

GEV

Gedik Eğitim Vakfı

Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü

MIG-MAG

ERİYEN ELEKTROD İLE

GAZALTI KAYNAĞI

Prof. Dr.-Müh. Kutsal TÜLBENTÇİ

1990

Bu kitap, GEDİK HOLDİNG Basın Yayın ve Halkla İlişkiler servisi tarafından eğitim amacıyla endüstriye hizmet olarak yayınlanmıştır.

Tamamen ücretsizdir.

ÖNSÖZ

Ülkemizde Kaynak Teknolojisinin gelişimine çeyrek aşırı aşan bir süredir, özenli ve uyumlu bir katkıda bulunma gayreti içinde olan kuruluşumuz, Kaynak Malzeme ve Makinalarının üretiminin yanı sıra, güncel kuramsal ve uygulamalı bilgilerin, tüketicilere aktarılması hizmetinin de gerekliliği görüşünden hareket ederek, konunun uzmanı Prof. Dr. -Müh. Kutsal TÜLBENTÇİ'ye bu kitabın hazırlanması ricasında bulunmuştur. Kendilerine bu değerli yardımları için teşekkürlerimizi sunarız.

Son yıllarda gelişmiş endüstri ülkelerinde olduğu gibi, ülkemizde de büyük bir yayılma gösteren MIG/MAG yöntemi konusunda her türlü kuramsal bilgiler, yeni gelişmeler de irdelenerek bu kitabın kapsamına alınmıştır.

Bu kitap, özel işletmelerin, kamu yöntemi kuruluşlarının kaynak ile ilgili kademelerinde görevli tüm elemanlarca sürekli olarak başvurulacak bir el kitabı ve yararlı bir yardımcı olacak niteliktedir.

Kitabın, konu ile ilgilenen herkes için yararlı olmasını diliyoruz.

**Saygılarımızla,
GEDİK HOLDİNG A.Ş.**

İÇİNDEKİLER

ERİYEN ELEKTROD İLE GAZALTI KAYNAK YÖNTEMLERİ	1
MIG-MAG KAYNAK DONANIMI	9
• Kaynak Torçları	9
• Torç Bağlantı Paketi	14
• Tel Sürme Tertibatı	14
• Kumanda Tertibatı	18
• MIG-MAG Kaynağı Akım Üreteçleri	19
• Koruyucu Gaz Tüpleri	23
MIG-MAG KAYNAK YÖNTEMİNDE KULLANILAN KORUYUCU GAZLAR	27
• Asal Gazlar	28
• Karbondioksit (CO ₂)	29
• Karışım Gazlar	30
MIG-MAG YÖNTEMİNDE KAYNAK ELEKTRODLARI	35
• MIG-MAG Kaynak Yönteminde Elektrod Seçimi	35
• Çeliklerin Kaynağında Kullanılan Elektrodlar	36
• Çeliklerin Kaynağında Kullanılan Tel ve Özlü Elektrodların Sınıflandırılması	39
• Demir Dışı Metal ve Alaşımların Kaynağında Kullanılan Tel Elektrodlar	50
MIG-MAG KAYNAĞINDA ARK TÜRLERİ VE	
ARKTA KAYNAK METALİ TAŞINIMI	57
• Kısa Ark	60
• Uzun Ark (Globüler Metal Taşınımı)	60
• Sprey Ark	63
• Darbeli Ark	63
• Ark Türlerinin Uygulamada Seçimi	66
KAYNAK PARAMETRELERİNİN SEÇİMİ	69
• Kaynak Öncesi Saptanan Parametreler	70
• Koruyucu Gaz Türü	71
• Birinci Derece Ayarlanabilir Parametreler	72
• İkinci Derece Ayarlanabilir Parametreler	85
• Torç Manipülasyonları	89
METAL VE ALAŞIMLARIN MIG-MAG YÖNTEMİ İLE KAYNAKLANABİLİRLİĞİ	95
• Karbonlu ve Az Alaşımlı Çeliklerin Kaynağı	99
• İnce Taneli Yapı Çeliklerinin Kaynağı	118
• Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı	130
• Alüminyum ve Alaşımlarının Kaynağı	137

• Bakır ve Alaşımlarının Kaynağı	142
• Magnezyum Alaşımlarının Kaynağı	143
• Nikel ve Alaşımlarının Kaynağı	144
KAYNAK AĞIZLARININ HAZIRLANMASI	145
KAYNAK HATALARI	155
• Nüfuziyet Azlığı	155
• Birleştirme Azlığı (Yetersiz Erime)	156
• Yanma Olukları veya Çentikler	157
• Bindirme Dikişlerinde Levha Kenarlarının Erimesi	158
• Kalıntılar	158
• Çatlaklar	158
• Esas Metalde Oluşan Çatlaklar	159
• Kaynak Dikişinin Taşması	161
• Gözenekler	161
• Hatalı Kaynak Şekli ve Boyutu	167
• Sıçramalar	168
• Dikiş Yüzeyinin Fena Görünüşü	168
MIG-MAG KAYNAĞINDA İŞ GÜVENLİĞİ	169
• Elektrik Şoku (Elektrik Çarpması)	169
• Ark Işınımı	170
• Hava Kirlenmesi	171
• Basıncılı Gaz Tüpleri	173
• Yangın Tehlikesi	173
MIG-MAG KAYNAK YÖNTEMİNİN ENDÜSTRİYEL UYGULAMALARI	175
• Basıncılı Kap Üretimi	175
• Endüstriyel Boru Tesisatı	178
• Boru Hatları (Pipe Line)	178
• Nükleer Endüstri	180
• Metal Yapılar	180
• Gemi Yapımı	182
• Demiryolu Taşıtları	183
• Otomotiv Endüstrisi	185
• Uçak Endüstrisi	187
• Ağır Teçhizat Endüstrisi	188
• Doldurma ve Tamir Kaynağı	190
• MIG-MAG Kaynak Yönteminin Değişik Uygulamaları	191
• MIG-MAG Nokta Kaynağı	191
• Dar Aralık Kaynağı	193
• Özlü Tel İle MIG-MAG Uygulamaları	194
MIG-MAG KAYNAK YÖNTEMİNDE MEKANİZASYON VE OTOMASYON	201
• Mekanik ve Elektromekanik Donanımlar	203

• Kaynak Robotları	203
• Kaynak Torcu	205
• Tel Sürme Tertibatı	205
• Akım Üretici	206
• Koruyucu Gaz	206
• Pozisyonerler	206
• Kaynak Hızı	209
• Kaynağın Tekrar Edilebilirliği	209
• Robotun Taşıma Kapasitesi	209
• Ara Birim İşlemi (Interfacing) ve Sinyalleme	209
• Kaynak Robotlarının Endüstriyel Önemi	210
KAYNAKÇA	212

ERİYEN ELEKTROD İLE GAZALTI KAYNAK YÖNTEMLERİ (MIG - MAG)

Örtülü elektrod kullanarak, el ile yapılan ark kaynağının en büyük dezavantajları, güvenilir bir bağlantı elde edilebilmesi için kaynakçının belirli bir düzeyde yetiştirilmiş olması ve kaynak hızının sınırlı oluşudur. Bu iki husus da sonucun pahalı olmasına ve acele yapılması gereken işlerin belirli bir termin süresinden önce bitirilememesine neden olmaktadır. Özellikle kalın parçaların kaynağında, kaynak süresi çok uzun olmaktadır; zira elektrod çapı belirli bir ölçüden sonra arttırılamamaktadır; örneğin 6 mm.'den daha kalın çaplı elektrodlar kullanıldığında, kaynakçının işlem esnasında kaynak banyosuna hâkimiyeti güçleşmektedir.

Kaynak esnasında, cürufun temizlenmesi ve elektrod değiştirilmesi için sarfedilen zaman genellikle bilfiil kaynak süresini aşmaktadır. Her elektrodun uç kısmında birkaç santimlik bir kısım (koçan) kullanılmadan atılmakta ve bu da maliyeti etkilemektedir. Akım şiddetini arttırarak erime süresini kısaltmak da iyi sonuç vermemektedir, zira bu kaynak yönteminde elektrod fazlaca ısındığından örtü ark bölgesinden evvel yanarak bozulmakta ve kendinden beklenen görevi yerine getirememektedir. Ayrıca el ile yapılan kaynaktaki hızın, belirli bir değerin üzerine çıkması kaynakçının, kaynağa hâkimiyetini güçleştirmektedir.

Kaynak maliyetini düşürmek, termin süresini kısaltmak ve kaynakçı faktörünün dikişin kalitesine olan etkisini azaltmak için, günümüz teknolojisi otomatik veya mekanize kaynak yöntemleri diye adlandırılan bazı modern yöntemler geliştirmiştir.

Bütün bu kaynak yöntemlerinde ana tema, çıplak elektrod telini mekanik bir tertibat yardımı ile otomatik olarak sürekli ilerletip, akımı, ark bölgesine çok yakın bir yerden vererek telin yüklenebileceği akım şiddetini arttırıp erime gücünü yükseltmektedir. Yalnız burada en önemli husus, elektrod örtüsünün görevini yükleneyecek bir faktörün devreye sokulmasıdır.

Bu önemli konuyu açık bir şekilde görebilmek için, örtülü elektrod ile yapılan elektrik ark kaynağında, örtünün sağladığı faydaları hatırlamakta yarar vardır.

Örtünün görevleri şunlardır:

- 1.- Bir koruyucu gaz atmosferi oluşturarak kaynak banyosunu havanın oksijen ve azotunun olumsuz etkilerinden korur ve banyoyu dezokside eder.
- 2.- Arkın tutuşmasını ve oluşumunu kolaylaştırır.
- 3.- Eriyen metal damlalarının yüzey gerilimini etkileyerek tavan ve dik kaynak pozisyonlarında kolaylık sağlar.
- 4.- Kaynak dikişinin üzerini bir cüruf tabakası ile örterek, dikişin yavaş soğumasına yardımcı olur.
- 5.- Kaynak banyosuna gerekli alaşım elementlerini katarak, dikişin mekanik özelliklerini istenen yönde geliştirir.
- 6.- Erime hızını yükseltir.

Elektrod örtüsünün bu görevleri içinde en önemlisi ve en vazgeçilemezi bir koruyucu gaz atmosferi oluşturarak, kaynak banyosunu havanın oksijen ve azotunun olumsuz etkilerinden korumasıdır; şu halde, örtünün yerini alacak olan nesne muhakkak bu görevi yüklenmiş olmalıdır. Bu konuda yapılan çalışmalar sonucunda iki ayrı yoldan gidilerek, bugün tozaltı ve gazaltı diye adlandırdığımız kaynak yöntemleri geliştirilmiştir.

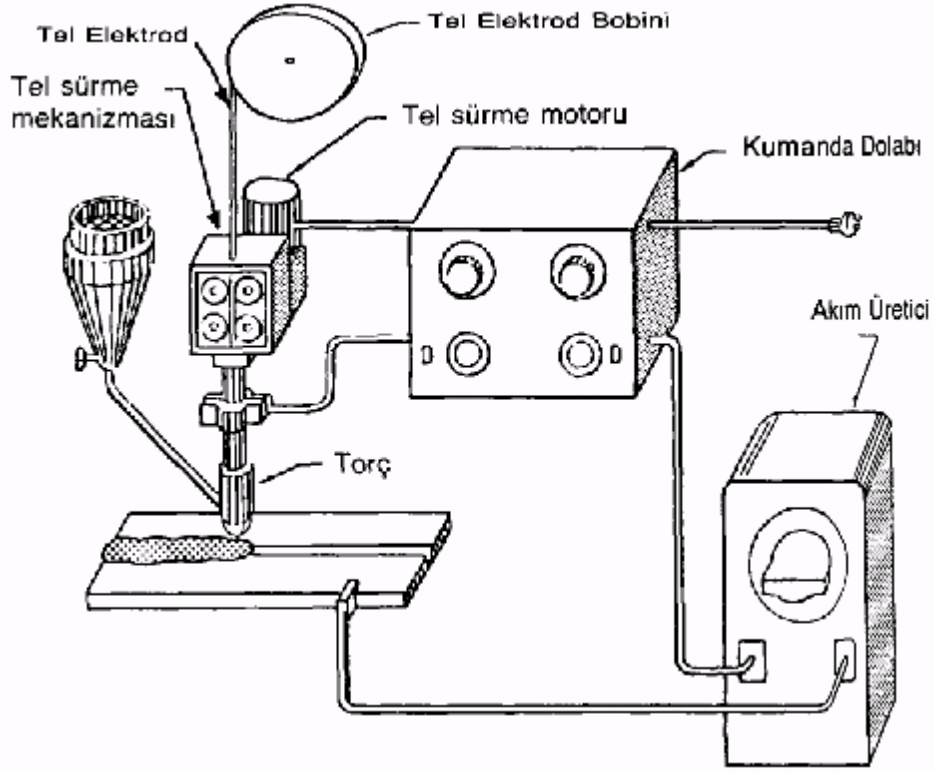
Tozaltı kaynak yöntemi, ilk defa 1933 yılında, ABD'de bulunmuş ve 1937 yılından itibaren de Avrupa'da kullanılmaya başlanmıştır.

Bu kaynak yönteminde ark, bir mekanizma tarafından otomatik olarak kaynak bölgesine gönderilen çıplak tel ile iş parçası arasında oluşur ve bir kanaldan devamlı olarak üzerine gelen, özel bir toz altında yanar. Ark, bir toz örtüsü altında kaldığından etrafa ışınım yapmaz ve bu şekilde ark enerjisinin büyük bir kısmı (takriben % 64'ü) doğrudan doğruya kaynak için sarf edilmiş olur.

Tozaltı kaynak yönteminde, tel elektroda, uç kısmına yakın bir yerden ve özel bir bakır kontakt tarafından, akım verildiğinden, çok yüksek akım şiddetlerine çıkmak mümkündür. Bu bakımdan, tozaltı kaynak yöntemi çok güçlü bir kaynak yöntemidir ve bir paso ile takriben 85 ve iki paso ile 180 mm.'ye kadar kaynak yapabilme olanağı sağlar. Akım şiddetinin yüksekliği büyük bir kaynak banyosu oluşturur ve tahmin edilmeyecek derecede derin bir nüfuziyet sağlar.

Tozaltı kaynak tekniğinin avantajlarını şöyle sıralayabiliriz:

- 1.- Çok yüksek erime gücüne sahiptir.
- 2.- Derin nüfuziyetli kaynak dikişleri elde edilir. İki taraftan birer paso ile 20 mm. kalınlığındaki bir sacı, kaynak ağzı açmadan kaynatmak mümkündür.
- 3.- Sıçrama ve elektrod artığı kaybı yoktur.
- 4.- Elektrik enerjisinin büyük bir kısmı kullanıldığından verim çok yüksektir.

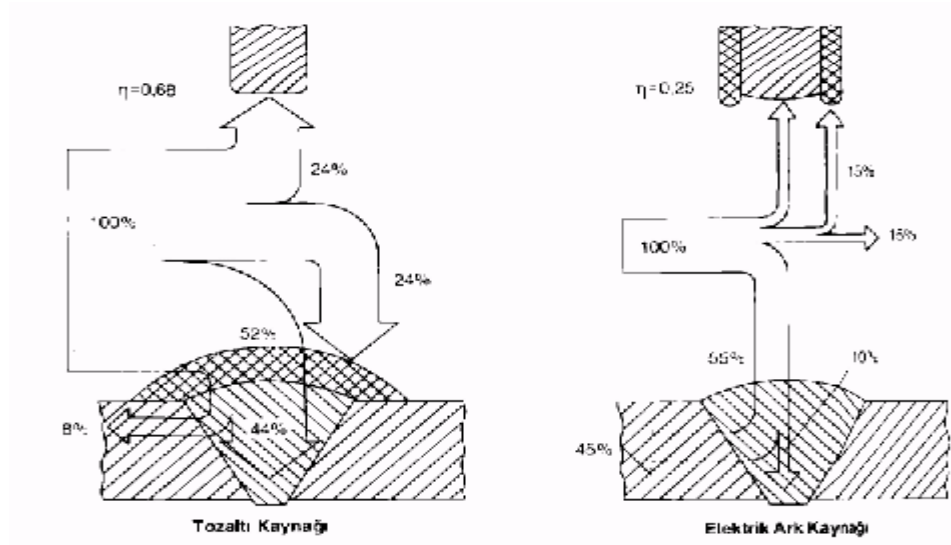


Şekil 1 — Tozaltı kaynak yöntemi prensip şeması.

5.- Otomatik makinalarla çalışıldığından, kaynak hızı yüksektir. Usta işçiye gerek göstermez. İşçi bedenen yorulmaz ve işçilikten kaynaklanan hatalara rastlanılmaz.

Bu önemli avantajlara sahip tozaltı kaynak tekniğinin de bazı dezavantajları vardır ki, bunlar uygulama alanını sınırlandırmaktadırlar; bu yöntem ince saçlar için elverişli değildir; el ile kullanılmak üzere geliştirilmiş donanım iyi sonuç vermemiştir; bu bakımdan otomatik kullanımı gerekli olduğundan parçanın şekli, iletme tertibatının yörüngesine uygun olmalıdır. Tozaltı kaynak tekniği, ancak yatay kaynak dikişleri için uygundur, her ne kadar bugün özel bir tertibatla dik ve korniş kaynağı yapabileme olanağı elde edilmiş ise de, tavan kaynaklarını bu yöntem ile birleştirebilme olanağı yoktur; boru kaynağında ancak boru döndürüldüğü takdirde bu yöntemle kaynak yapmak mümkün olmaktadır ve kısa dikişler halinde makinanın ayarlanması için kaybedilen zaman gözönüne alındığında, sonuç ekonomik olmamaktadır.

Tozaltı kaynak yöntemi ile sadece çeliklerin kaynatılabilmesi; araştırmacıları, diğer endüstriyel metal ve alaşımların kaynağı için de otomatik bir yöntem geliştirmeye zorlamıştır.

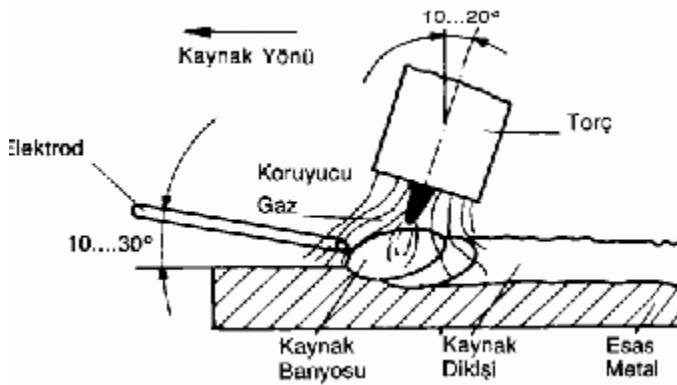


Şekil 2 — Örtülü elektrod ile yapılan elektrik ark kaynağı ve tozaltı kaynağında ısı bilançosu.

Bu konuda, kaynakta ark bölgesini korumak için, 1930'lu yılların başlarından beri bilinmekte olan TIG kaynağının prensibinden hareket edilmiştir.

Tungsten Inert Gas kelimelerinin ilk harflerinden oluşmuş TIG kelimesi ile adlandırılan bir yöntemde kaynak için gerekli ısı enerjisi bir Tungsten elektrod ve iş parçası arasında oluşturulan ark tarafından sağlanmakta ve kaynak bölgesi de elektrodu çevreleyen bir lüleden gönderilen, bir asal gaz (Helium veya Argon) tarafından korunmaktadır.

Kaynak için ilave metal, gerektiğinde, oksi-asetilen yönteminde olduğu gibi, tel halinde kaynakçı tarafından kaynak bölgesine sokulmaktadır.



Şekil 3 — TIG kaynak yönetiminde ark bölgesi

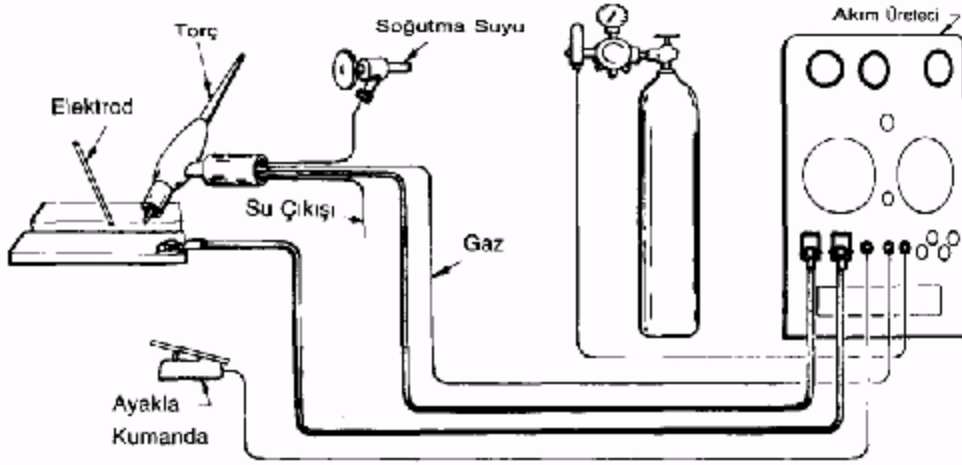
TIG kaynak yöntemi çok geniş bir uygulama alanına sahiptir, demir esaslı alaşımların kaynağında ve endüstride karşılaşılan demir dışı metal ve alaşımların çok büyük bir kısmının kaynatılmasında başarı ile kullanılabilmekte ve bütün kaynak pozisyonlarında sağlıklı sonuçlar alınabilmektedir. Bu yöntem ince

levhaların kaynağında çok başarılı sonuçlar vermesinin yanısıra kalın parçalara da kolaylıkla uygulanabilmektedir.

