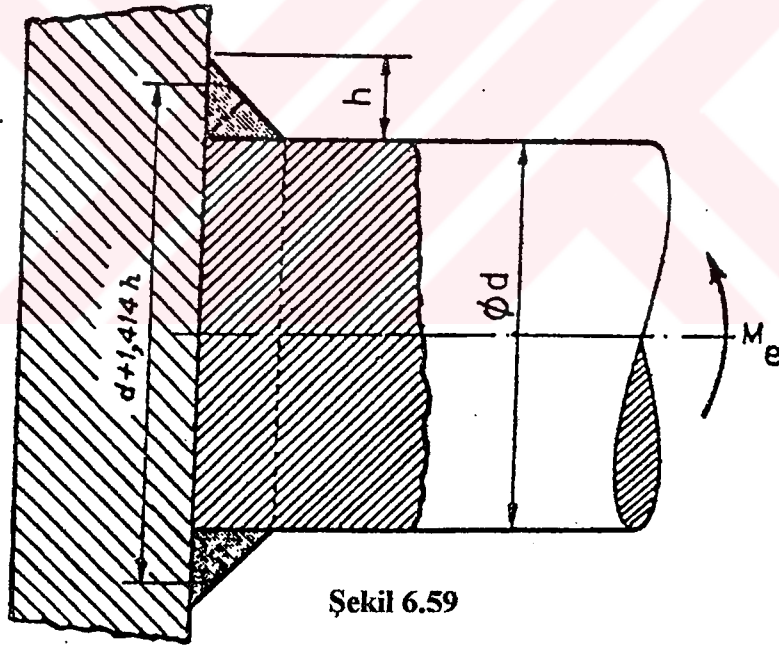


Şekil 6.90  
Faydalanılan uzunluk ( $2l$ )



Şekil 6.91  
Faydalanılan uzunluk ( $2l_1 + l_2$ )

Kaynak tabanı ( $h$ ) kadar olabilen köşe döndürme uzunlukları ile ilave bir mukavemet elde edildiği kabul edilmez. Bu durumda faydalanılan uzunluk (Şekil 6.90) de ( $2l$ ), (Şekil 6.91) da ise ( $2l_1 + l_2$ ) olarak gözönüne alınır.