Erimeyen Tungsten elektrod kullanılması, gerektiğinde esas metal eritilerek, ilave kaynak metaline olan gereksinmeyi de ortadan kaldırmaktadır.

Bu yöntemde kaynak süresince kaynakçı kaynak banyosunu çok iyi bir biçimde görebilmekte, dolayısı ile de kontrol altında tutabilmektedir; banyo üzerinde cüruf olmayışı da dikişte cüruf kalma tehlikesini ortadan kaldırmaktadır.

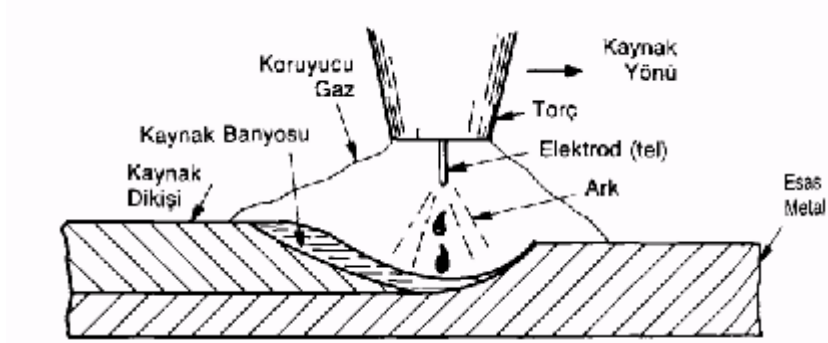
Önceleri sadece doğru akım ile kullanılan bu yöntem yüksek frekans stabilizasyon sisteminin geliştirilmesi ile alternatif akım ile de uygulanabilir hale gelmiştir.



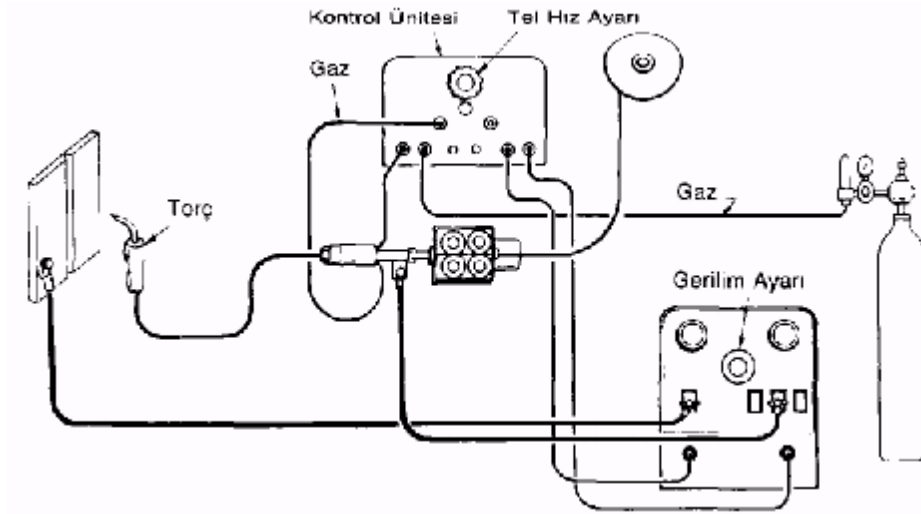
Şekil 4 — TIG kaynak donanımı blok şeması.

Yapılan araştırmalar sonucu, ilk defa ABD'de alüminyum ve alaşımlarının sonra da sırası ile yüksek alaşımlı çeliklerin, bakır ve alaşımlarının, karbonlu çeliklerin kaynağında uygulanmış olan MIG (Metal Inert Gas) kaynak yönteminde de ark, helium veya argon gibi asal bir gaz atmosferi altında yanar; bu yöntemin TIG yönteminden farkı, arkın iş parçası ve kaynak metali gereksinimini karşılayan bir elektrod arasında oluşturulmasıdır.

Eriyen elektrod ile gazaltı kaynağı çok geniş bir uygulama alanına sahiptir, çok ince levhalar hariç, her kalınlıktaki demir esaslı ve demir dışı metal ve alaşımların kaynağında kullanılabilir.



Şekil 5 — MIG kaynak yönteminde ark bölgesi



Şekil 6 — MIG kaynak donanım blok şeması.

Bu yöntemin uygulanması çok basittir, operatör hiçbir zorlukla karşılaşmaz; toprak kablosunu iş parçasına bağlayıp, torçun ucundaki tel elektrodu kaynak ağzına değdirmek kâfi gelmektedir, zira sistem uygun ark boyunu, kendisi otomatik olarak sabit tutmaktadır.

Uygulama kolaylığı nedeni ile bütün demir dışı metal ve alaşımlarının kaynağında çok popüler ve arandığı bir yöntem haline gelen MIG yönteminin sade karbonlu ve az alaşımlı çelikler için uygulama alanı bulamamasına asal gazın pahalılığı neden olmuştur.

Bilindiği gibi sade karbonlu ve az alaşımlı çeliklerin örtülü elektrod ile kaynağında ark bölgesi, örtünün yanması veya ayrışması sonucu ortaya çıkan CO₂ tarafından havanın olumsuz etkilerinden korunmaktadır; bu olaydan hareket edilerek CO₂'nin koruyucu gaz olarak kullanıldığı ilk denemeler iyi sonuç vermemiş, çok fazla sıçrama ve dikişte aşın porozite ile karşılaşmıştır. Araştırmalar bunun nedeninin CO₂'nin safiyetsizliği ve içerdiği rutubet olduğunu ortaya koymuştur.

1950'li yılların başlarında bilhassa otomobil endüstrisinde, tam otomatik olarak çalışan, yüksek erime güçlü, çok hızlı sadece yatay pozisyonda çalışabilen, CO₂ koruyucu gazlı kaynak makinaları kullanılmaya

başlanmıştır; bu yöntemde görülen sadece yatay pozisyonda çalışabilme olanağı ve fazla miktarda sıçrama araştırmacıları bu doğrultuda çalışmalara yöneltmiştir.

CO₂ gibi aktif bir koruyucu gazaltında yapılan bu kaynak yöntemine Metal Active Gaz kelimelerinin baş harflerinden yararlanılarak MAG adı verilmiştir.

Kısa devre halinde, akımı sınırlayan reaktanslı akım üreteçleri geliştirilerek, kısa ark boyu ile çalışılarak sıçrama minimuma indirgenmiştir; diğer önemli bir gelişme de ince çaplı elektrod kullanabilme olanağı sağlanmıştır. Bu şekilde, her ne kadar elektrodun akım yoğunluğu artırılmış ise de, arkın oluşturduğu ısı azalmıştır. Akım yoğunluğunun artması, arkı yoğun ve istenilen yöne kontrollü olarak doğrultulabilir hale getirmiş ve dolayısı ile de her pozisyonda kaynak yapabilen bu yöntemde önceleri sadece CO₂ kullanılmıştır. Günümüzde gereken hallerde, arkı yumuşatmak, sıçramayı azaltmak için CO₂e argon karıştırılıp kullanılmaktadır; karışım oranı % 75 argona kadar çıkmaktadır. Bu yöntemde bir üçüncü gelişme de çeşitli bileşimde koruyucu gazlar ile sprey ark yönteminin bulunmasıdır. Argon içine çok az miktarda oksijen ilave ederek çeliklerin kaynağında bu yöntemin uygulanması sonucu, kalın çaplı elektrodlarla her pozisyonda çalışılabilmekte ve çok düzgün kaynak dikişleri elde edilmektedir.

Son yıllarda geliştirilen, darbeli akım yönteminde, kaynak akımı, ayarlanan frekansta bir alt ve bir üst değer arasında değiştirilerek iş parçasına aktarılan ısı girdisi minimumda tutularak, özellikle ince parçalarda çarpılma azaltılmıştır.

Sanayileşmiş ülkelerde günümüzün en popüler yarı otomatik kaynak yöntemi olan MIG-MAG yöntemi son yıllarda ülkemizde hızla yayılmaktadır. Gerek makinası ve gerekse tel elektrod üretimindeki hızlı artış bunun en önemli göstergesidir.

MIG - MAG KAYNAK DONANIMI

Bir MIG kaynak donanımı şu kısımlardan oluşur:

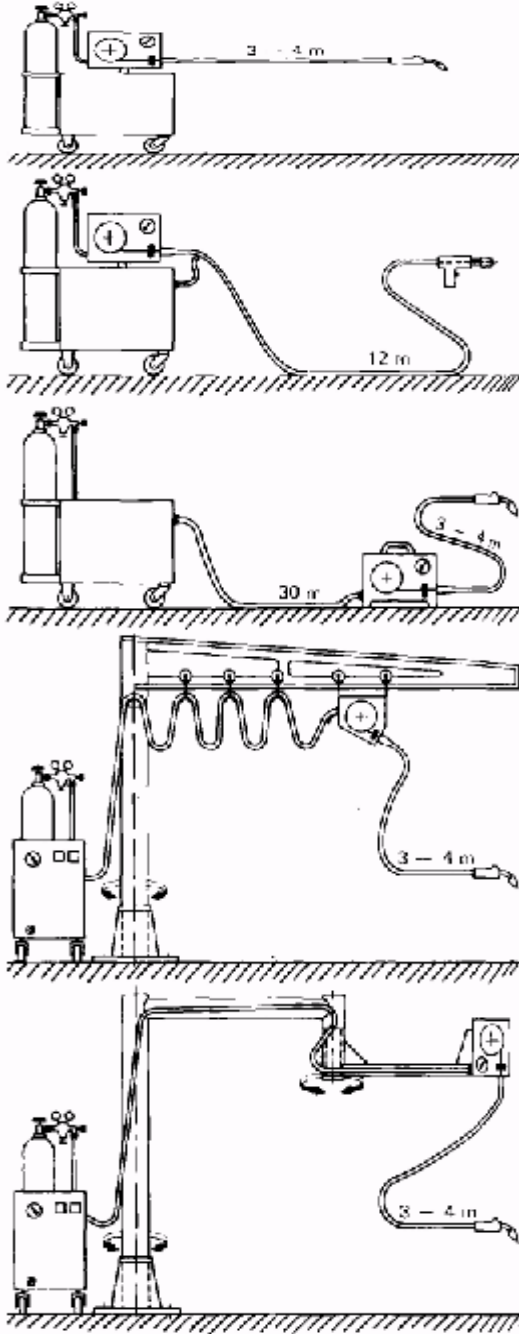
- 1.- Kaynak tabancası diye de adlandırılan bir kaynak torcu.
- 2.- Tel şeklindeki elektrod ve muhafazasını, kaynak ve şalter kabloğunu, gaz hortumunu ve gerektiğinde soğutma suyu giriş ve çıkış hortumlarını bir arada tutan metal spiral takviyeli hortum; torç bağlantı paketi.
- 3.- Tel şeklindeki elektrodun hareketini sağlayan tertibat.
- 4.- Kaynak akımının geçişini, soğutma suyunun devreye girişini, koruyucu gazın akışını ve telin hareketini sağlayan kumanda dolabı.
- 5.- Kaynak akım üretici.
- 6.- Üzerinde basınç düşürme ventili ve gaz debisi ölçme tertibatı bulunan koruyucu gaz tüpü.

KAYNAK TORÇLARI

MIG-MAG kaynağında tel elektrodta akımın yüklenmesi.ark bölgesine koruyucu gazın gönderilmesi torcun görevidir. Arkın çok yakınında bulunması nedeni ile özellikle, yarı otomatik yöntemlerde operatörün

sıcaklıktan mümkün olduğu kadar az etkilenmesi için çeşitli biçimlerde torçlar geliştirilmişse de günümüzde en yaygın olarak kullanılanı, oksii-asetilen üflecini andıran biçimde bükülmüş olan türüdür; tel elektrodun spiral içinde itilerek iletilmesi çok zor olan alaşımlar için tabanca şeklinde, üzerinde tel iletme tertibatı ve ufak bir tel kangalı bulunduran torçlar da üretilmektedir.

MIG - MAG yönteminde tel elektrod sürekli olarak ilerlediği için tele elektrik iletimi bir kayar kontak ile sağlanır. Tel torcu terketmeden biraz evvel bakır esaslı bir kontak lülesi içinden geçerken kaynak akımı ile yüklenir; bu kontak lülesine konsantrik olarak, torcun ağız bölgesinde bir gaz lülesi (nozül) bulunur ve bu lüle sayesinde, koruyucu gaz akımı laminar olarak (girdapsız olarak) kaynak bölgesine sevk edilir.



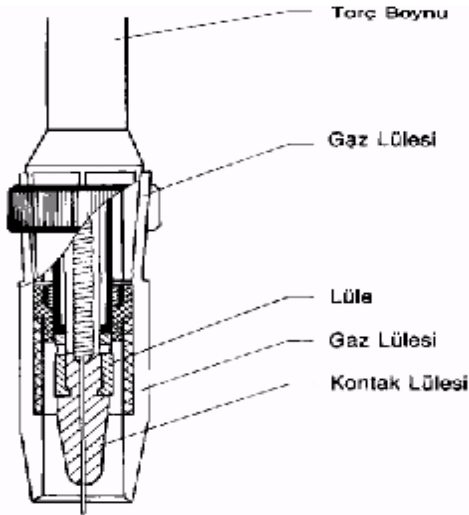
Şekil 7 — Çeşitli tür MIG - MAG kaynak donanımları.

Ark sıcaklığından etkilenen torcun sürekli olarak soğutulması gereklidir; düşük akım şiddetlerinde yapılan çalışmalarda koruyucu gaz akımı gerekli soğutmayı yapabilmektedir. Kalın elektrodların, yani yüksek akım şiddetlerinin kullanılması halinde ise (I 250 A) su ile soğutma sistemi gereklidir. Su ile soğutma, doğal olarak düşük akım şiddetlerinde de daha iyi bir soğutma yaparsa da, uygulamada torç-ta sızdırmazlığın sağlanması için kullanılan contaların bakımı külfetli olduğundan tercih edilmez.

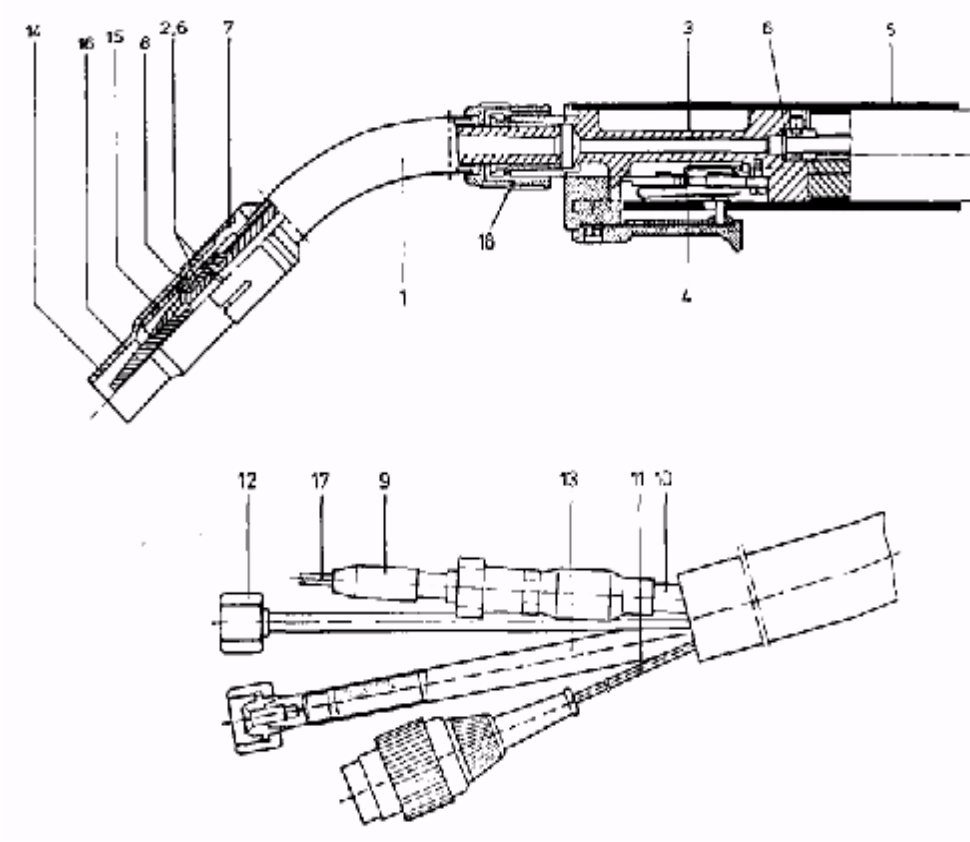
Torcun ark sıcaklığından en fazla etkilenen parçaları gaz ve kontak lüleleridir; kontak lülesi, sıcaklığın yanı sıra hareket halindeki tele, kısa bir bölgede akımı ilettiğinden, yüksek bir akım şiddetinin ve kaynak banyosundan sıçrayan metal damlacıklarının etkisine de maruz kalmaktadır.

Yüksek sıcaklık aşınmayı artırarak telin geçtiği deliğin büyümesine ve dolayısı ile tele elektrik iletiminin zorlanmasına neden olur. Uygulamada, akım şiddetinin üst sınırlarında çalışılması halinde, kısa bir süre sonunda tel ilerleme hızında düzensizlikler görülmeye başlar, bu telin aşırı ısınmış kontak lülesi içinde sürtünmesinin artmasından ortaya çıkmaktadır; bu olay temas düzensizliğine yol açtığından, arkin stabilitesini kaybetmesine, kaynaklı bağlantının da kalitesini yitmesine neden olur. Uygun akım şiddetlerinde de eğer ısınma ortaya çıkıyorsa kontak lülesinin montajına dikkat etmek gereklidir; lüledeki sıcaklığın geriye iletilmesi bağlantı soketinin tam yerine oturmaması veya temas yüzeylerinde yabancı madde (pislik v.b.) bulunması nedeni ile önlenmiş olabilir.

Kontak lülesinin aşırı ısınması bu olayın dışında başka birçok nedenle de ortaya çıkabilir; örneğin lülenin banyodan olan mesafesi, kontak kalitesi lülenin malzemesi, koruyucu gaz türü, ark boyu, ağız türü, iş parçası sıcaklığı ve iş parçasının ısı yansıtma özeliği gibi...

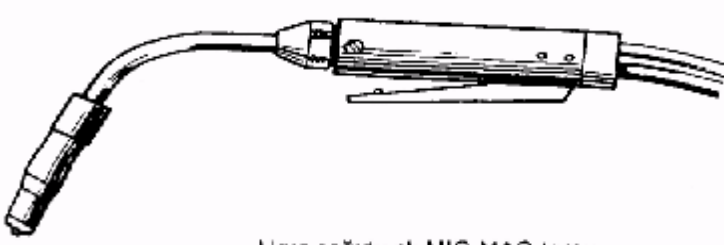


Şekil 8 — Kaynak torcu uç kısmı kesiti

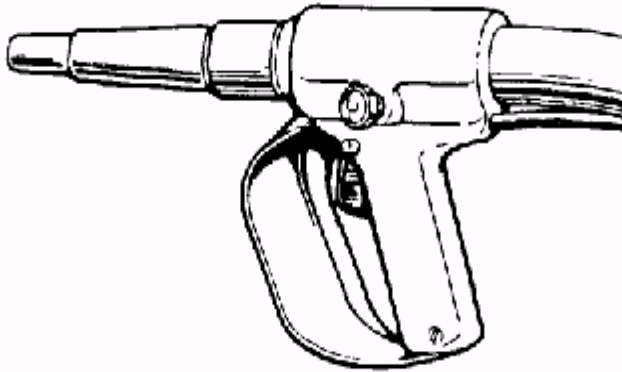


- | | |
|--------------------------|-------------------------------|
| 1 Torç Boynu | 10 Kılavuz Hortumu |
| 2 Kontak Lülesi Tutucusu | 11 Şalter Kablosu |
| 3 Torç Gövdesi | 12 Gaz Hortumu |
| 4 Torç Şalteri | 13 Akım Kablosu |
| 5 Kabza | 14 Gaz Lülesi |
| 6 Conta | 15 İzolasyon Ringleri |
| 7 Bağlama Ringi | 16 Kontak Lülesi |
| 8 İzolasyon Yüksüğü | 17 Elektrod Kılavuzu (spiral) |
| 9 Kılavuz Lülesi | 18 Torç Bağlantı Rakoru |

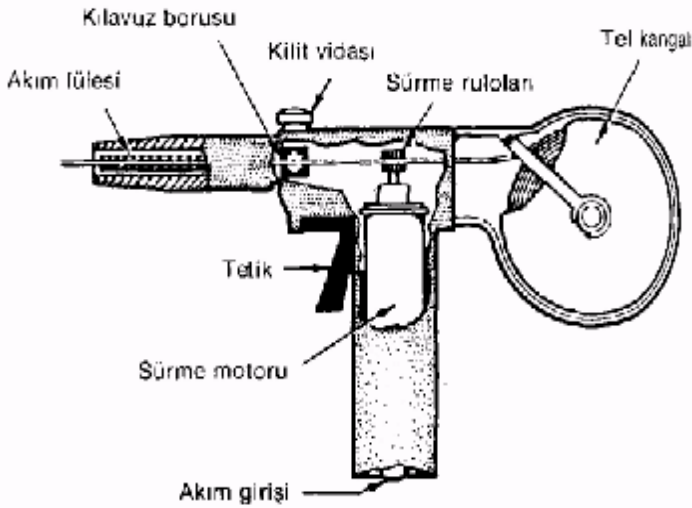
Şekil 9 — Hava soğutmalı torç kesiti ve torç bağlantı paketi.



Hava soğutmalı MIG-MAG torcu.



Hava soğutmalı MIG-MAG tabancası.



Hava soğutmalı MIG tabancası (Tel çekmeli tür).

Şekil 10 — Çeşitli tür MIG - MAG torçları.

Kontak lüle malzemesi elektriği çok iyi iletmek ve aynı zamanda aşınmaya (özellikle elektroerozyona) dayanıklı olmak zorundadır. CuCr, CuCrZr, CuBe uygulamada çok sık kullanılmakta ve saf bakıra tercih edilmektedir; günümüzde piyasada aşınmaya daha da dayanıklı sinter tekniği ile üretilmiş CuTu, CuTuAg alaşımı kontak lüleleri de bulunmaktadır. Uygulamada lülenin iç çapının tel çapından takriben 0,2 mm daha büyük olmasına müsaade edilir, bu değer yumuşak tel elektrodları halinde daha da büyüyebilir.

Cr, Ni ve Al elektrodları kontak lülesini bakır kaplanmış yumuşak çelik tellerden daha fazla zorlarlar; kısa bir süre içinde, çok sayıda arkın yakılıp söndürülmesi lülenin kontak yüzeylerinin bozulmasına neden olur.

Kontakt lülesinin kirlenmiş veya bozulmuş delikleri, aynen üfleçlerde olduğu gibi özel raybaları ile temizlenebilir ve iç çapı büyümüş lüleler daha büyük çaplı elektrodlar ile kullanılmak üzere rektifiye edilebilir.

Kontakt lülesi ile konsantrik olarak bulunan gaz lülesi de çalışma esnasında aşırı termik zorlamaya maruz kalan torç elemanlarından. Kaynak bölgesine gönderilen koruyucu gazın düzgün akımını sağlayan gaz lülesinin büyüklüğü, erime gücü ve kaynak hızına bağlı olarak değişir.

Kaynak esnasında lüleye yapışan, sıçrayan metal damlacıkları, koruyucu gazın laminar akımını bozar ve bu da kaynak bölgesinin iyi korunmamasına neden olur. Sıçramanın aşırı olduğu hallerde, yapışan metal damlacıkları akım lülesi ile gaz lülesi arasında köprü oluşturarak, gaz lülesi ile iş parçası arasında ikinci bir arkın oluşmasına ve bu da, hem iş parçasının hem de torcun hasar görmesine neden olur; bu bakımdan kaynak esnasında sıçramanın fazla olduğu hallerde torç sık sık kontrol edilip temizlenmelidir.

Her iki lüle de torcun kolaylıkla değiştirilebilen ve yedekleri tedarik edilebilen elemanlarıdır.

TORÇ BAĞLANTI PAKETİ

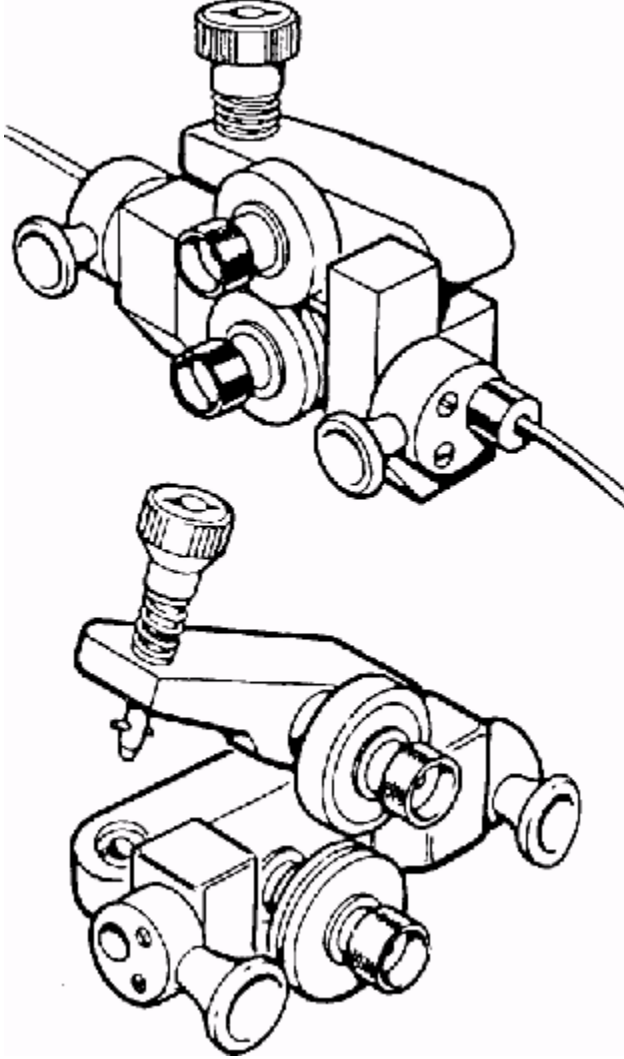
Torç kaynak makinasına, içinde tel elektrod kılavuzunu, akım kablosunu, koruyucu gaz hortumunu ve gerekli hallerde soğutma suyu geliş ve dönüş hortumlarını bir arada tutan metal spiral takviyeli ve kalın hortum ile irtibatlanmıştır, bu kalın hortuma torç bağlantı paketi adı da verilir.

Kullanılan tel elektrodun malzemesine göre çeşitli türde kılavuzlar kullanılır; bazı yörelerde bu kılavuzlara spiral veya gayd adı da verilir. Klavuz, tel iletme tertibatından kontrol lülesine kadar tel elektrodun sevk edilmesi görevini üstlenir; alüminyum ve alaşımları, Cr-Ni paslanmaz çelikler için plastik hortum, alaşımsız ve alaşımlı çelik elektrodlar için ise çelik spiral şeklinde yapılmış kılavuzlar kullanılır. Kullanılan kılavuz hortumun çapı, elektrod çapına uygun olarak seçilir; uygulamada genellikle her kılavuz ile ancak iki birbirine yakın çaptaki teller kullanılabilir.

TEL SÜRME TERTİBATI

Tel elektrod sürme tertibatı, teli makaradan sağıp, önceden saptanmış bir hızla ark bölgesine gönderen bir mekanizmadır. Çalışma sistemlerine göre çekme, itme türü tertibatlar diye adlandırılırlarsa da prensip olarak çalışma bakımından birbirlerinden pek farkları yoktur. Hız ayarı kademesiz bir mekanik tertibat veya gerilimi değiştirilerek hızı ayarlanan bir doğru akım motoru tarafından gerçekleştirilir. Günümüzde daha çok bu ikinci sistem tercih edilmektedir.

Tel sürme tertibatları çalışına prensibi bakımından, rulolu tertibatlar ve planet tertibatlar olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar.

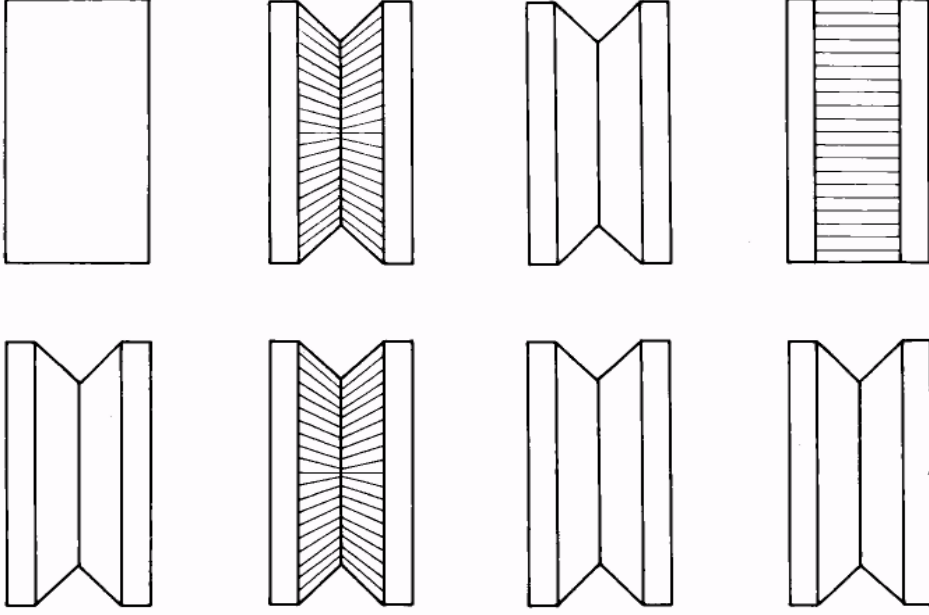


Şekil 11 — Tel sürme tertibatı

Rulolu tertibatlarda, tel iki veya dört rulo arasından geçer; bunlardan alt rulolar arzu edilen tel besleme hızına eşit bir çevresel hızla dönerler ve üzerlerinde tel çapına uygun bir kanal açılmıştır, üst rulolar avara döner, bunların bazıları düz, diğer bazılarında ise kanal açılmıştır; kullanılan elektrodun sert olması halinde rulolara teli kaydırmamaları için tırtıllar da açılmıştır.

Tel makaradan sağılırken tam düz değildir ve bu şekilde tel kaynak bölgesine sevk edilirken, spiral kılavuz içinde sürtme yaptığından sürme tertibatını zorlar ve tel ileletme hızının düzensiz olmasına neden olur ki bu olay da kaynak dikişinin kalitesini etkiler.

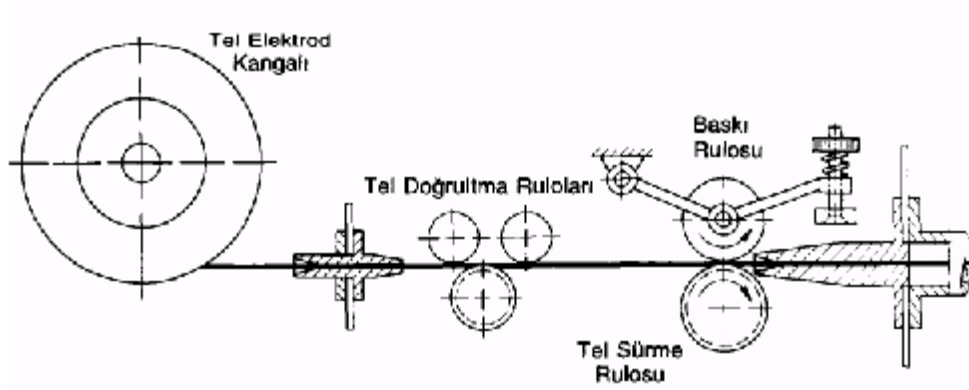
Dört rulolu tertiplerde tel bir dereceye kadar düzelir, iki rulolu tertibatlarda, sürme mekanizmasından önce bir tel doğrultma ruloları grubuna gerek vardır.



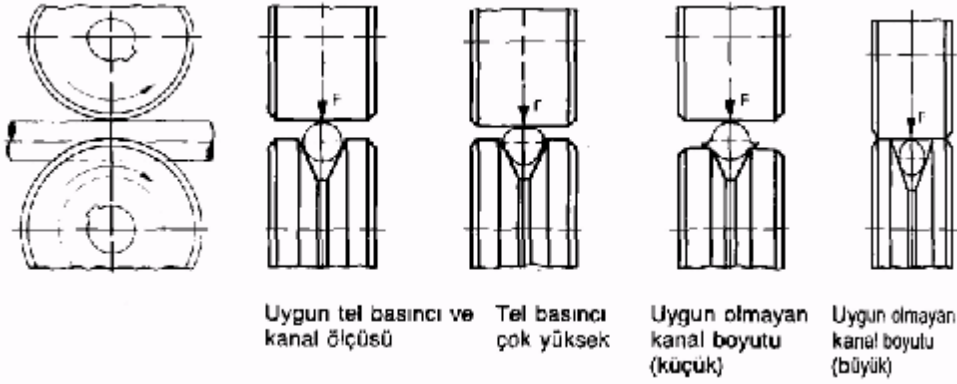
1,0mm'den daha kalın çaplı demir ve demir dışı tel elektrodlar için
 1,6 ilâ 3,2 mm çaplı demir esaslı tel elektrodlar için,
 1,6 ilâ 3,2 mm. çaplı demirdışı metal tel elektrodlar için
 Demir esaslı küçük çaplı tel elektrodlar için.

Şekil 12 — Tel sürme tertibatlarında kullanılan rulolar.

Tel sürme tertibatında ruloların tel üzerine yaptıkları basıncın iyi ayarlanması ve tel tür ve çapına uygun biçimdeki ruloların kullanılması gereklidir.



Şekil 13 — İki rulolu ve tel düzeltme tertibatlı tel sürme mekanizması şeması



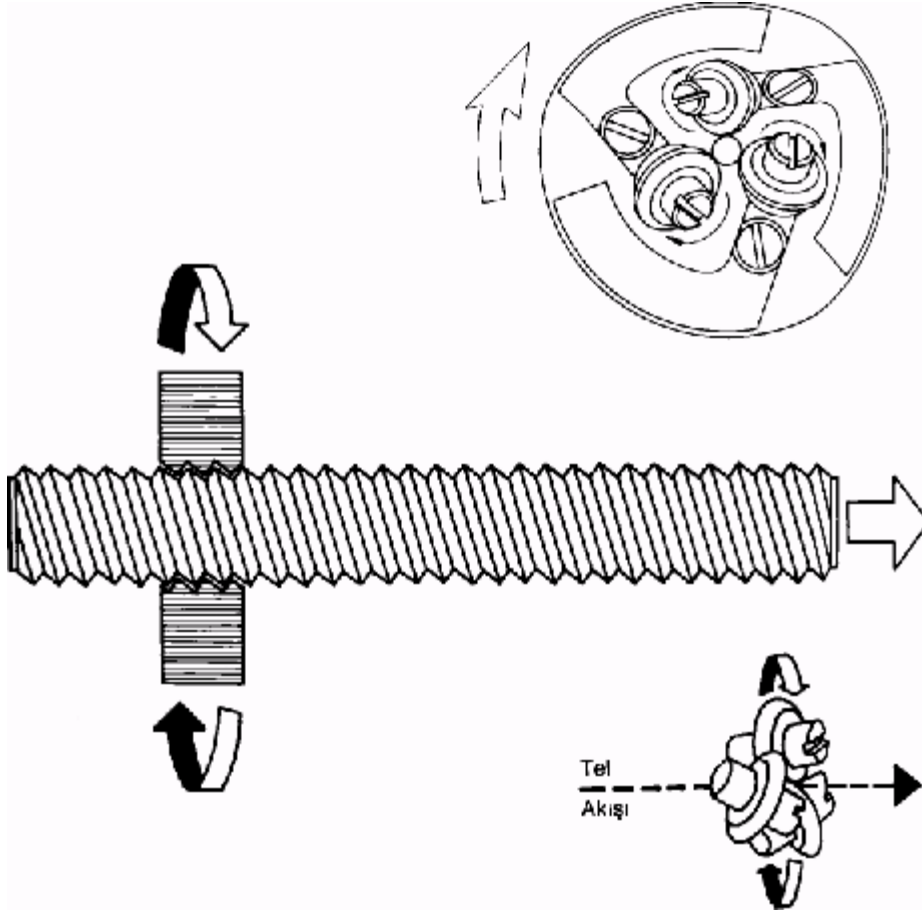
Şekil 14 — Rulo profilinin ve basıncının elektrod üzerine etkileri.

Yumuşak malzemeden yapılmış kaynak telleri ile özlü elektrodlar halinde dört rulolu tel sürme tertibatlarının kullanılması ile daha iyi sonuç alınmaktadır; bu halde ruloların profilinin kalitesi ile rulo basıncının ayarı da büyük bir öneme sahiptir.

Rulolu tel sürme tertibatlarının yegâne mahzuru makaradan sağılan teli tam olarak doğrultamamalarıdır.

Dönel veya planet sistemi tel sürme tertibatlarında eksenleri birbirlerine göre çarpık üç rulo vardır, tel bunların arasından geçer, ruloların bağlı olduğu gövde döndürülür ve bu şekilde ruloların temas noktası tel üzerinde bir helis çizer; tel dönmediği için de ilerleme hareketi yapar. Bu sistemin en büyük avantajı tel elektrodu çok iyi bir şekilde doğrultmasıdır.

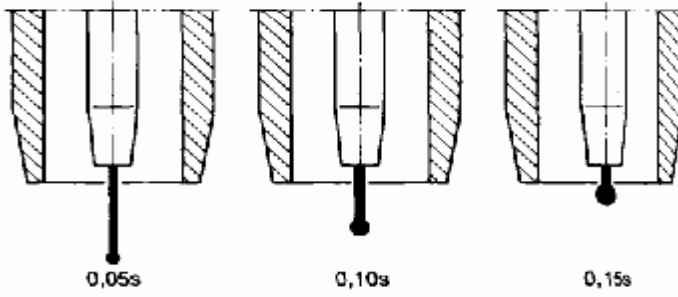
Planet sistemi tel sürme mekanizmaları, teli çok iyi doğrulttuğundan, tel ile spiral kılavuz arasındaki sürtünme azalır ve dolayısı ile daha uzun hortumlar kullanmak mümkün olur; bu tertibatla hortum boyu 6 m.'ye kadar uzatılabilir. Yalnız bu sistem ince ve yumuşak metallere yapılmış tel elektrodlar ile özlü elektrodlar için uygun değildir.



Şekil 15 — Planet veya dönel tel sürme tertibatı şeması.

KUMANDA TERTİBATI

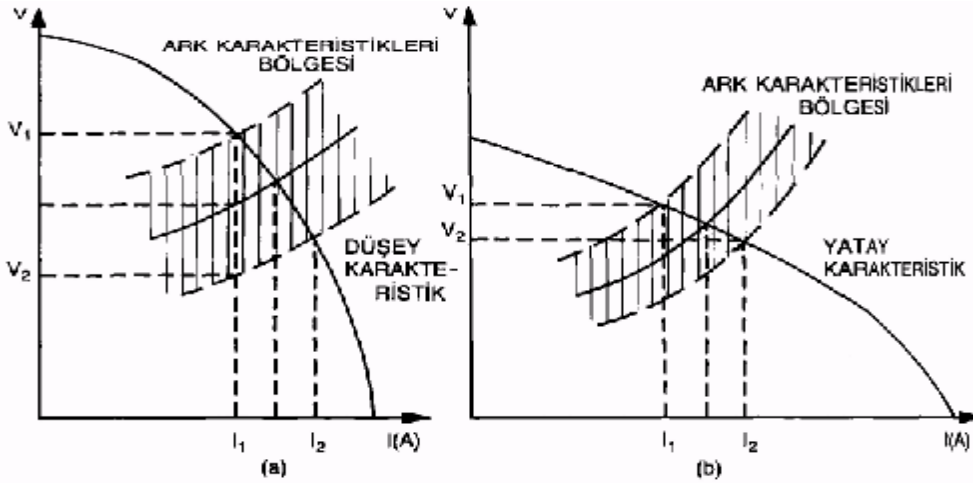
Gerekli ayarlar yapıp makinanın ana şalteri kapatılarak çalışmaya hazır hale gelince, kaynağa başlamak için yarı otomatik MIG-MAG makinalarında torç üzerindeki düğmeye basmak kâfi gelir. Bu anda, önce ayarlanmış debide koruyucu gaz akımı başlar, kısa bir süre sonra ark oluşur ve ark oluşuktan çok kısa bir süre sonra da tel sürme tertibatı devreye girer. Kaynağa son verilmesi halinde ise bu sıralamanın tersi oluşur. Büyük güçlü makinalarda ayrıca soğutma suyunun devreye giriş ve çıkışı da gene kumanda tertibatı tarafından gerçekleştirilir.



Şekil 16 — Tel ilerlemesinin durması ile akımın kesilmesi arasındaki sürenin (geri yanma süresi) telin ucunun biçimine etkisi.