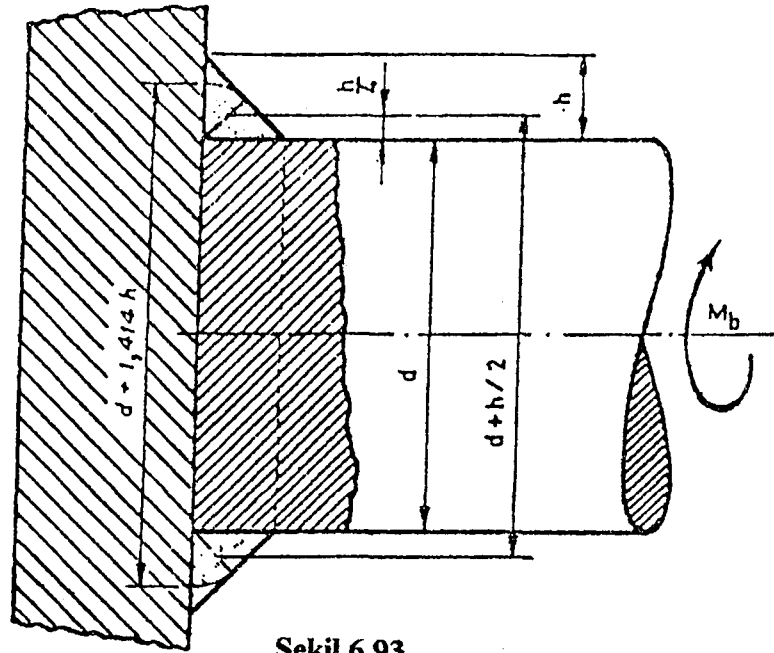


Şekil 6.59

Yalnız eğilme gerilmesi göz önüne alınırsa,

$$\sigma_e = \frac{M_e}{W_k}$$

$$W_k = \frac{(d + 1,414 h)^4 - d^4}{10.2 (d + 1,414 h)} \text{ dır.}$$

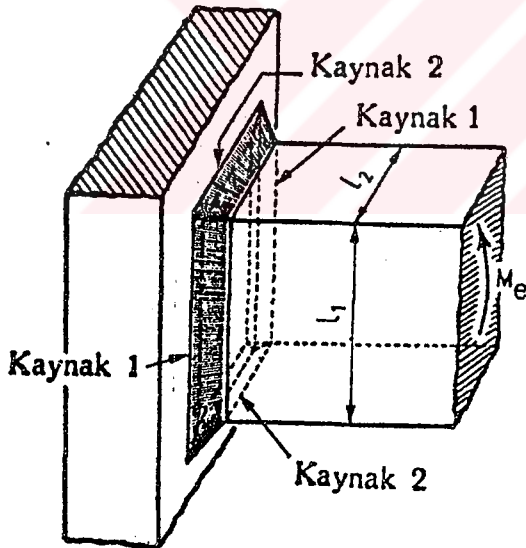


Şekil 6.93

Yalnız burulma gerilmesi gözönüne alınırsa;

$$T_b = \frac{M_b}{W_{pk}}$$

$$W_{pk} = \frac{\pi}{16 (d + 1,414 h)} [(d + 1,414 h)^4 - h^4]$$



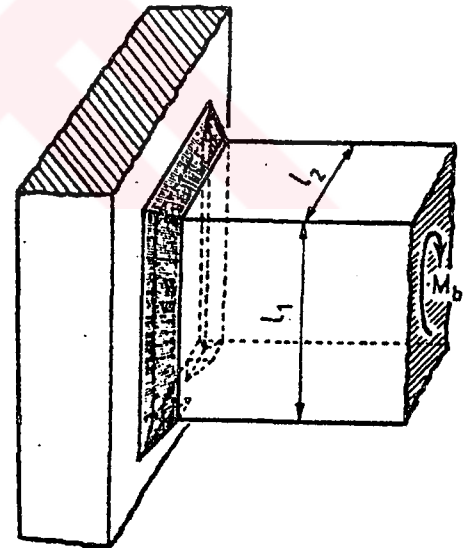
Şekil 6.94

Eğilmeye çalışan dikdörtgen kesitli bir çubukta, bütün kaynak dikişlerindeki maksimum gerilmelerin aynı olması kabul edilerek

$$4.24 M_e$$

$$\sigma_e = \frac{4.24 M_e}{h (l_1^2 + 3 \cdot l_1 l_2)}$$

bağıntısı kullanılır. (C.H.Jennings'e göre.)



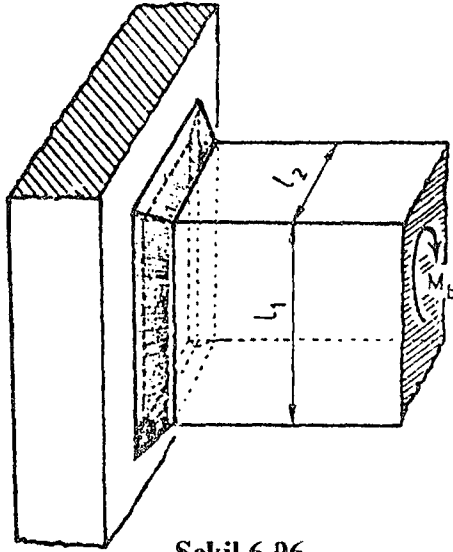
Şekil 6.95

Sürekli kaynak dikdörtgen kesitli çubuğun yalnız üç tarafını çevreliyorsa:

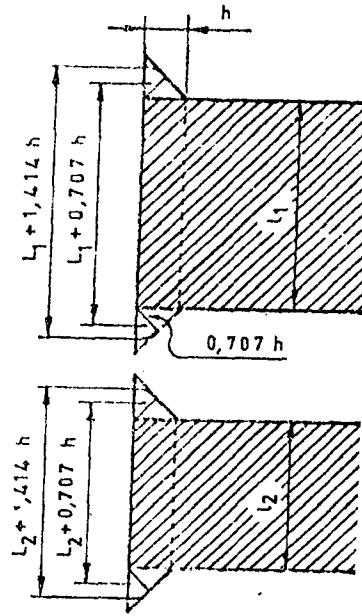
$$T_b = \frac{3 M_b}{l_0 (0,707 h)^2}$$

$$l_0 = 2 \cdot l_1 + l_2 + h$$

(C.Weber'e göre)



Şekil 6.96



Şekil 6.97

Burulmaya çalışan dikdörtgen kesitli bir çubuk için, (Şekil 6.60) de gösterilen, “Çepçevre alın kaynağı” durumunda olduğu gibi bir yol izlenebilir.

$$T_b = \frac{M_b}{2A (0,707 h)} ; A = (l_1 + 0,707 h) (l_2 + 0,707 h)$$

A, kaynak kesitindeki dikiş eksenlerinin çevrelediği alandır. (Şekil 6.97)

Şekil 6.63’deki bağıntı bu halde de kullanılabilir.  $M_b = PL$

$$T_b = \frac{M_b}{2A (0,707 h)} ; A = (l_1 + 0,707 h) (l_2 + 0,707 h)$$

Kaynakların merkezindeki P ‘ye paralel maksimum kayma gerilmesi,

$$T_k = \frac{P}{2 (0,707 \cdot l_2 h)} ; = \frac{0,707 P}{l_2 h} \text{ dir. (S.Timoshenko'ya göre.)}$$

## KAYNAKLAR

1. ASM Handbook, Volume 6, Welding Brazing and Soldering, 1993.
2. Metals Handbook, Volume 6, Welding, 1983
3. Welding Handbook, Volume 5, AWS, 1984
4. Anık, S., Kaynak Tekniği, Cilt 3, İTÜ Yayın No 1183, 1981
5. Anık, S., Tülbentçi, K., Kaluç, E., Örtülü Elektrod İle Elektrik Ark Kaynağı, Gedik Holding Yayını, 1991
6. TSE No 7536, 830 ve 10387
7. Cary, HB., Modern Welding Technology, Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1979
8. DIN Normları 8524 Part 1, 8563 Part 1, 8563 Part 3, 8563 Part 11, 8563 Part 30
9. Ertürk, İ., MIG/MAG Kaynak Yönteminde Kaynak Parametrelerinin Sıçrama Kayıplarına Etkilerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1994
10. Blodgett, O.W., Design of Welded Structures, Lincoln Arc Welding Foundation, Cleveland, 1996
11. ISO Standart No 5817
12. H.B. Cary, Modern Welding Technology, Prentice Hall, New Jersey, 1989
13. Lancaster, J.F., The Physics of Welding, International Institute of Welding, Pergamon Press, New York, 1984
14. Gour, L.N., Principles of Welding, Technology, Edward Arnold Ltd, London, 1980
15. Classification of Defects in Metallic Fusion Welds with Explanation, IIW Doc-340-69
16. Structural Welding Code, Steel, AWS D1.1-96
17. Lincoln Arc Welding, The Procedure Handbook of Arc Welding, The James F. Lincoln Arc Welding Foundation, 1994
18. Oğuz, B., Ark Kaynağı, Oerlikon Yayını, 1986
19. Tülbentçi, Prf.Dr.Müh.Kutsal., MIG-MAG Eriyen Elektrod İle Gazaltı Kaynağı, 1990
20. Yükler, Prf.Dr.İrfan- Çatalgöl, Yrd.Doç.Dr.Zarif., Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Kaynak Hataları ve Kaynak Kalitesi, İmalat Mühendisleri Seminer Notu, Ülker Fabr., 1995, İstanbul
21. Eminkahyağil, Oktay., Konstrüksiyon El Kitabı, 1981.