MIG - MAG KAYNAĞI AKIM ÜRETEÇLERİ

MIG - MAG kaynağında kullanılan kaynak akım üreteçlerinin VI karakteristiği örtülü elektrod ile yapılan elektrik ark kaynağı ve TIG kaynağında kullanılan akım üreteçlerinden çok farklıdır. MIG - MAG kaynak yönteminde kullanılan akım üreteçleri yatay karakteristiktir; sabit gerilimli diye de adlandırılan bu kaynak akım üreteçlerinde, gerilimin tamamen sabit tutulması mümkün olmadığı gibi aynı zamanda mahzurludur. Zira böyle bir üreteçte elektrod iş parçasına temas ettiğinde gerilim düşecek ve akım şiddeti sonsuz yükselecektir ve bu da elektrod ucunda ani bir patlamaya ve şiddetli sıçramaya neden olur; bu bakımdan bu tür kaynak akım üreteçlerinde her 100 amper için azami 7 Volt kadar ark gerilimi düşümüne müsaade edilir; bu değer kaliteli üreteçlerde 2 ilâ 5 V arasındadır.

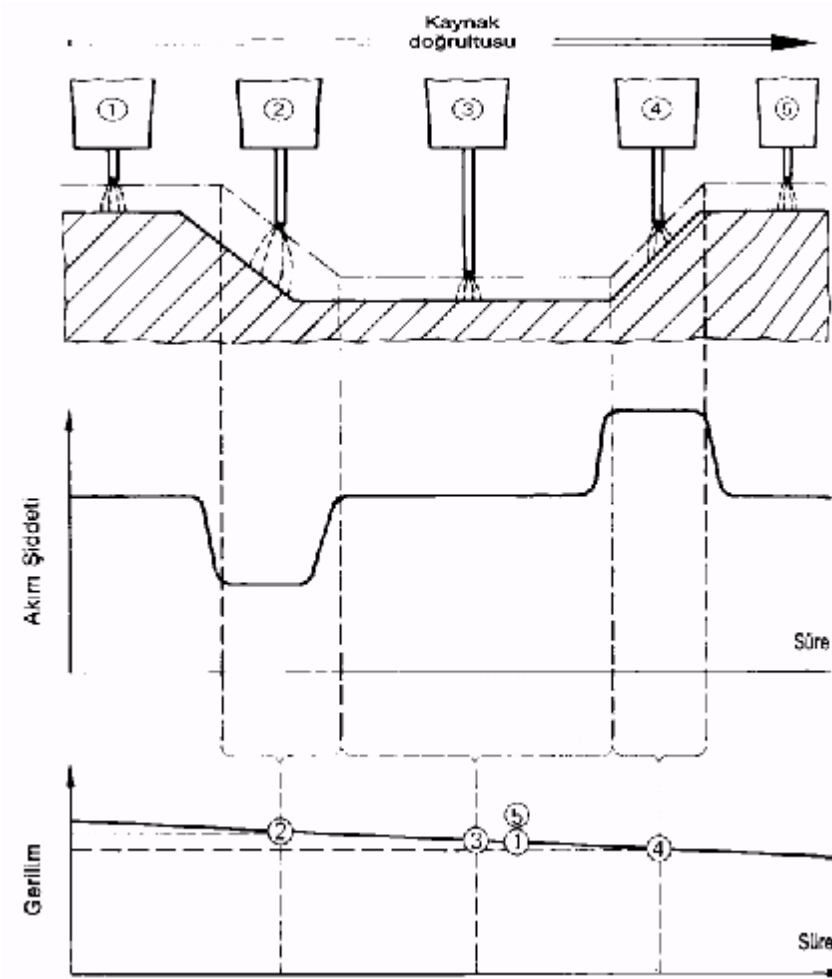


Şekil 17 — Kaynak akım üreteçlerinde V-I karakteristikleri

(a) Düşey karakteristik (TIG ve elektrik ark kaynağı için)

(b) Yatay karakteristik (MIG-MAG kaynağı için)

Bu tip kaynak akım üreteçlerinde iç ayar diye isimlendirilen ark boyu ayarı vardır. Bu tip üreteçlerde ark gerilimi ve tel ilerleme hızı ve buna bağlı olarak da akım şiddeti ayarlanır. Bu tür makinalarda tel ilerletme motoru, seçilmiş sabit bir devirde döner, yani diğer bir deyimle tel hızı sabittir.



Şekil 18 — ΔI ayarı ile ark boyunun kaynak süresince sabit kalması.

Kaynak esnasında herhangi bir nedenle ark boyu uzadığı zaman Şekil 18'de görüldüğü gibi akım şiddeti büyük miktarda azalır. Buna bağlı olarak da eriyen tel miktarı azaldığından ark normal boyuna döner; aksi halde, yani ark boyunun kısılması halinde ise akım şiddeti süratle artar, eriyen tel miktarı da buna bağlı olarak artacağından neticede de ark boyu normale döner.

Bu kaynak yönteminde görüldüğü gibi ark boyunun ayarlanması yarı otomatik kaynak halinde dahi, kaynakçının melekesine veya dikkatine bırakılmamıştır. Ark boyu kaynak akım üreticinin yatay karakteristiği sayesinde kendinden ayarlanmaktadır.

Günümüzde MIG-MAG kaynağında kullanılmak üzere genelde iki tür kaynak akım üretici imal edilmektedir.

Birinci tür, şantiyelerde, elektrik akımının bulunmadığı yerlerde kullanılmak üzere geliştirilmiş, dizel veya benzin motoru tarafından tahrik edilen jeneratörlerdir.

Bunlar genellikle gerektiğinde yatay ve gerektiğinde düşey karakteristik ile çalışabilecek tarzda dizayn edilirler ve bu şekilde bilhassa pipe line borularının kaynağında hem örtülü elektrod ile elektrik ark kaynağı ve

hem de MIG-MAG yönteminde kullanılabilir. Bu özellik bilhassa pipe line borularının kaynaklarında büyük bir kolaylık sağlamaktadır.

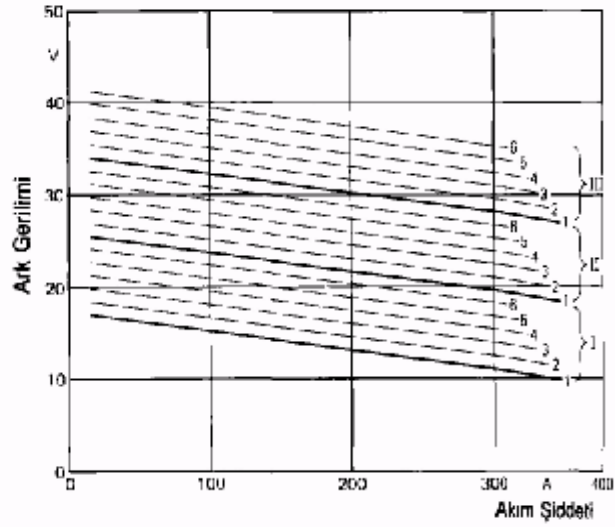
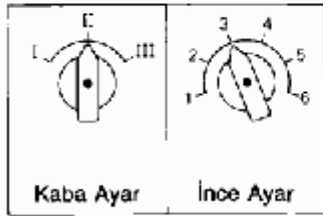
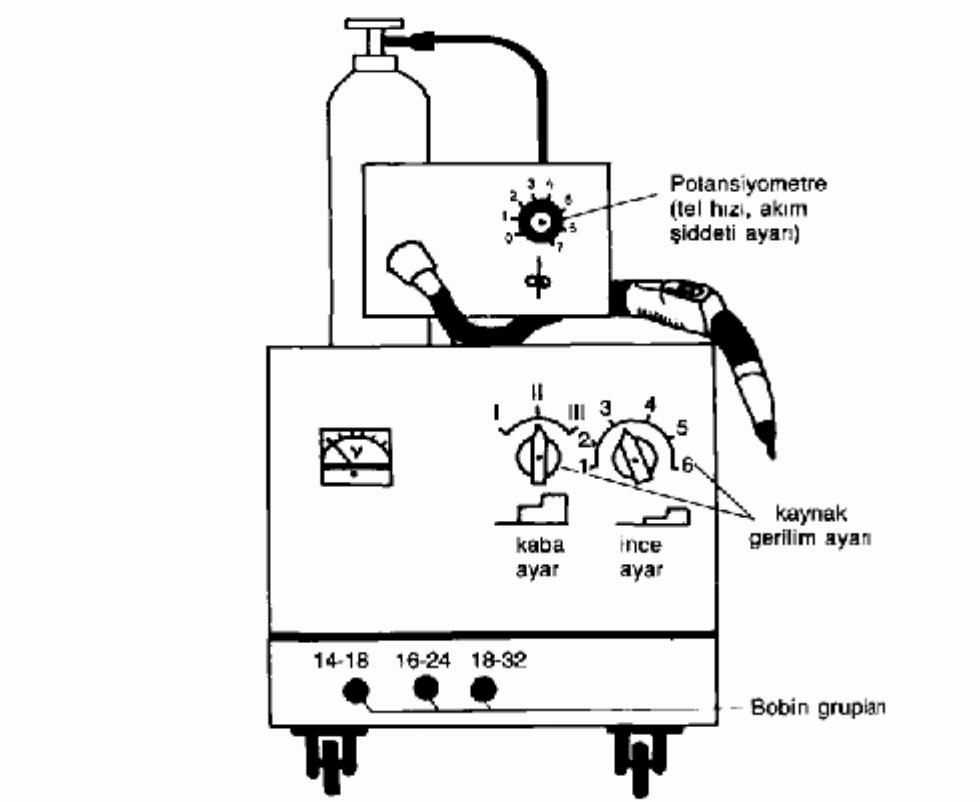
Atölyelerde kullanılan akım üreteçleri ise bir transformatör ve bir redresörden oluşmuş paket cihazlardır. Günümüzde artık elektrik motoru ile tahrik edilen jeneratörlerin imali yok denecek kadar azalmıştır.

Normal şebekeye bağlanan bu cihazların monofaze ve trifaze akım ile çalışanları vardır. Trifaze akım ile çalışan üreteçler gerek daha kararlı bir kaynak arki oluşturmaları ve gerekse de şebekeyi dengeli bir şekilde yüklemeleri nedeni ile tercih edilirler.

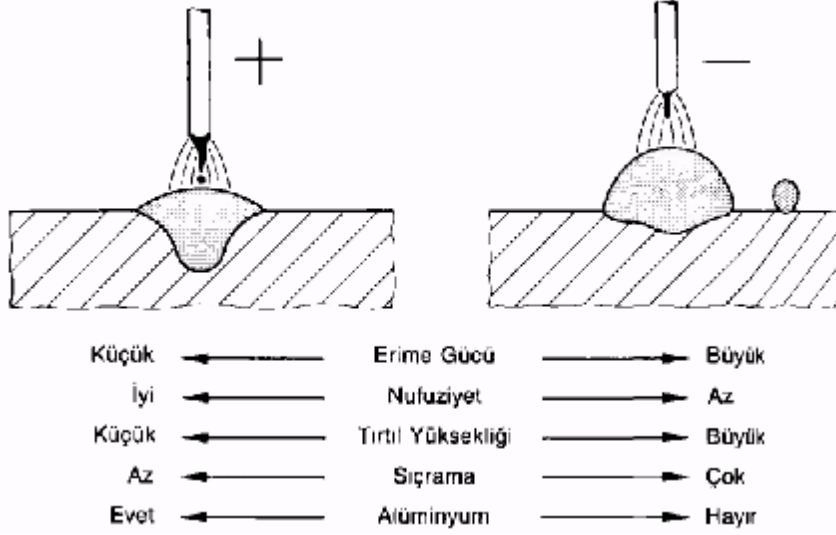
MIG kaynak yönteminde güvenilir kaynak bağlantısı elde edebilmek için ayarlanması gereken kaynak parametrelerinin başında akım şiddeti ve gerilimi gelir. Sabit gerilimli veya diğer bir deyimle yatay karakteristikli kaynak akım üreteçlerinde bu iki parametre birbirlerinden bağımsız olarak ayarlanabilir.

Kaynak akım gerilimi, akım üreticinin ince ve kaba ayar düğmelerinden kademeli olarak veya bazı özel tiplerde ise potansiyometre ile kademesiz olarak ayarlanabilir. Kaynak akım şiddeti ise MIG kaynak üreteçlerinde tel iletme düğmesinden ayarlanır. Seçilmiş olan gerilim ve akım şiddetinin dikiş formu ve ark şekli üzerine etkileri Şekil 42'de gösterilmiştir. Uygun seçilmiş bir çalışma noktası arkin sakin ve kararlı bir şekilde yanışı ile kendini belli eder. Bir MIG kaynak akım üreticinde sabit gerilim karakteristik ayar imkânı ne kadar fazla olursa optimal çalışma noktasının saptanması da o derece kolay olur. Genel olarak Standard akım üreteçlerinde 3 kaba ayar ve 5 adet de ince ayar vardır, bu da toplam 15 kademede gerilim ayar olanağı sağlar.

Eriyen elektrod ile gazaltı kaynağında doğru akım ve yatay karakteristikli kaynak akım üreteçleri kullanılır. Bilinen diğer ark kaynak yöntemlerinde olduğu gibi doğru akım kullanılması halinde elektrod pozitif veya negatif kutba bağlanabilir. Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında banyo üzerinde oluşan oksit tabakasının parçalanabilmesi için elektrodun muhakkak pozitif kutba (ters kutuplama) bağlanması gereklidir. Diğer metal ve alaşımların özellikle çeliklerin kaynağında her iki kutuplama türü de kullanılabilirse de, çok daha derin bir nüfuziyet sağladığından uygulamada genellikle ters kutuplama tercih edilir: doğru kutuplama çok nadir olarak, nüfuziyetin çok az olmasının gerekli olduğu hallerde kullanılır.



Şekil 19 — MIG - MAG akım üretici ve ayarları.



Kaynağında Temizleme Etkisi

Şekil 20 — Kutuplamanın dikiş formuna ve kaynak özelliklerine etkileri.

İyi bir nüfuziyetin, buna karşın parçaya kaynaktan olan ısı girdisinin sınırlı tutulmasının gerekli olduğu hallerde, darbeli doğru akım yöntemi uygulanır. Darbeli doğru akım (pulsed direct current) ile alternatif akımı birbirlerine karıştırmamak lazımdır; darbeli doğru akım halinde, seçilen akım şiddeti önceden saptanmış iki değer arasında, arzu edilen bir frekansta değişmektedir.

KORUYUCU GAZ TÜPLERİ

Ülkemizde MIG - MAG kaynağı için gerekli koruyucu gaz basınçlı tüplerden sağlanır. İşletme içi merkezi sistem gaz dağıtım şebekeleri henüz uygulama alanı bulamamıştır.

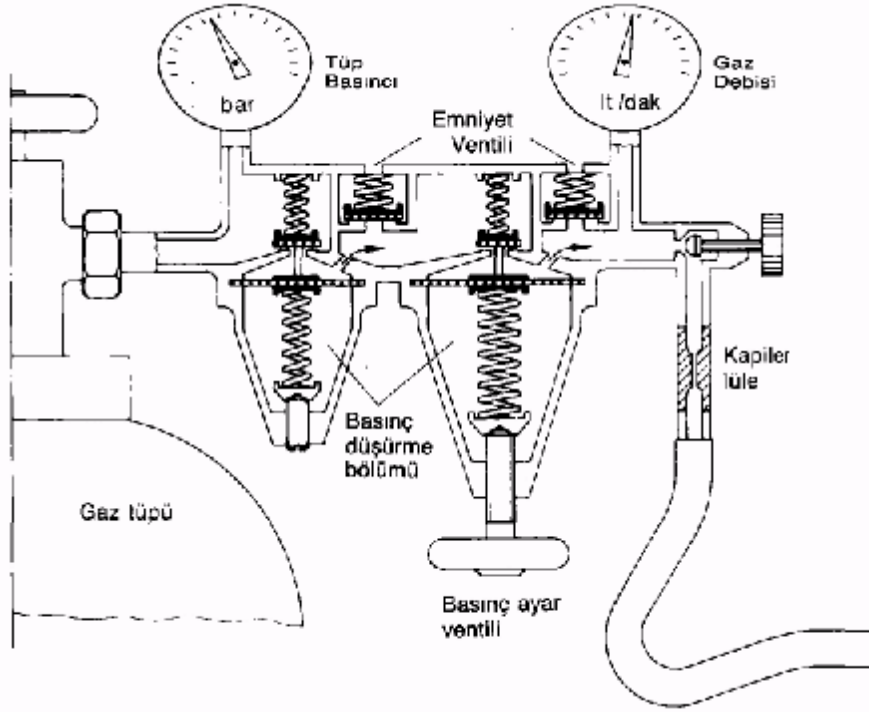
Ülkemizde asal gaz tüpü olarak, oksijen için üretilmişlerin benzeri 40 litre hacimli 150 Atü'lük tüpler kullanılmaktadır. Batı ülkelerinde ise 10, 20, 50 litre hacimli, 200 Atü ile doldurulan tüpler tercih edilmektedir; bu şekilde tüplerde 2, 4 veya 10 m³ gaz depolanabilmektedir.

CO₂ tüpleri içinde gaz sıvı haldedir ve bu bakımdan gaz tüpleri içerdikleri sıvı gazın ağırlığına göre 10, 20 ve 30 Kg'lık olmak üzere sınıflandırılırlar, 1 Kg. sıvı CO₂ teknik olarak 540 litre koruyucu gaz oluşturur. Tüp ağızlarına gaz basınç ayar ventili diye isimlendirilen ve aynen oksijen tüpündeki tertibatı andıran bir düzenek takılır; bunun üzerinde tüpe yakın olan manometre tüp basıncını, diğeri ise gaz debisini gösterir. Gaz debisi bu şekilde ölçülüp ayarlanabildiği gibi, flovmetre denilen bir konik cam tüp içinde hareketli bir biye bulunan aletle de yapılabilir.

Koruyucu gaz olarak CO₂ kullanılması halinde, tüp içinde gaz sıvıdan buharlaşırken ortamdaki enerji çeker ve dolayısı ile tüpte ortaya çıkan sıcaklık düşmesi sonucu kuru buz diye adlandırılan CO₂ karı oluşur ve bu da ventili tıkar; sürekli olarak 12 lt/dak daha fazla debilerde CO₂ kullanılması veya kaynak işleminin soğuk iklimlerde yapılması hallerinde tüp çıkışına bir ısıtıcı konur.

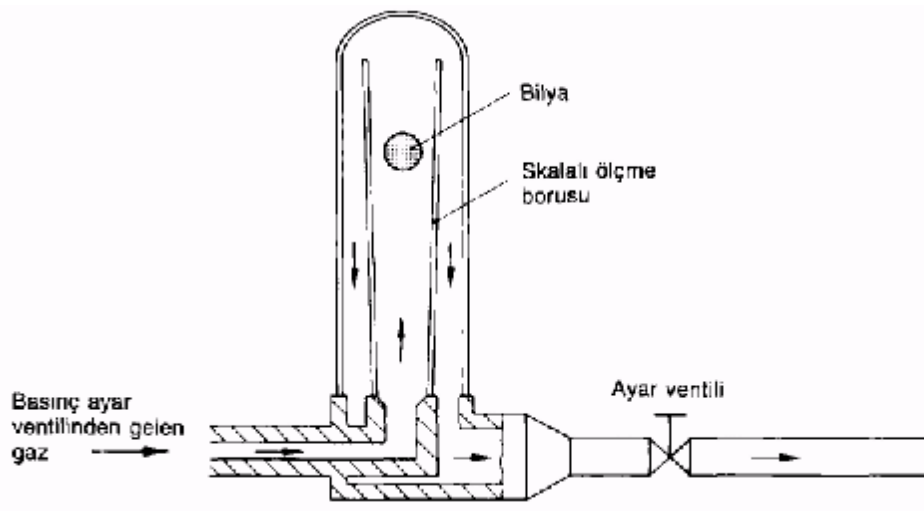
Gaz akımının kaynak esnasında açılıp kapanması tüpler ile değil, kumanda dolabında bulunan bir

magnetik ventil ile sağlanır.



Şekil 21 — Basınç düşürme ventili.

Bazı uygulamalarda koruyucu gaz olarak, saf bir gaz değil de, gaz karışımları kullanılır; bazı ülkelerde tüp içinde norm karışım gazlar piyasadan tedarik edilebilmektedir. Ülkemizde karışım gaz ancak gaz mikserleri kullanmak sureti ile sağlanabilmektedir; bu mikserlerin 2 veya 3 girişleri vardır, çeşitli tüplerden gelen gazları istenen oranda karıştırır.



Şekil 22 — Gaz debisi ölçümünde kullanılan akış ölçer (şematik).

Gaz tüplerine takılan basınç ayar ventilleri sadece belirli bir gaz türü içindir ve bunlar dizayn edildikleri gaz için kullanılmalıdır.

MIG - MAG KAYNAK YÖNTEMİNDE KULLANILAN KORUYUCU GAZLAR

Gazaltı kaynak yöntemlerinin üç tür sarf malzemesi vardır, bunlar elektrik enerjisi, koruyucu gaz ve kaynak metalidir. Kaynak telinin kimyasal bileşimi ve koruyucu gazın türü kaynak metalinin bileşimini ve mekanik özelliklerini belirleyen en önemli faktörlerdir.

Bütün gazaltı kaynak yöntemlerinde olduğu gibi koruyucu gazın MIG - MAG yönteminde ark bölgesini tamamen örtmesi ve atmosferin olumsuz etkilerinden koruması gereklidir.

MIG - MAG kaynağında inert ve aktif gazlar veya bunların çeşitli oranlarda karışımı kullanılır. Genel olarak asal gazlar, reaksiyona girmediklerinden demir dışı metallerin kaynağında, aktif gazlar veya aktif ve asal gaz karışımları da çeşitli tür çeliklerin kaynağında uygulama alanı bulmaktadır.

Kaynak işlemi için gaz seçiminde çeşitli faktörlerin göz önünde bulundurulması gereklidir;

Bunlar şu şekilde sıralanabilir:

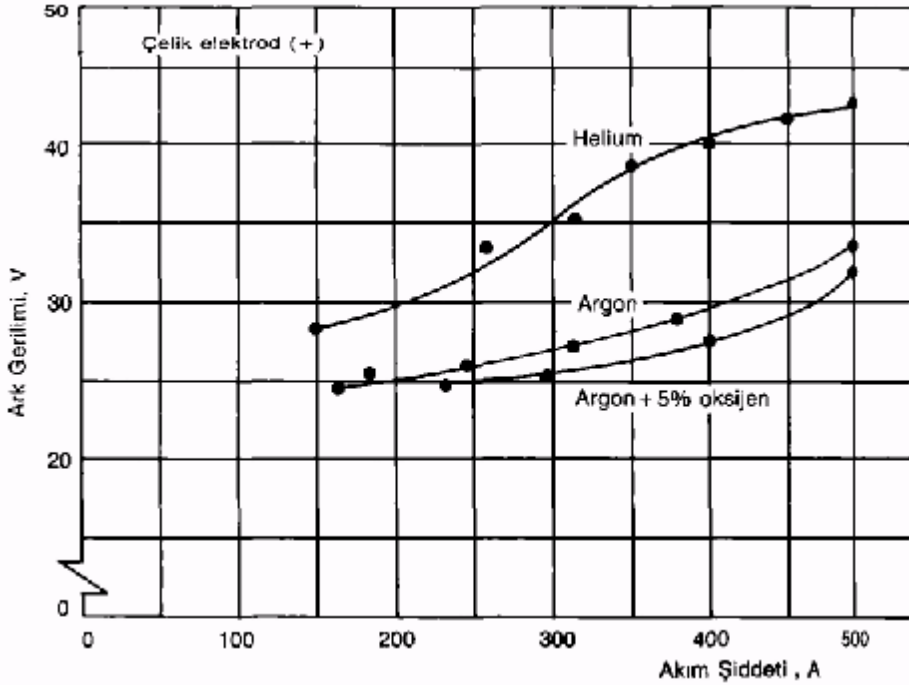
- 1.- Kaynatılan metal veya alaşımın türü,
- 2.- Ark karakteristiği ve metalin damla geçiş biçimi,
- 3.- Kaynak hızı,
- 4.- Parça kalınlığı, gereken nüfuziyet ve kaynak dikişinin biçimi,
- 5.- Tedarik edilebilirlik ve gazın maliyeti,
- 6.- Kaynak dikişinden beklenen mekanik özellikler.

ASAL GAZLAR

Asal gazlar, kabuklarındaki bütün yerlerin elektronlar ile dolu olması, diğer bir deyimle dış kabuğun kapalı olması dolayısı ile diğer elementlerin atomları ile elektron alışverişinde bulunamazlar; yani kimyasal bir reaksiyon oluşturamazlar. Koruyucu gaz kaynağı yöntemlerinde, asal gaz olarak helium ve argon kullanılır. Argon gazı, içinde oluşan arkın gerilim düşümü diğer koruyucu gazlara nazaran daha azdır, ayrıca argonun ısı iletme kabiliyetinin de zayıf olması nedeni ile ark sütunu daha geniş ve sıcaklığı da özellikle dış kısımlarda düşüktür. Sütunun merkezinde gerek metal buharları ve gerekse damla geçişi dolayısı ile sıcaklık daha yüksektir. Bu bakımdan argon'un koruyucu gaz olarak kullanıldığı kaynak dikişlerinde nüfuziyet dikişin merkezinde derin, kenarlarda azdır.

Al ve Cu gibi metallerin kaynağı için uygun olan argon, çelikler halinde, ancak başka gazlarla

karıştırılarak kullanıldığında iyi sonuçlar vermektedir. Helium'un havadan çok hafif olması gaz sarfiyatını çok arttırmaktadır. Örneğin; yatay pozisyonda aynı şartlarda argonun yaptığı korumayı sağlamak için 3 misli heliuma gerek vardır. Helium atmosferi, ısıyı iyi ilettiğinden, bu gazın koruyucu gaz olarak kullanılması halinde derin nüfuziyetli kaynak dikişleri elde edilir. Ark geriliminin düşümü de argona nazaran yüksek olduğundan, helium atmosferinde oluşan kaynak arki daha yüksek enerjilidir. Bu bakımdan ısıyı iyi ileten metallerin kalın kesitlerinin kaynağında ekseriya ön ısıtma gerektirmez.



Şekil 23 — Çeşitli Asal gaz ve karışım gaz atmosferlerinde oluşan ark gerilimi

KARBONDİOKSİT (CO₂)

Karbondiyoksit renksiz, kokusuz ve özgül ağırlığı 1,997 kg/m³ olan bir gazdır. Havadan takriben 1,5 misli daha ağırdır. Basıncılı tüplerde kullanılır. Karbondiyoksit tüpleri 15°C'de takriben 65 atmosferde doldurulur. Bu şartlarda tüpün ihtiva ettiği gaz sıvı halindedir. Kullanma sırasında sıvı haldeki karbondiyoksit gaz haline geçer.

Karbonun yanması sonucu ortaya çıkan karbondiyoksit, endüstriyel çapta, yanıcı gazların, akaryakıt ve kokun yanma ürünü olarak, kireç taşının kalsinasyonu, amonyak üretimi ve alkolün fermantasyonunda da yan ürün olarak elde edilir.

Karbondiyoksit kaynak işletmelerine genellikle tüp içinde getirilir, tüp içindeki karbondiyoksitin büyük bir kısmı sıvı halinde bulunur ve sıvının üst kısmında (tüpün 1/3) ise buharlaşmış karbondiyoksit gaz halindedir ve bu gazın basıncı düştükçe de sıvıdan buharlaşarak basıncı normale döndürür.

Buharlaşma esnasında tüp daima bir buharlaşma ısısına ihtiyaç gösterir, bu bakımdan Standard bir tüpten bir anda çok fazla gaz çekebilme olanağı yoktur; zira buharlaşma ısısının çekilmesi sonucu sıcaklık

düşer ve sıvı karbondioksit zerrecikleri karbondioksit karına dönüşür, çıkış borusunu ve detandörü tıkar; bu bakımdan bir tüpten sürekli olarak 12 litre/dak'dan daha büyük debiler çekilmemesi gereklidir, sürekli olmamak koşulu ile bu değer 17 lt/dak'ya kadar çıkabilir. Bu debiden daha fazla gazın gerekli olduğu hallerde, birden fazla tüpün bir manifold ile bağlanarak kullanılması gereklidir. Soğuk iklimlerde ise karbondioksit karı zerreciklerin çıkış ağzını tıkamaması için, buraya bîr elektrikli ısıtıcı konması hararetle tavsiye edilen bir husustur.

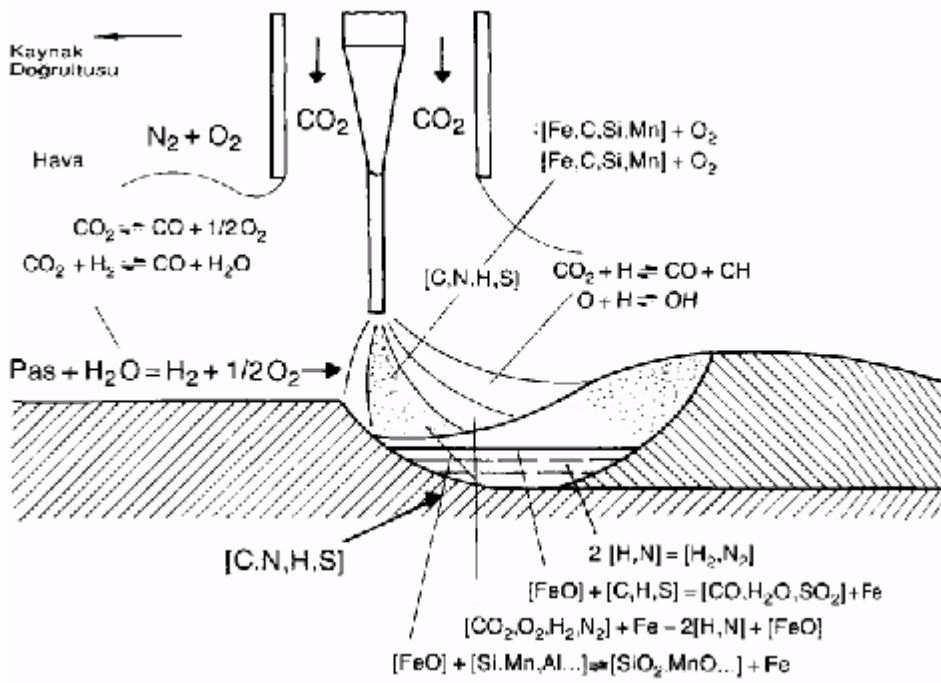
Tüp içinde karbondioksitin çok büyük bir kısmının sıvı halde bulunması nedeni ile hiçbir zaman bu tüpler eğik veya yatay durumda kullanılmamalıdır; karbondioksit tüpleri daima kullanma esnasında dik durumda tutulmalıdır. Birçok aktif gazın kaynağa koruyucu gaz olarak kullanılmaya uygun olmamalarına karşın, karbondioksit arzettiği çok sayıda üstünlük dolayısı ile az alaşımlı ve sade karbonlu çeliklerin gazaltı kaynağında çok geniş çapta bir uygulama alanı bulmuştur.

Karbondioksitin çeliklerin kaynağında sunduğu avantajlar derin nüfuziyet, daha yüksek kaynak hızları ve düşük kaynak maliyeti olarak sıralanabilir. Karbondioksit ile düşük akım şiddetleri ve ark gerilimlerinde kısa ark ile yüksek akım değerlerinde ise uzun ark damlalı metal geçişi ile kaynak yapmak mümkün olabilmektedir.

Karbondioksit atmosferi altında yapılan, diğer bir deyimle koruyucu gaz olarak karbondioksit, kullanılan kaynak yöntemine Metal Activ Gas kelimelerinin baş harflerinden faydalanılarak MAG adı verilmiştir.

Alüminyum, magnezyum ve alaşımları gibi kolaylıkla oksitlenen malzemelerin kaynağında CŪ2 gibi aktif bir gazın kullanılmamasına rağmen, bu gaz çeliklerin kaynağında yeni imkânların ortaya çıkmasına neden olmuştur.

Karbondioksit, argon gibi monoatomik elementer bir gaz olmadığından, arkın yüksek sıcaklığında karbonmonoksit ve oksijene ayrışır. Serbest kalan oksijen kaynak banyosundaki elementlerle birleşir; ark sütunu içinde ionize olan gaz kaynak banyosuna doğru gelir ve bir miktarı tekrar karbondioksit haline geçer ve dolayısı ile ayrışma esnasında almış olduğu ısıyı tekrar verir ve bu da dikişte nüfuziyetin artmasına neden olur. Banyo içinde demiroksit ayrıca mangan ve silisyum tarafından redüklenir. Mangan ve silisyum kaybı kaynak telinin bileşimi tarafından karşılanır. Bu bakımdan çeliklerin kaynağında MIG yöntemi için üretilmiş teller MAG yönteminde kullanılamaz.



Şekil 24 — CO₂ atmosferinde oluşan reaksiyonlar.

MAG kaynağında, kaynak işlemi esnasında bir miktar alaşım elementi oksidasyonla kaybolduğundan, dikişin üzerinde çok ince bir cüruf tabakası oluşur ve bu da çok kolay bir şekilde kalkar.

KARIŞIM GAZLAR

Ark atmosferinin karakteri, kullanılan çeşitli gaz ve gaz karışımlarına bağlı olarak değişir.

He ve Ar karışımları koruyucu gaz olarak yukarıda belirtilmiş olan özellikleri karışım oranına göre gösterirler. Argon gazına az miktarda Oksijen, çeşitli oranlarda CO₂ ilave ederek karışım gazlar elde edilir.

Argon, helium gibi asal gazların oluşturdukları ark atmosferinin nötr bir karakter göstermesine karşın, argon gazına oksijen veya karbondioksit gibi aktif gazların karıştırılmasıyla ark atmosferine oksitleyici bir karakter kazandırılabilir. Hidrojen gazının karıştırılması halinde ise redükleyici bir gaz atmosferi oluşur.

Argon'a oksijen veya karbondioksit gazlarının karıştırılması ile oluşan ekzoterm bir reaksiyon sonucunda kaynak banyosunun sıcaklığı yükselir ve yüzey gerilimi zayıflar, böylece kaynak banyosunun akıcılığı yükseltilmiş ve gazı giderilmiş olur. Ayrıca, koruyucu gazın oksijen içermesi düşük akım yoğunluklarında da ince taneli ve kısa devresiz damla geçişinin (Sprey ark) oluşmasına yardımcı olur.

Oksijen, oksitleyici etkisi, oksijene karşı büyük bir afinitesi olan mangan, silisyum, alüminyum, titanyum, zirkonyum gibi alaşım elementlerinin kaynak telindeki miktarının artırılması ile dengelenir.

Çeliğin MIG kaynağında argon gazına oksijen ve karbondioksit karıştırılmaktadır. Böylece oksijen kolay eriyen oksitlerin oluşumunu hızlandırarak, eriyen elektrod telinden düşen damlaların yüzey gerilimini

zayıflatmakta ve ince taneli bir metal geçişi sağlamaktadır.

Kaynak Usulü	Gazın Karakteri	Gazın İşareti DIN 32526	Gazın Bileşimi	Kullanma Yeri	
MIG	Asal	I.1	Ar % 100	Çelik haricinde bütün metal ve alaşımları	
	Asal	I.2	He % 100	Cu ve Al alaşımları	
	Asal	I.3	He % 25-75 Ar kalanı	Cu ve Al alaşımları	
karışım gazlar	Hafif	M. 1.1	O ₂ % 1... 3 Ar kalanı	Paslanmaz Çelikler	
		Oksitleyici	M. 1.2	CO ₂ % 2... 5 Ar kalanı	Paslanmaz Çelikler
			M. 1.3	CO ₂ % 6... 14 Ar kalanı	Alaşımsız ve az alaşımlı çelikler
	Oksitleyici	M. 2.1	M. 2.1	CO ₂ % 15... 25 Ar kalanı	Alaşımsız ve az alaşımlı çelikler (özlü elektrod ile)
			M. 2.2	CO ₂ % 5... 15 O ₂ % 1... 3 Ar kalanı	Alaşımlı ve az alaşımlı çelikler
		Kuvvetli Oksitleyici	M. 3.1	CO ₂ % 26... 40 Ar kalanı	Alaşımsız ve az alaşımlı çelikler
	M. 3.2		M. 3.2	CO ₂ % 5... 20 O ₂ % 4... 6 Ar kalanı	Alaşımsız ve az alaşımlı çelikler
			M. 3.3	O ₂ % 9... 12 Ar kalanı	Alaşımsız çelikler
	MAG		C	CO ₂ % 100	Alaşımsız ve az alaşımlı çelikler

Tablo 1 — MIG-MAG Kaynak yönteminde kullanılan koruyucu gazlar

Koruyucu Gaz	Tel Türü	Çekme Mukavemeti		Akma Mukavemeti		Uzama (5d ₀)		Büzülme		Çantık Darbe ISO-V; ±0°C		Çantık Darbe ISO-V; -20°C	
		A N/mm ²	Ü N/mm ²	A N/mm ²	Ü N/mm ²	A %	Ü %	A %	Ü %	A J	Ü J	A J	Ü J
100% CO ₂ 75% Ar, 25% CO ₂ , 4% O ₂ 83% Ar, 13% CO ₂ , 4% O ₂ 82% Ar, 18% CO ₂ 92% Ar, 8% O ₂ 91% Ar, 5% CO ₂ , 4% O ₂ 95% Ar, 5% O ₂	SG2	594	538	489	422	24,2	26,9	64	68	50	81	45	67
	SG2	641	586	501	455	23,3	27,7	67	67	80	46	63	53
	SG2	626	606	525	481	24,5	28,7	66	62	131	54	82	51
	SG2	644	592	525	485	22,6	22,1	68	66	78	62	61	63
	SG2	644	614	505	464	24,2	23,8	69	57	76	98	66	67
100% CO ₂ 75% Ar, 25% CO ₂ 83% Ar, 13% CO ₂ , 4% O ₂ 82% Ar, 18% CO ₂ 92% Ar, 8% O ₂ 91% Ar, 5% CO ₂ , 4% O ₂ 95% Ar, 5% O ₂	SG3	586	562	455	435	26,8	25,6	65	68	59	88	46	64
	SG3	641	578	532	475	26,6	28,5	59	71	121	117	123	109
	SG3	630	599	545	498	23,1	24,7	72	68	129	127	106	83
	SG3	659	613	548	503	23,3	25,2	64	67	144	100	114	71
	SG3	625	602	526	496	25,6	27,8	70	71	136	121	97	118
100% CO ₂ 83% Ar, 13% CO ₂ , 4% O ₂ 82% Ar, 18% CO ₂ 92% Ar, 8% O ₂ 95% Ar, 5% O ₂	SG3	630	615	542	505	20,2	27,1	61	69	121	113	116	88
	SG3	—	604	—	492	—	26,8	—	71	—	127	—	99
	Cr-Mo	836	795	786	721	17,1	15,3	54	54	43	34	30	28
	Cr-Mo	878	837	836	761	13,8	16,5	58	57	59	46	44	33
	Cr-Mo	—	790	—	702	—	17,2	—	49	—	—	53	33
100% CO ₂ 82% Ar, 18% CO ₂ 92% Ar, 8% O ₂ 95% Ar, 5% O ₂	Cr-Mo	—	828	—	767	—	15,3	—	42	—	52	—	41
	Cr-Mo	—	830	—	762	—	16,1	—	52	—	62	—	42
	IT	757	720	700	640	16,3	17,1	59	59	55	74	40	42
	IT	—	737	—	665	—	16,6	—	59	—	54	—	44
	IT	—	776	—	705	—	17,1	—	57	—	52	—	43
IT	—	788	—	730	—	17,5	—	61	—	—	90	—	54

A) Alt akım sınırında çalışma

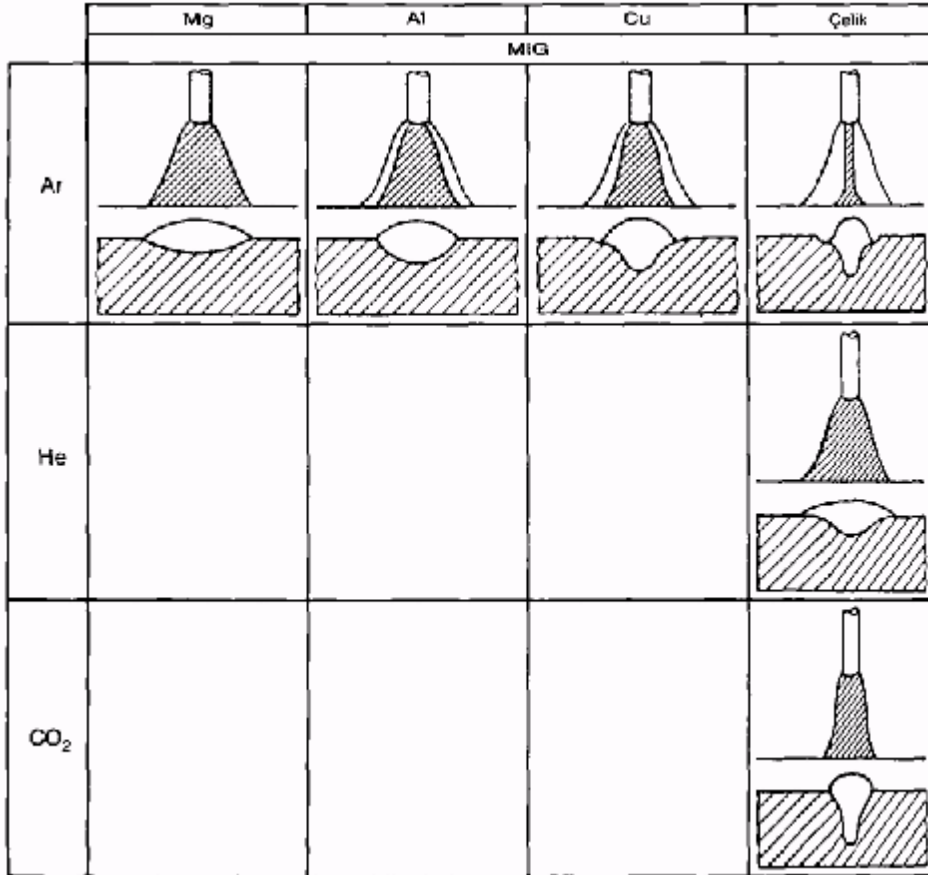
Ü) Üst akım sınırında çalışma

IT) İnce taneli yüksek mukavemeli yapı çeliği.

Tablo 2 — Koruyucu gaz tür ve bileşiminin kaynak metalinin mekanik özelliklerine etkisi.

Koruyucu gazların farklı kimyasal ve fiziksel özelliklerinden dolayı, düzgün ve sakin yanışlı bir ark ile kaynak yapabilmek için, her bir gaza belirli bir ark gerilimi ve akım şiddeti uygulamak gerekmektedir. Örneğin; karbondioksit molekülünün ayrışması için yüksek akım yoğunluğuna gerek vardır. Bunun sonucu olarak iri taneli, sıçramalı bir damla geçişi meydana gelir ve derin nüfuziyetli kaynak dikişleri elde edilir.

Bazı metal ve alaşımların kaynağında argon gazında çok düşük derecede bir safiyetsizlik bulunması, kaynak dikişinde oksit, nitrür ve gözenek oluşmasına neden olmaktadır.



Şekil 25.- Argon, Helyum ve CO₂ atmosferinde oluşan ark ve dikişin formu

MIG - MAG YÖNTEMİNDE KAYNAK ELEKTRODLARI

Bu yöntemde kullanılan tüm elektrodlar tel halindedir ve bir kangala sarılmış olarak makinaya takılır. Kangal büyüklükleri ve tel çapları standartlarla saptanmıştır.

Son yıllarda, kaynak metalinin özelliklerini geliştirebilmek için çeliklerin kaynağında kullanılmak üzere özlü veya kenetli elektrod diye isimlendirilen bir tür geliştirilmiştir. Bunlar yumuşak çelikten ince bir şeridin, ferroaliyaj ve dekaplanlar ile beraberce kıvrılıp tel haline getirilmesi ile üretilmişlerdir. Bu şekilde tel halinde üretilmesi güç veya imkânsız bileşimdeki alaşımlar dahi kolaylıkla elektrod haline getirilebilmekte ve daha geniş bir spektrumda elektrod üretimi mümkün olabilmektedir.

MIG - MAG KAYNAK YÖNTEMİNDE ELEKTROD SEÇİMİ

Eriyen elektrod ile gazaltı kaynak yönteminde en önemli problemlerden bir tanesi de tel elektrodun seçimidir. Bu kaynak yönteminde tel ve koruyucu gaz kombinasyonu sonucunda ortaya çıkan kaynak metalinin bileşimi gereken mekanik ve fiziksel özellikleri karşılamak zorundadır, bu bakımdan elektrod seçiminde aşağıda belirtilmiş olan hususlar gözönüne alınmak zorundadır.

Elektrod seçimini etkileyen en önemli faktör esas metalin fiziksel ve mekanik özellikleri ile kimyasal bileşimidir. Esas metalin bu özellikleri bilinmediği zaman görünüşü, ağırlığı, magnetik özeliği ile kama testi, kırma ve kıvılcım testi gibi basit atölye testleri ile bu konuda bir fikir edinilebilirse de, özellik gerektiren işlerde, kimyasal bileşimin muhakkak bir analiz ile saptanması gereklidir. Elektrod seçimi aşağıda belirtilmiş olan kriterler gözönünde bulundurularak yapılır;

1.- Esas metalin mekanik özellikleri

Bu kriterlere göre elektrod seçimi, genellikle esas metalin çekme ve akma mukavemeti gözönüne alınarak yapılır; bazı hallerde, özellikle ferritik çelikler halinde malzemenin kırılma tokluğunun da (çentik-darbe mukavemeti) gözönüne alınması gereklidir.

2.- Esas metalin kimyasal bileşimi

Esas metalin kimyasal bileşiminin bilinmesi, bilhassa renk uyumunun, korozyon direncinin, krip dayanımının, elektriksel ve ısı iletkenliğinin sözkonusu olduğu hallerde gereklidir. Bunun yanısıra çelikler halinde, ısının tesiri altında kalan bölgede, sertleşme oluşup oluşmayacağına önceden belirlenmesi bakımından da esas metalin kimyasal bileşiminin bilinmesi gereklidir. Genel olarak sade karbonlu ve az alaşımlı çelikler halinde elektrod seçiminde, esas metalin kimyasal bileşimi en önemli faktördür.

3.- Koruyucu gazın türü

Koruyucu gaz olarak asal gaz veya karışımlarının kullanılması halinde bir yanma kaybı sözkonusu değildir; buna karşın bir aktif gaz, örneğin karbondioksit veya asal gaz + aktif gaz karışımı kullanılması halinde birtakım yanma kayıpları ile karşılaşılır.

Daha önceden belirtilmiş olduğu gibi aktif gaz kullanılarak çeliklerin kaynatılması halinde az bir miktar

demir oksijen tarafından oksitlenir ve ortaya çıkan demir oksit de bileşimdeki mangan ve silisyum tarafından redüklenir; buradaki silisyum ve mangan kaybı elektrod tarafından karşılanmak zorundadır, bu bakımdan çeliklerin kaynağında MIG Yöntemi için geliştirilmiş bir elektrod MAG yönteminde kullanılamaz.

4.- Esas metalin kalınlığı ve geometrisi

Kaynakla birleştirilecek olan parçaların, kalın kesitli veya karışık şekilli olmaları halinde, çatlamanın önlenmesi için kaynak metalinin sünek olması gereklidir; bu durumlarda en iyi sünekliği sağlayan kaynak metalini oluşturacak türde bir elektrod seçilmelidir.

Kaynaklı yapının aşırı düşük veya yüksek sıcaklıklarda, korozif ortamlarda çalışmasının gerekli olduğu hallerde, kaynak metalinin her bakımdan esas metalin özelliklerini aksettirmesi gereklidir. Ayrıca Şartnamelerde kaynak metalinin bazı ilave özelliklere de sahip olması istenebilir ve bu husus da elektrod seçiminde çok önemli bir rol oynar.

Günümüz endüstrisinde, elektrod seçimini kolaylaştırmak gayesi ile çeşitli standartlar hazırlanmış ve özellikler sınıflandırılmıştır, gereksinimleri karşılayacak ve esas metal ile en iyi uyumu sağlayarak en iyi sonuçları verecek türde çok çeşitli tel ve özlü tel elektrodlar üretilmektedir.

ÇELİKLERİN KAYNAĞINDA KULLANILAN ELEKTRODLAR

Çeliklerin kaynağında kullanılan tel elektrodlar şu şekilde gruplanabilir:

1- Alaşimsız teller

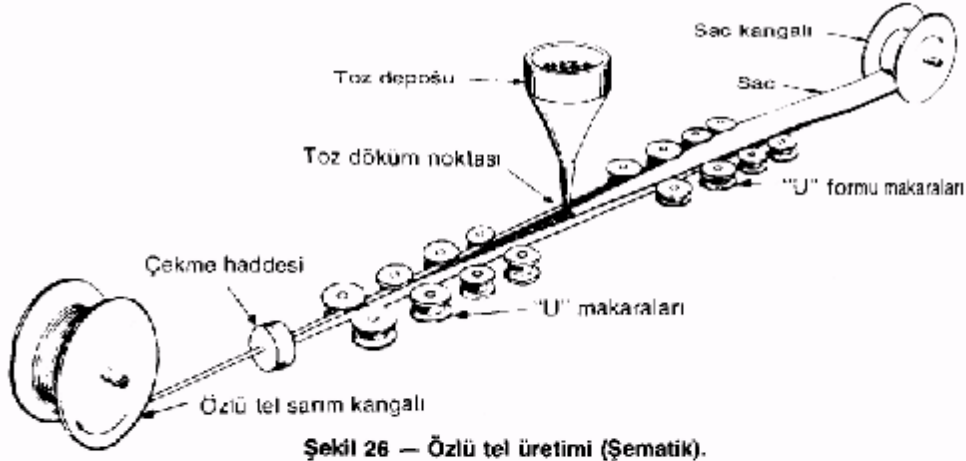
Bu tür teller yumuşak çeliklerin kaynağında kullanılır, bunların bileşimlerini alaşimsız çeliklerden ayırt eden sadece mangan ve silisyum içeriklerinin bir miktar daha fazla olmasıdır.

2- Alaşımli teller

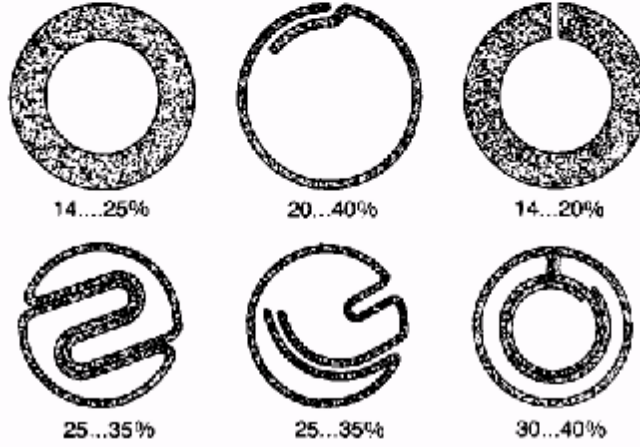
Bu teller özel bileşimde olup, alaşımli çeliklerin kaynağında kullanılır.

3- Kenetli veya özlü teller

Bu tür tel elektrodlar, alaşimsız ince bir saç şeridin boru haline getirilmesi veya bir lüleden geçilerek tel şeklinde çekilmesi sonucu elde edilmişlerdir. Boru biçiminde olanların iç kısmında, diğerlerinin kıvrımları arasında bir dekapan ve ferroalaşım tozları bulunur; kaynak dikişinin dezoksidasyonu ve alaşımlanması bu öz tarafından gerçekleştirilir.



Şekil 26 — Özlü tel üretimi (Şematik).



Şekil 27 — Çeliklerin kaynağında kullanılan özlü tel elektrodların kesitleri (Şematik).

Çeliklerin eriyen elektrod ile gazaltı kaynağında kullanılan elektrodların türlerine ve çeşitli standartlara göre sınıflandırılmalarına geçmeden önce, bunların bileşiminde bulunan alaşım elementleri ve bunların kaynak dikişine olan etkilerini bilmek, elektrod seçiminde kolaylık sağlar.

Dezoksidasyon. kaynak banyosundan bir elementin oksijenle birleşerek oksit oluşturup cürufa geçmesine denir; oksijen dikişte gözenek oluşumuna neden olduğundan, bu işlemin kaynak esnasında gerçekleşmesi çok önemlidir. Çeliklerin kaynağında kullanılan elektrodlara ilave edilen alaşım elementleri ve bunların etkileri aşağıda belirtilmiştir.

Silisyum

Çeliklerin eriyen elektrodla gazaltı kaynağında silisyum elektrod metalinde en yaygın bir şekilde kullanılan dezoksidasyon elementidir. Genelde, çelik gazaltı telleri % 0.40 ilâ 1,2 arasında değişen bir oranda silisyum içerirler ve bu bileşim aralığında, silisyum çok iyi bir dezoksidasyon özeliğine sahiptir. Silisyum içeriğinin yükselmesi sonucu kaynak metalinin sünekliliğinin az bir miktar azalmasına karşın mukavemeti

oldukça şiddetli bir artma oluşturur; bir sınır değer üzerinde, silisyum miktarının artması ise kaynak dikişinin çatlama hassasiyetini artırır.

Mangan

Mangan da silisyum gibi, kaynak metalinin mukavemet özelliklerinin geliştirilmesi ve kaynak banyosunun dezoksidasyonu için ilave edilir. Mangan içeriğinin artması kaynak dikişinin mukavemetini silisyumdan daha şiddetli olarak yükseltir ve aynı zamanda kaynak metalinin çatlama hassasiyetini de azaltır. Çeliklerin kaynağında kullanılan kaynak tellerinin manganez içeriği % 0.70 ilâ 2 arasında değişir.

Alüminyum, Titanyum, Zirkonyum

Bu elementlerin hepsi de çok kuvvetli dezoksidandırılar, kaynak teline % 0.20'ye kadar ilave edildiklerinde aynı zamanda mukavemeti artırıcı yönde de etkirler.

Karbon

Karbon, çeliklerin yapısal ve mekanik özelliklerini diğer bütün alaşım elementlerinden çok daha şiddetli bir şekilde etkiler, bu bakımdan çelik kaynak tellerinde miktarı % 0.05 ilâ 0.12 arasında değişir. Bu miktar kaynak metalinin mukavemetini gerektiği kadar yükselttiği gibi süneklik ve tokluğuna da olumsuz yönde hissedilebilir bir etki yapmaz.

Esas metal veya telde karbon miktarının artması, koruyucu gaz olarak CO₂ kullanılması halinde porozite oluşumuna neden olur; karbon miktarı artınca, banyoda CO oluşarak karbon kaybı ortaya çıkar, bu da gözenek oluşumuna neden olur, bu olay dezoksidasyon elementlerinin ilavesi ile önlenir.

Diğer alaşım elementleri

Nikel, krom ve molibden mekanik özellikleri geliştirmek ve korozyon dayanımını arttırmak gayesi ile çeşitli çelik kaynak tellerine katılan alaşım elementleridir. Bu elementler az miktarda kaynak metalinin mukavemet ve tokluğunu arttırmak gayesi ile paslanmaz çelikler halinde ise oldukça yüksek miktarlarla paslanmayı önlemek için katılırlar. Genel olarak kaynak işleminde koruyucu gaz olarak bir asal gaz veya içinde az miktarda CO₂ içeren asal gaz kullanıldığında, kaynak dikişinin kimyasal bileşimi telin bileşiminden bir farklılık göstermez, buna karşın saf CO₂ kullanılması halinde Si ve Mn ve diğer dezoksidasyon elementlerinin miktarlarında bir azalma görülür. Çok düşük miktarlarda (% 0.04-0.05) karbon içeren teller ile yapılan kaynak dikişlerinde ise karbon miktarında bir artma görülür.

ÇELİKLERİN KAYNAĞINDA KULLANILAN TEL VE ÖZLÜ ELEKTRODLARIN SINIFLANDIRILMASI

Çeliklerin eriyen elektrod ile gazaltı kaynağında (MIG-MAG) kullanılan tel ve özlü tel elektrodlar ülkemizde TS, Alman DIN standartlarına ve Amerikan AWS'a göre sınıflandırılır. Ülkemizde bu konuda sadece az alaşımlı çeliklerin kaynağı için kullanılan çelik tellere ait bir Standard bulunmaktadır (TS 5618). Uygulamada bu halin dışında yukarıda belirtildiği gibi DIN ve AWS standartlarına başvurulmaktadır.

Birçok metal ve alaşımın gazaltı kaynağı için geliştirilmiş olan elektrodlar genellikle her iki standartta kimyasal bileşimlerine göre sınıflandırılmış olmasına karşın, çelikler halinde bir istisna olarak hem kimyasal bileşim ve hem de mekanik özellikler bir arada sınıflandırma kriteri olarak kullanılmışlardır.

Çeliklerin kaynağında kullanılan tel ve özlü elektrodların AWS A5.18 ve A5.28'e göre sınıflandırması Tablo 4'de verilmiştir.

AWS standardında MIG-MAG kaynak elektrodlarının simgeleri 4 grup işareten oluşmuştur:

1- Simgenin baş kısmındaki E harfi elektrod olduğunu ve MIG-MAG kaynağında kullanılabileceğini gösterir; bunu takiben bulunan R harfi ise aynı elektrodun TIG kaynağında da kullanılabileceğini belirtir.

AWS Standard No.	Metal
A5.7	Bakır ve bakır alaşımları
A5.9	Paslanmaz çelikler
A5.10	Alüminyum ve alüminyum alaşımları
A5.14	Nikel ve alaşımları
A5.16	Titanyum ve titanyum alaşımları
A5.18	Karbonlu çelikler
A5.19	Magnezyum alaşımları
A5.24	Zirkonyum ve alaşımları
A5.28	Az alaşımlı çelikler

Tablo 3 — MIG-MAG kaynağında kullanılan elektrodların AWS Standard numaraları

- 2- 2 veya 3 hane halinde verilmiş olan rakamlar kaynak telinin nominal çekme mukavemetini belirtir.
- 3- Rakamlardan sonra gelen harf kaynak telinin türünü belirtir, S Standarddolü teli. C ise özlü teli belirtir.
- 4- En sonda bulunan rakam veya harfler telin özel bileşimini belirtir.

Simge	Malzeme No.	Kimyasal Bileşim %						Müsaade edilen Safsızlık
		C	Si	Mn	P	S	Cu	
SG 1	1.5112	0,07 - 0,12	0,5 - 0,7	1,0 - 1,3	0,025	0,025	0,30	Cr 0,15 V 0,05
SG 2	1.5125	0,07 - 0,14	0,7 - 1,0	1,3 - 1,6	0,025	0,025	0,30	Zr+Ti 0,15 Al 0,02
SG 3	1.5130	0,07 - 0,14	0,8 - 1,20	1,6 - 1,9	0,025	0,30	0,30	Ni 0,15 Mo 0,15

Tablo 5 — DIN 8559 ve TS 5618'e göre alaşımsız ve az alaşımlı çeliklerin kaynağında kullanılan tel elektrodların kimyasal bileşimi.

Simge	C	Si	Mn	Kimyasal Bileşim %				Müsaade edilen Safsızlık
				P	S	Cu	Ni	
SG R 1	0,05 - 0,12	0,2 - 0,6	0,8 - 1,4	0,03	0,03	0,35	0,7	Cr 0,15 V 0,05 Zr+Ti 0,15
SG B 2	0,05 - 0,12	0,15 - 0,45	0,8 - 1,6	0,03	0,03	0,35	0,7	Al 0,02 Mo 0,15

Tablo 6 — DIN 8559 ve TS 5618'e göre alaşımsız ve az alaşımlı çeliklerin kaynağında kullanılan özlü elektrodlar ile yapılmış kaynak dikişlerinin kimyasal bileşimleri.

ÇAPLAR		Toleranslar
Anma Boyutu		
1,0		
1,2		+0,01
1,4		-0,03
1,6		+0,01 -0,05
2,0		+0,01
2,4		-0,06
3,0		+0,2
3,2		0,1
4,0		

Ölçüler mm.dir.

Tablo 7 — Özlü Elektrodların çap ve toleransları (DIN 8559 ve TS 5618)

ÇAPLAR		Toleranslar
Anma Boyutu		
(0,6)		+0,01 -0,02
0,8		
0,9		+0,01
1,0		-0,03
1,2		
1,4		
1,6		+0,01 -0,04
2,0		+0,01
2,4		-0,05
(3,2)		+0,01 -0,06

Ölçüler mm.dir.

Parantez içindeki değerler zorunluluk olmadıkça kullanılmamalıdır.

Tablo 8 — Tel elektrodların çap ve toleransları (DIN 8559 ve TS 5618)

Tel Çapı (mm.)	0,6	0,8	0,9	1,0	1,2	1,6 2,0	2,4 3,2
En az çekme mukavemeti (N/mm ²) 1)	1100	1100	1000	950	900	700	600
1) D100 kod numaralı makaralara sarılan tel elektrodların çekme mukavemetleri yukarıda belirtilenlerin % 50-70'i olarak alınabilir.							

Tablo 9 — DIN 8559 ve TS 5618'e göre çelik tel elektrodların çekme mukavemetleri.

Alaşımız ve az alaşımlı çeliklerin MIG-MAG yöntemi ile tel ve özlü elektrod kullanarak yapılan kaynaklarda kaynak metalinin mekanik özelliklerinin DIN 8559'a göre saptanması için yapılacak deneylerde Tablo 10'da önerilen koşullarda çalışılmaktadır.

Elektrod Türü	Çap (mm)	A	V	Kaynak Hızı cm/dak	Serbest tel uzunluğu (mm)
Tel Elektrod	1,2	280±10	(*)	45	20
Özlü Elektrod	1,6	300±10	28±1	35	25
Özlü Elektrod	2,4	420±10	29±1	45	30
Özlü Elektrod	3,2	470±10	30±1	50	30
(*) Tel elektrod halinde gerilimi seçilen koruyucu gaz belirlemektedir.					

Tablo 10 — Deney kaynağı için kaynak koşulları.

Kaynak metalinin TS 5618 ve DIN 8559'a göre işaretlenmesinde kullanılan simgeler Tablo II'den Tablo 15'e kadar açıklanmıştır.

İşareti	Çekme Mukavemeti N/mm ²	Min. Akma Mukavemeti N/mm ²	Min. % Uzama L ₀ = 5 d ₀
47	470 — 610	400	
52	520 — 660	430	22
57	570 — 710	470	

Tablo 11 — Kaynak metalinin çekme mukavemetini belirten rakamlar (DIN 8559).

Sembol	Çekme ¹ Mukavemeti N/mm ²	Oda sıcaklığında	
		En az Akma Sınırı N/mm ²	En az Uzama % L ₀ = 5 d ₁
Y 42	500 - 640	420	22
Y 46	530 - 680	460	
Y 50	560 - 720	500	
1) Çekme mukavemeti sembolde yer almaz. Saf kaynak metal kütlesinde bağlantı yerinden alınan enine deney parçasında en az çekme değeri, kaynatılan ana metalin en az çekme mukavemetinin % 10'u kadar düşük değerde olabilir. Akma sınırı açık olarak belirlenemediği takdirde % 0,2 noktasına ait deneme gerilmesi kullanılabilir.			

Tablo 12 — Kaynak metalinin çekme mukavemeti, akma mukavemeti ve uzama için semboller (TS 5618)

1. Rakam	Min. 28 J Çentik darbe değeri veren sıcaklık °C ISO V	2. Rakam	Min. 47 J çentik darbe değeri veren sıcaklık °C (1) ISO V
0	Veri Yok	0	Veri Yok
1	+20	1	+20
2	0	2	0
3	-20	3	-20
4	-30	4	-30
5	-40	5	-40

(1) Tanıtma numarasının bulunması için; her sıcaklık kademesinde 3'er numune denenir. 28 j değerinin bulunduğu en düşük sıcaklık değeri 1. basamak numarasını, 47 j değerinin bulunduğu en düşük sıcaklık değeri 2. basamak numarasını verir. Bu iki numaranın yan yana gelmesiyle tanıtma numarası meydana gelir.

Tablo 13 — Kaynak metalinin çentik darbe değerleri için tanıtma numaraları (DIN 855.9 ve TS 5618'e göre)

Tel/Gaz Karışımı	Kaynak Metalinin Mekanik Özellikleri
WSG1-1	Y 4254
WSG2-1	Y 4654
SG2-M2	Y 4854
SG2-M3	Y 4843
SG2-C	Y 4643
SG3-M2	Y 5054
SG3-M3	Y 4843
SG3-C	Y 4643
SG R1-C	Y 4221
SG B1-C	Y 4254
SG B1-M2	Y 4254

Tablo 14 — Tel gaz karışımı ve kaynak metalinin mekanik özellikleri.

Ana Metal		Kaynak Metalinin En az Mekanik Özellikleri ¹⁾
Genel Yapı Çelikleri (TS 2162)	Fe 37-2, KFe 37-2	Y 4210
	Fe 37-3	Y 4230
	Fe 44-2	Y 4210
	Fe 44-3	Y 4230
	Fe 52-3	Y 4230
	Fe 50-2 ²⁾ , Fe 60-2 ²⁾ , Fe 70-2 ²⁾	Y 4230
Boru Çelikleri	USt 37,0	Y 4200
	St 37,0, St 44,0 St 52,0	Y 4200
	St 37,4, St 44,4, St 52,4	Y 4211
Kazan Saçları	St 37,8, St 42,8	Y 4200
	UHI	Y 4300
	HI, HII, 17 Mn4, St 45,8, St 35,8	Y 4222
	19 Mn 5	Y 4622
Boru Çelikleri	StE 210,7, StE 290,7, StE 320,7, StE 360,7, StE 385,7, StE 415,7	Y 4222
	StE 445,7TM, StE 480,7TM	Y 5022
Gemi İnşaat Çelikleri	A	Y 4211
	B,D	Y 4222
	E	Y 4233
	A 32, A 36, D 32, D 36	Y 4222
	E 32, E 36	Y 4233
İnce Taneli Yapı Çelikleri	StE 255, WSIE 255	Y 4232
	StE 285, WSIE 285	Y 4232
	StE 315, WSIE 315	Y 4232
	StE 355, WSIE 355	Y 4232
	StE 380, WSIE 380	Y 4232
	StE 420, WSIE 420	Y 4232
	StE 460, WSIE 460	Y 4632
	StE 500, WSIE 500	Y 5032
	TSIE 255 ³⁾	Y 4253
	TSIE 285 ³⁾	Y 4253
	TSIE 355 ³⁾	Y 4253
	TSIE 380 ³⁾	Y 4253
	TSIE 420 ³⁾	Y 4253
	TSIE 460 ³⁾	Y 4653
TSIE 500 ³⁾	Y 5053	

1) Mekanik özellikler Tablo 11 ve Tablo 12'ye göre sembollendirilmiştir.
2) Bu malzemeler sadece özel durumlar altında kaynatılmış olabilirler (Örneğin, kaynak sonrası ısıtma işlemi)
3) Birleştirilmiş kaynak metalini sadece -40°C'yi geçmeyen ortam sıcaklığına bağlıdır ve bu yüzden 0°C'in altında tokluk gösteren çeliklerin düşük sıcaklık darbe enerjileri için belirlenmiş en az değerleri göstermez.

Tablo 15 - Çeşitli Çelik Sınıfları ve Tel/Gaz Bileşimleri Vasıtasıyla Üretilen Kaynak Metalini Arasındaki İlişkiler

Sembol	Tanım	Eleman Sayısı	Elemanlar (% Hacim)						Kullanım Yeri	Açıklama
			Oksitleyici		Asal Gaz		Redük-leyici H ₂	Reaktif N ₂		
			CO ₂	O ₂	Ar	He				
R	1	1	-	-	-	-	100	-	Atomik hidrojen kaynağı	Redükleyici
	2	2	-	-	Geri ¹⁾ kalanı	-	1-5	-	TIG Plazma	Redükleyici
I	1	1	-	-	100	-	-	-	TIG Plazma	Asal Gaz
	2	1	-	-	-	100	-	-	MIG	
	3	2	-	-	Geri ¹⁾ kalanı	25-75	-	-	Kök Koruma	
M1	1	2	-	1-3	Geri ¹⁾ kalanı	-	-	-	Karşım gazla MAG	Az Oksijenli
	2	2	2-5	-	Geri ¹⁾ kalanı	-	-	-		
	3	2	6-14	-	Geri ¹⁾ kalanı	-	-	-		
M2	1	2	15-25	-	Geri ¹⁾ kalanı	-	-	-	Karşım gazla MAG	Belirgin Oksijenli
	2	3	5-15	1-3	Geri ¹⁾ kalanı	-	-	-		
	3	2	-	4-8	Geri ¹⁾ kalanı	-	-	-		
M3	1	2	28-40	-	Geri ¹⁾ kalanı	-	-	-	Karşım gazla MAG	Belirgin Oksijenli
	2	3	5-20	4-6	Geri ¹⁾ kalanı	-	-	-		
	3	2	-	9-12	Geri ¹⁾ kalanı	-	-	-		
C	1	2	100	-	-	-	-	-	CO ₂ ile MAG	
F	1	2	-	-	Geri ¹⁾ kalanı	-	1-30	-	Kök koruma	Redükleyici H ₂ miktarı %10'u aşarsa ateleme kesilmelidir.
	2	2	-	-	-	-	1-30	Geri ¹⁾ kalanı		

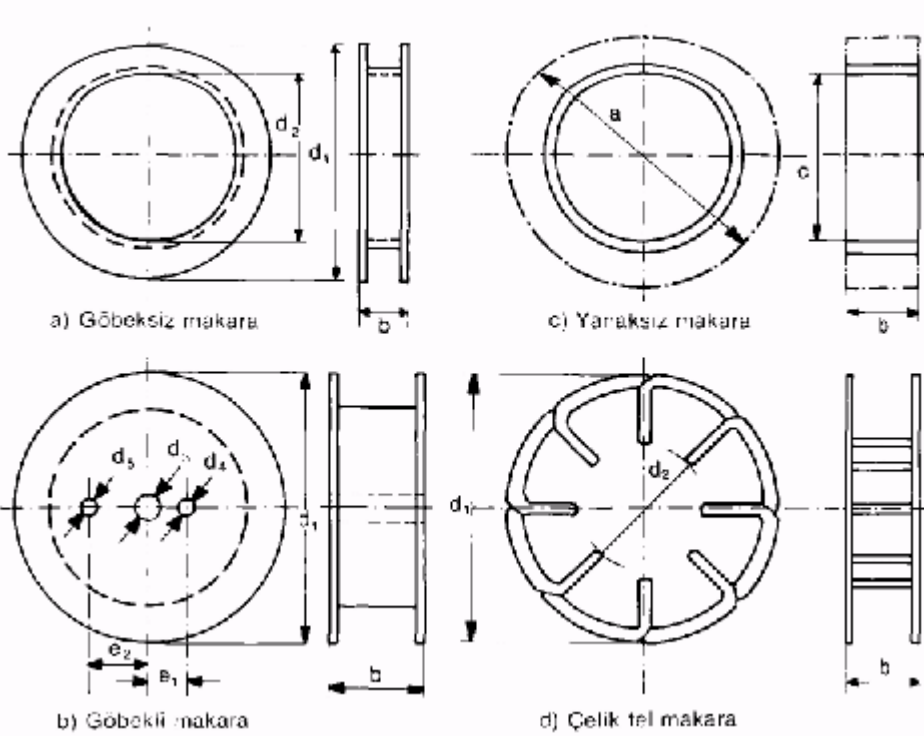
1) He kısmen Ar yerine geçebilir.

Tablo 16 — Koruyucu Gaz Sembolleri ve Bileşimleri (TS 5618)

ÖRNEK 1 (TS 5618'e göre kaynak metalinin kısa gösterimi): M13 karışım gaz altında ergitilmiş SG1 tipi bir tel elektrodun, en az akma sınırı 430 N/mm², çekme mukavemeti 52 N/mm² (52), tanıma numarası 32 (en az Vurma değeri -20 °C'da 28j ve 0 °C'da 47j) olan kaynak metalinin kısa gösterilişi.

Kaynak metali TS 5618 SG1 M13 52 32..

ÖRNEK (DIN 8559'a göre gösterim): SG1 M13 52 32 DIN 8559



Şekil 28- Makara türleri (TS 5618)

Adlandırma	Kod No.	Dış Çap d_1	İç Çap d_2	Genişlik b	Göbek Delik Çapı d_3	Sürme Deligi				Ağırlık (Kg)
						Çap		Merkezden Uzaklık		
						d_4	d_5	e_1	e_2	
Göbekli Makara	D100	$100^{±2}$	-	$45^{+0.1}$	$16,5^{+0.1}$	-	-	-	-	0,5
Göbekli Makara	D200	$200^{±3}$	-	$55^{+0.3}$	$50,5^{+2.5}$	10^{+1}	-	$44,5^{±0.5}$	-	5
Göbekli Makara	D300	$300^{±5}$	-	$103^{+0.1}$	$51,5^{+1}$	10^{+1}	-	$44,5^{±0.4}$	-	15
Göbekli Makara	D500	$500^{+2.5}$	-	$350^{+1.5}$	$40,5^{+1}$	25^{+1}	-	$65^{±1}$	-	150
Göbekli Makara	D760	760^{+10}	-	290^{+10}	$40,5^{+1}$	25^{+1}	35^{+1}	$65^{±1}$	$110^{±1}$	300
Göbeksiz Makara	H420	420 max	300^{+10}	90^{+3}	-	-	-	-	-	12
Kangal	R420	420 max.	300^{+10}	90^{+5}	-	-	-	-	-	25
Çelik tel Makara	K300	300^{+2}	$180^{+0.5}$	$98^{±0.7}$	-	-	-	-	-	20

Tablo 17 — Göbekli, göbeksiz makara ölçü ve ağırlıkları.

Ölçüler mm.dir

a) Çap	b		Çap	Tolerans
	Genişlik	Tolerans		
300 max	90	$\begin{matrix} 0 \\ -15 \end{matrix}$	200	$\begin{matrix} +10 \\ 0 \end{matrix}$
	120	$\begin{matrix} 0 \\ -20 \end{matrix}$		0
350 max	90	$\begin{matrix} 0 \\ -15 \end{matrix}$	300	$\begin{matrix} -15 \\ 0 \end{matrix}$
	120	$\begin{matrix} 0 \\ -20 \end{matrix}$		0
435 max	90	$\begin{matrix} 0 \\ -15 \end{matrix}$	300	$\begin{matrix} +15 \\ 0 \end{matrix}$
	120	$\begin{matrix} 0 \\ -20 \end{matrix}$		0

1) Tercih edilen ölçüler

Tablo 18 — Yanaksız Makara Ölçüleri. Paslanmaz Çelik Elektrodlar

Paslanmaz çeliklerin gazaltı kaynağında elektrod seçiminde aşağıdaki faktörlerin gözönünde bulundurulması gereklidir:

1.- Paslanmaz çeliklerin kaynağında Ar-1% O₂ karışımı spreyci ark halinde ve kısa ark halinde ise ABD'de %90 He, %7.5 Ar, %2,5 CO₂ karışımı (A-1025) kullanılır. Bu her iki gaz ile de bütün paslanmaz çelikleri kaynatmak mümkündür.

2.- Kaynak elektrodu seçimi genel olarak kaynak metal bileşiminin esas metal ile uyum göstermesi esasına göre seçilir.

3.- Burada elektrod seçiminde dezoksidantların miktarı bir kriter olarak kullanılmaz.

Simgesi	Kimyasal Bileşim %								Kalan	DIN 17003'e göre grubu	Materiyel No
	C	Si	Mn	P _{max}	S	Cr	Mo	V			
SG Mo	0,08 0,12	0,40 0,70	0,90 1,30	0,020	0,020	-	0,40 0,60	-	-	15 NiMo 35	1.5424
SG MoV	0,08 0,15	0,40 0,70	0,70 1,10	0,020	0,020	0,30 0,60	0,60 1,00	0,20 0,40	-	10 NiMoCrV 47	1.5407
SG CrMo 1	0,08 0,14	0,40 0,90	0,90 1,20	0,020	0,020	1,00 1,30	0,40 0,60	-	-	11 CrMo 55	1.7339
SG CrMo 2	<0,10	0,20 0,90	0,50 1,20	0,020	0,020	2,20 3,00	0,90 1,10	-	-	7 CrMo 12 10	1.7384
SG CrMo 5	<0,10	0,20 0,60	0,40 0,70	0,020	0,020	5,5 6,5	0,50 0,80	-	-	X 7 CrMo 61	1.7073
SG CrMo 9	<0,10	0,30 0,60	0,40 0,70	0,020	0,020	8,5 10,0	0,30 1,10	-	-	X 7 CrMo 10 1	1.7358
SG CrMo WV 12	0,20 0,28	0,05 0,40	0,40 2,00	0,025	0,025	11,0 13,0	0,90 1,20	0,25 0,40	Ni ≤ 1,00 W 0,40 0,70	X 24 CrMoV 12 1	1.4936

1) Ni ve Si içeriği kullanılan koruyucu gaz türüne göre değişir.

Tablo 19 — DIN 8575 göre sıcaklığa dayanıklı çeliklerin kaynağında kullanılan gazaltı kaynak telleri.

Simge	Malzeme No.	Kimyasal Bileşim ¹⁾						
		C _{eq}	Cr	Mo	Ni	Digerleri ²⁾		
X 8 Cr 14	1.4008	0,10	13,5	15,5	—	—	—	
X 3 CrNi 13 4	1.4351	0,04	12,5	15,0	3,0	5,0	—	
X 8 CrTi 18	1.4502	0,10	16,5	18,5	—	—	T 0,4 - 0,7	
X 5 CrNi 19 9	1.4302	0,06	16,0	20,0	—	8,5	10,5	
X 2 CrNi 19 9	1.4316	0,025	16,0	21,0	—	9,0	11,0	
X 5 CrNiNb 19 9	1.4551	0,07	16,0	20,0	—	8,0	10,0	
X 5 CrNiMo 19 11	1.4403	0,06	16,0	20,0	2,5	3,0	10,0	
X 2 CrNiMo 19 12	1.4430	0,025	17,0	19,0	2,5	3,0	10,0	
X 5 CrNiMoNb 19 12	1.4576	0,07	16,0	20,0	2,5	3,0	10,0	
X 2 CrNiMo 16 15	1.4433	0,025	17,0	19,0	2,5	3,5	13,0	
X 5 CrNiMo 16 13	1.4447	0,06	17,0	19,0	4,0	5,0	12,5	
X 6 NiCrMoCuNb 20 18	1.4507	0,07	17,5	20,0	2,0	2,5	20,0	
X 5 CrNiMoNb 25 25	1.4587	0,07	25,0	27,0	2,0	2,5	24,0	
X 2 CrNi 24 12	1.4332	0,025	23,0	25,0	—	—	11,0	
X 2 CrNiNb 24 12	1.4556	0,025	23,0	25,0	—	—	11,0	
X 15 CrNiMn 18 8	1.4370	0,20	17,0	20,0	—	—	7,5	
X 8 Cr 30	1.4773	0,10	29,0	31,0	—	—	≤2,0	
X 12 CrNi 25 4	1.4820	0,15	25,0	27,0	—	—	4,0	
X 12 CrNi 22 12	1.4829	0,15	21,0	23,0	—	—	10,0	
X 12 CrNi 25 20	1.4842	0,15	24,0	27,0	—	—	19,0	
X 12 NiCr 36 18	1.4863	0,20	17,0	19,0	—	—	36,0	
							9,5	
							Mn 5,5 - 7,5	

1) Özel hallerde sapmalar ve gayri safiyetler anlaşmaya bağlıdır.

2) Gazaltı için Si > 0,5%, Tozaltı için Si < 0,5%

3) Nb içeriği en az C'ün 12 katı olmalıdır; Nb %'sinin 20 katı Ta konabilir.

Tablo 20 — DIN 8558'a göre Paslanmaz ve Isıya Dayanıklı Çelikler için kaynak tellerinin bileşimi.

Simge	C	Cr	Ni	Mo	Mn	Nb + Ta	Si	P	S	Cu	Fe
ER308	.08	19.5-22.0	9.0-11.0	.50	1.0-2.5	—	30-65	.03	.03	.50	.50
ER308L ^a	.03	19.5-22.0	9.0-11.0	.50	1.0-2.5	—	30-65	.03	.03	.50	.50
ER308Mo ^b	.08	18.0-21.0	9.0-12.0	2.0-3.0	1.0-2.5	—	30-65	.03	.03	.50	.50
ER308MoL ^{a,b}	.04	18.0-21.0	9.0-12.0	2.0-3.0	1.0-2.5	—	30-65	.03	.03	.50	.50
ER309	.12	23.0-25.0	12.0-14.0	.50	1.0-2.5	—	30-65	.03	.03	.50	.50
ER309L ^a	.03	23.0-25.0	12.0-14.0	.50	1.0-2.5	—	30-65	.03	.03	.50	.50
ER310	.08-.15	25.0-28.0	20.0-22.5	.50	1.0-2.5	—	30-65	.03	.03	.50	.50
ER312	.15	28.0-32.0	8.0-10.0	.50	1.0-2.5	—	30-65	.03	.03	.50	.50
ER16-8-2 ^c	.10	14.5-16.5	7.5-9.5	1.0-2.0	1.0-2.5	—	30-65	.03	.03	.50	.50
E16R316	.08	18.0-20.0	11.0-14.0	2.0-3.0	1.0-2.5	—	30-65	.03	.03	.50	.50
ER316L ^a	.03	18.0-20.0	11.0-14.0	2.0-3.0	1.0-2.5	—	30-65	.03	.03	.50	.50
ER317	.08	18.5-20.5	13.0-15.0	3.0-4.0	1.0-2.5	—	30-65	.03	.03	.50	.50
ER317L ^a	.03	18.5-20.5	13.0-15.0	3.0-4.0	1.0-2.5	—	30-65	.03	.03	.50	.50
ER318	.08	18.0-20.0	11.0-14.0	2.0-3.0	1.0-2.5	8 x C min 1.0	30-65	.03	.03	.50	.50
ER320	.07	19.0-21.0	32.0-36.0	2.0-3.0	2.5	8 x C min 1.0	.60	.04	.03	3.0-4.0	.50
ER321	.08	18.5-20.5	9.0-10.5	.5	1.0-2.5	—	30-65	.03	.03	.50	.50
ER330	.18-.25	15.0-17.0	34.0-37.0	5	1.0-2.5	—	30-65	.03	.03	.50	.50
ER347	.08	19.0-21.5	9.0-11.0	5	1.0-2.5	10 x C min 1.0	30-65	.03	.03	.50	.50
ER348	.08	19.0-21.5	9.0-11.0	5	1.0-2.5	10 x C min 1.0	30-65	.03	.03	.50	.50
ER349	.07-.13	19.0-21.5	8.0-9.5	36-.65	1.0-2.5	1.0-1.4	30-65	.03	.03	.50	.50
ER410	.12	11.5-13.5	.60 ^d	.6	.60	—	.60	.03	.03	.50	.50
ER410NiMo ^d	.06	11.0-12.5	4.0-5.0	4.7	.60	—	.50	.03	.03	.50	.50
ER420	.25-.40	12.0-14.0	.60	.50	.60	—	.50	.03	.03	.50	.50
ER430	.10	15.5-17.0	.60	.50	.60	—	.50	.03	.03	.50	.50
ER26-1 ^a	.10	15.5-17.0	—	.50	.60	—	.50	.02	.02	.20	.20
ER502	.10	4.5-6.0	.60	45-.65	.60	—	.50	.03	.03	.50	.50
ER505	.10	6.0-10.5	.50	8-1.2	.60	—	.50	.04	.03	.50	.50
ER630	.05	16.0-16.8	4.5-6.0	.75	25-.75	15-.30	.75	.04	.03	3.25-4.0	.50

Tablo 21 — AWS A5.9'a göre paslanmaz ve korozyona dayanıklı çelik tel elektrodların bileşimleri.

a L harfi, çok düşük karbon bileşimini ifade eder.

b Mo yazısı, molibden ile alaşımlanmış olduğunu belirtir.

c 16-8-2 gösterimi, % 16 Cr, % 8 Ni, % 2 Mo içeriğini ifade eder.

d Ni yazısı, Nikel ile alaşımlanmış olduğunu belirtir.

e 26-1 gösterimi % 26 Cr, % 1 Mo içeriğini ifade eder.

DEMİRDİŞİ METAL VE ALAŞIMLARIN KAYNAĞINDA KULLANILAN TEL ELEKTRODLAR

Alüminyum alaşımı kaynak tellerinin, ana alaşım elementleri magnezyum, manganez, çinko, silisyum ve bakırdır. Bu elementleri katmanın en Önemli gereği, alaşımın mekanik özelliklerinin ıslahıdır, doğal olarak bu işlem yapılırken ortaya çıkan alaşımın korozyon direnci ve kaynak kabiliyeti de

gözönünde bulundurulur.

Simge	Malzeme No.	Kimyasal Bileşim %	Erime Noktası °C	Yoğunluk kg/dm ³	DIN 1712 Blatt 3 ve DIN 1725 Blatt 1 ve Blatt 2'ye göre uygun alaşımlar
S - Al99,8	3.0286	Al min. 99,8	658	2,70	Al99,8 Al99,7 Al99,5 E - Al
S - Al99,8	3.0286	Al min. 99,8	658	2,70	Al99,8 Al99,7 Al99,5 E - Al
S - Al99,5	3.0259	Al min. 99,5	647 ilâ 658	2,70	Al99,5 Al99 E - Al
S - Al99,5Ti	3.0805	Al + Ti min. 99,5 Ti 0,1 - 0,2	647 ilâ 658	2,71	Al99,5 Al99 Al99,8 Al99,7
S - AlMn	3.0516	Mn 0,9 - 1,4 Mg 0 - 0,3 Gerisi Al	648 ilâ 657	2,73	AlMn
S - AlMg3	3.3536	Mg 2,6 - 3,4 Mn 0 - 0,8 Cr 0 - 0,3 Ti 0,10 - 0,25 Gerisi Al	500 ilâ 642	2,66	AlMg3, AlMg3, AlMgMn AlMg1, AlMg2 AlMgSi0,5 AlMgSi0,8 G - AlMg3 G - AlMg3 (Cu) G - AlMg3Si
S - AlMg5	3.3556	Mg 4,5 - 5,5 Mn 0 - 0,5 Cr 0 - 0,3 Ti 0,10 - 0,25 Gerisi Al	562 ilâ 633	2,64	AlMg5, AlMgMn AlMg3, AlMgMn AlMgZn G - AlMg3, G - AlMg3Si G - AlMg5, G - AlMg5Si G - AlMg10 G - AlMg3 (Cu) AlMgSi1
S - AlMg4,5Mn	3.3548	Mg 4,3 - 5,2 Mn 0,60 - 1,0 Cr 0,05 - 0,25 Ti 0,10 - 0,25 Gerisi Al	568 ilâ 636	2,4	AlMg4,5Mn, AlMg5 AlZnMg1 G - AlMg3, G - AlMg3Si G - AlMg5, G - AlMg5Si G - AlMg10, G - AlMg3 (Cu) AlMgSi
S - AlSi5	3.2246	Si 4,5 - 5,5 Gerisi Al	573 ilâ 625	2,68	AlSi5, AlMgSi0,5 AlMgSi0,8, AlMgSi
S - AlSi12	3.2585	Si 11,0 - 13,5 Mn 0 - 0,5 Gerisi Al	573 ilâ 585	2,65	%7'den fazla Si

Tablo 22 — DIN 1732'ye göre Al ve alaşımları için kaynak telleri

Hangi tür alüminyum elektrodun, hangi tür alaşım ile beklenen sonucu verdiği tecrübeler ile saptanmıştır ve genellikle bir tür tel birden fazla alaşım ile rahatlıkla kullanılabilir; tabiatı ile burada üzerinde durulması gereken en önemli husus kaynak bağlantısından beklenen özelliklerdir.

Simge	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
ER1100	Si + Fe	1.0	.05-.20	.05	—	—	.10	—	89.00
ER1260	Si + Fe	.40	.04	.01	—	—	—	—	99.60
ER2319	.20	.30	5.8-6.8	20-40	.02	—	10	.10-.20	Kalanı
ER4145	9.3-10.7	.8	3.3-4.7	15	15	.15	20	—	Kalanı
ER4043	4.5-6.0	.8	.30	.05	.05	—	10	.20	Kalanı
ER4047	11.0-13.0	.8	.30	15	10	—	20	—	Kalanı
ER5039	.10	.40	.03	.30-.50	3.3-4.3	.10-.20	2.4-3.2	.10	Kalanı
ER5554	Si + Fe	.40	.10	.50-1.0	2.4-3.0	.05-.20	25	.05-.20	Kalanı
ER5654	Si + Fe	.45	.05	.01	3.1-3.9	.15-.35	20	.05-.15	Kalanı
ER5356	Si + Fe	.50	.10	.05-.20	4.5-5.5	.05-.20	10	.06-.20	Kalanı
ER5556	Si + Fe	.40	.10	.50-1.0	4.7-5.5	.05-.20	25	.05-.20	Kalanı
ER5183	.40	.40	.10	.50-1.0	4.3-5.2	.05-.20	25	.15	Kalanı

Tablo 23 — AWS A5.10'a göre alüminyum kaynak telleri.

Ticari Adı	Simge	Cu ^a + Ag	Zn	Sn	Mn	Fe	Si	Ni + Co	P	Al	Pb	Ti	Diğer Top ^d
Bakır	ERCu	98.0	-	1.0	0.5	-	50	-	.15	.01 ^c	.02 ^d	-	.50
Silisyum Bronzu	ERCuSi-A	94.0	1.5 ^b	1.5 ^b	1.5 ^b	0.5	2.0-4.0	-	-	.01 ^c	.02 ^d	-	.60
Fosfor Bronzu	ERCuSn-A	93.5	-	4.0-6.0	-	-	-	-	.10-.35	.01 ^c	.02 ^d	-	.60
Bakır-Nikel	ERCuNi ^e	kalanı	-	-	1.00	.40-.75	15	29.0-32.0	.02	-	.02 ^d	-	.50
	ERCuAl-A1	"	.10	-	.50	-	.10	-	-	6.0-9.0	.02 ^d	-	.50
	ERCuAl-A2	"	.02	-	-	1.5	.10	-	-	9.0-11.0	.02 ^d	-	.50
	ERCuAl-A3	"	.10	-	-	3.0-5.0	.10	-	-	10.0-11.0	.02 ^d	-	.50
Alüminyum Bronzu	ERCuAl	"	.10	-	.60-3.50	3.0-5.0	.10	4.0-5.0	-	8.50-9.50	.02 ^d	-	.50
	ERCuMnAl	"	.15	-	11.0-14.0	2.0-4.0	.10	1.5-3.0	-	7.0-8.5	.02 ^d	-	.50

- a Minimum %
b Bunlardan biri veya hepsi beraberce bulunabilir.
c Maksimum kükürt (S) içeriği % 0.01.
d Diğer elementlerin toplamı verilmiş olan değeri geçmemelidir.

Tablo 24 — AWS A5.7'ye göre bakır ve alaşımlarının kaynak telleri.

Simgesi	Malzeme No.	Kimyasal Bileşim %		Fiziksel Özellikler		Uygulanan Malzemeler
		Alaşım Elementleri	Gayri Safiyetler	Erime Sıcaklığı °C	Yoğunluk kg/dm ³	
S-CuAg	2.1211	Cu + Ag min. 99,5 Ag 0,8...1,2 P 0,01...0,05	Mn 0...0,2 Si 0...0,1 Ni 0,3 Fe 0,05 Pb 0,01 As 0,05 Diğerleri 0,1	1070 ... 1090	8,9	Bakır
S-CuSn	2.1006	Cu min. 99 Sn 0,5...1,0 Si 0,1...0,5 Mn 0,5...1,5	P 0...0,02 Ni 0,3 Fe 0,05 Pb 0,01 As 0,05 Diğerleri 0,1	1020 ... 1050	8,9	Bakır
S-CuSi3	2.1461	Cu Kalanı Si 2,8...4,5 Mn 0,5...1,5	Sn 0...1,5 Fe 0...0,5 Zn 0...0,5 Pb 0,02 P 0,02 Diğerleri 0,5	910 ... 1025	8,5	Cu-Si ve Cu-Mn alaşımın
S-CuSn6	2.1022	Cu Kalanı Sn 5,0...8,0 P 0,01...0,4	Fe 0,1 Al 0,01 Zn 0,1 Pb 0,02 Diğerleri 0,4	910 ... 1040	8,7	Cu-Sn alaşımın
S-CuAl8	2.0921	Cu Kalanı Al 7,5...9,5	Mn 0...1,8 Ni 0...0,8 Fe 0,5 Si 0,2 Zn 0,2 Diğerleri 0,5	1030 ... 1040	7,7	Cu-Al alaşımın
S-CuAl8Ni2	2.0922	Cu Kalanı Al 7,5...9,5 Ni 1,8...2,8 Mn 1,5...2,8 Fe 1,5...2,5	Si 0,2 Zn 0,2 Diğerleri 0,4	1030 ... 1050	7,5	Cu-Al-Ni alaşımın
S-CuAl8Ni6	2.0923	Cu Kalanı Al 7,5...9,5 Ni 5,5...8,5 Fe 2,8...3,3 Mn 1,0...1,5	Si 0,2 Zn 0,2 Diğerleri 0,4	1015 ... 1045	7,5	Cu-Al-Ni alaşımın
S-CuAl11Ni3	2.0925	Cu Kalanı Al 10...11 Ni 5,5...6,6 Fe 2,6...3,3 Mn 1,0...1,5	Si 0,2 Zn 0,2 Diğerleri 0,4	1015 ... 1045	7,4	Cu-Al-Ni alaşımın
S-CuMn13Al	2.1367	Cu 72...78 Mn 9,0...14,0 Al 5,5...6,6 Fe 1,5...2,5 Ni 1,5...2,5	Si 0,2 Zn 0,2 Pb 0,02 Diğerleri 0,5	945 ... 985	7,4	Deniz suyuyla dayanıklı çinkosuz Cu-Al alaşımın
S-CuNi10Fe	2.0873	Cu Kalanı Ni 9,0...11,0 Fe 0,5...1,5 Mn 0,3...1,0 Nb+Ti 0,2...0,5	Sn 0,03 Zn 0,2 Pb 0,02 C 0,05 Diğerleri 0,4	1100 ... 1145	8,9	Cu-Ni Alaşımın CuNi5Fe CuNi10Fe
S-CuNi30Fe	2.0837	Cu Kalanı Ni 29,0...32,0 Mn 0,5...1,5 Fe 0,4...1,4 Ti 0,2...0,5	Sn 0,03 Zn 0,2 Pb 0,02 C 0,05 Diğerleri 0,4	1100 ... 1240	8,9	Cu-Ni alaşımın CuNi30Fe CuNi10Fe

Tablo 25 — DIN 1733'e göre Cu ve alaşımları için kaynak telleri.

Simge	Malz. No.	Kimyasal Bileşim		Fiziksel Ertme S. °C	Özellikler Yoğun. kg/dm ³	Uygulama Alanları
		Alaşımlar %	G. Saflyetler % Max			
S-NiTi	24155	Ni min. 80 Ti 1,0...4,0	C 0,05 Cu 0,25 S 0,01 Fe 0,75 Si 0,75 Mn 0,75 Nb 2 Al 1,0 Ti 1,0...4,0 Nb 2,5 Diğerleri 0,5	~1300	8,3	Ni 99,8 Ni 99,5 Ni 99,2 LC-Ni99 NiMin 1 LC-Ni99,5 Bu alaşımın çelikler ile birleştirilmesinde.
S-NiCr20Nb	24608	Ni min. 87 Cr 16,0...22,0 Mn 2,5...3,5 Nb 2,0...3,0	C 0,05 Si 0,5 Cu 0,5 Co 0,1 Fe 3,0 Ti 0,75 S 0,015 Mo 2,0 Diğerleri 0,5	~1400	8,5	NiCr15Fe LC-NiCr15Fe Mo15FeMo NiCr20Ti NiCr20TiAl LC-NiCr20TiAl Çelikler bu alaşımın yüksek sıcaklıkta kullanıldığı alanlarda ve bu alaşımın çelikler ile birleştirilmesinde.
S-NiCr20	24639	Ni min. 76 Cr 16,0...21,0	C 0,25 Mn 1,2 Cu 0,2 S 0,01 Fe 0,5 Si 0,5 Diğerleri 0,5	~1400	8,3	Azotlu alaşımın yüksek sıcaklıkta dayanıklı nikel alaşımına ve bu alaşımın çeliklere birleştirilmesinde.
S-NiMo30	24600	Ni min. 60 Mo 26,0...30,0 Fe 4,0...7,0 V 0,2...0,4	C 0,05 S 0,025 Co 2,5 Si 1,0 Cr 1,0 Mn 0 Diğerleri 0,5	1300 ... 1370	8,2	NiMo30 NiMo38 Bu alaşımın çelikler ile birleştirilmesinde.
SI-NiMo27	24615	Mo 26,0...30,0 Genel Ni	C 0,02 Cr 1,0 Mn 1,0 Si 0,10 Fe 2,0 S 0,03 Diğerleri 0,5	1330 ... 1360	8,2	NiMo30 NiMo38 Bu alaşımın çelikler ile birleştirilmesinde.
S-NiMo16Cr16W	24686	Mo 15,0...17,0 Cr 14,5...16,5 Fe 4,0...7,0 W 3,0...4,5 Genel Ni	C 0,02 Si 0,08 Co 2,5 S 0,03 Mn 0 V 0,35 Diğerleri 0,5	1300 ... 1330	8,6	NiMo16Cr16W Bu alaşımın çelikler ile birleştirilmesinde.
S-NiCr20Mo15	2439	Cr 19,0...21,0 Mo 14,0...16,0 Genel Ni	C 0,015 Si 0,10 Mn 1,0 S 0,02 Fe 1,5 Nb 0,40 V 0,40 Diğerleri 0,5	1270 ... 1300	8,6	NiMo16Cr16Ti NiMo16Cr16W Bu alaşımın çelikler ile birleştirilmesinde.
S-NiMo16Cr16Ti	24611	Mo 14,0...17,0 Cr 14,0...18,0 Genel Ni	C 0,015 Si 0,08 Co 2,5 S 0,03 Mn 1,0 Ti 0,7 Fe 3,0 Diğerleri 0,5	1300 ... 1330	8,6	NiMo16Cr16Ti Bu alaşımın çelikler ile birleştirilmesinde.
S-NiCr21Mo9Nb	24631	Ni min. 60 Cr 20...23 Nb 3,0...4,5 Mo 8...10	Mn 0,5 Co 0,010 Fe 5,0 S 0,015 Si 0,5 Al 0,4 Diğerleri 0,5	~1350	8,6	NiCr21Mo9Nb NiCr21Mo MoCr21Mo NiCr20Mo15 NiMo16Cr16Ti Bakır içermeyen nikel alaşımının birleştirilebilir ve aşınmaz alaşımın çelikler ile birleştirilmesinde.
S-NiCr27Mo	24656	Ni 38...42 Cr 24...26 Mo 2,5...4,0 Cu 1,5...3,0 Mn 0,5...2,0 Genel Fe	C 0,025 Al 0,20 Si 0,50 Ti 1,0 S 0,015 Diğerleri 0,5	1370 ... 1400	8,7	NiCr27Mo Bu alaşımın yüksek korozyon dayanıklı özellikleri çelikler ile birleştirilmesinde.
S-NiCr20Mo	24656	Ni 35...40 Cr 27...31 Mo 2,5...4,0 Cu 1,5...3,0 Mn 1,0...3,0 Genel Fe	C 0,020 Al 0,2 Si 0,50 Ti 1,0 S 0,015 Diğerleri 0,5	1370 ... 1400	8,2	NiCr21Mo Bu alaşımın yüksek korozyon mukavemet özellikleri çelikler ile birleştirilmesinde.
S-NiCu30MnTi	24377	Ni min. 62 Cu 26...34 Ti 1,5...3,0 Fe 0,5...2,5 Mn 2,0...4,0	C 0,15 S 0,02 Al 1,0 Si 1,0 Nb 0,5 Diğerleri 0,5	1315 ... 1350	8,9	NiCu30Fe LC-NiCu30Fe Bu alaşımın çelikler ile birleştirilmesinde.
S-NiCu30W	24373	Ni min. 63 Cu 27,0...34,0 Al 2,0...4,0 Fe 0,5...2,0	C 0,2 S 0,01 Si 1,0 Mn 1,5 Ti 1,0 Diğerleri 0,5	1300 ... 1350	8,7	NiCu30Al

Tablo 26 — DIN 1736'ya göre Nikel ve alaşımları için kaynak telleri.

Simge	C	Mn	Fe	P	S	Si	Cu	Ni ^a	Co	Al	Ti	Cr	Nb+Ta ^d	Mo	W	V
ENi 1	.15	.10	.10	.03	.015	.25	.25	90.0	-	1.5	2.0	-	-	-	-	-
ERNiCu 7	.15	4.0	2.5	.02	.015	1.25	Kalari	52.0-69.0	-	1.25	1.5-3.0	-	-	-	-	-
ERNiCr-3	.10	2.5-3.5	3.0	.03	.015	.50	.50	67.0	b	-	1.5	16.0-22.0	2.0-3.0d	-	-	-
ERNiCrFe-3	.08	1.0	8.0-10.0	.03	.015	.35	.50	70.0	b	-	-	14.0-17.0	1.5-3.0d	-	-	-
ERNiCrFe-8	.08	2.0-2.7	8.0	.03	.015	.35	.50	67.0	-	-	2.0-3.5	14.0-17.0	-	-	-	-
ERNiCrFe-7	.08	1.0	5.0-9.0	.03	.015	.50	.50	70.0	-	4.0-1.0	2.0-2.75	14.0-17.0	.70-1.2	-	-	-
ERNiCrFe-1	.08	1.0	22.0c	.03	.03	.50	1.50-3.0	38.0-45.0	-	2.0	1.2	15.5-23.5	-	2.5-3.5	-	-
ERNiMo-1	.05	1.0	4.0-7.0	.025	.03	1.0	.50	Kalari	2.5	-	-	1.0	-	25.0-30.0	1.0	2.0-4.0
ERNiMo-2	.08	1.0	5.0	.015	.02	1.0	.50	Kalari	2.0	-	-	6.0-8.0	-	15.0-18.0	.50	.50
ERNiMo-3	.04-0.09	1.0	4.0-7.0	.04	.03	1.0	.50	Kalari	2.5	-	-	4.0-6.0	-	23.0-26.0	-	.50
ERNiMo-7	.12	1.0	2.0	.04	.03	1.0	.50	Kalari	1.0	-	-	1.0	-	25.0-30.0	-	-
ERNiMn 1	.02	1.0-2.0	18.0-21.0	.04	.03	1.0	1.5-2.5	Kalari	2.5	-	-	21.0-23.5	1.75-2.50	5.5-7.5	1.0	-
ERNiMo 2	.05	1.0	17.0-20.0	.04	.03	1.0	.50	Kalari	5-2.5	-	-	20.5-23.0	-	6.0-10.0	2.0-1.0	-
ERNiMo-3	.05-0.15	.50	5.0	.02	.015	.50	.50	58.0	-	.40	.50	20.0-23.0	3.15-4.15	8.0-10.0	-	-
ERNiMo-4	.10	1.0	4.0-7.0	.04	.03	.50	.50	Kalari	2.5	-	-	14.5-16.5	-	15.0-17.0	3.0-4.5	.35
ERNiMo-5	.02	1.0	4.0-7.0	.04	.03	1.0	.50	Kalari	2.5	-	-	14.5-16.5	-	15.0-17.0	3.0-4.5	.35
ERNiMo-7	.015	1.0	3.0	.04	.03	.50	.50	Kalari	2.0	-	.70	14.0-18.0	-	14.0-17.0	-	-
ERNiMo-8	.03	1.0	Kalari	.03	.03	1.0	7-1.20	47.0-52.0	-	-	.70-1.5	23.0-26.0	-	5.0-7.0	-	-

Tablo 27 - AWS A5.14'e göre Nikel ve alaşımları için MIG kaynak telleri.

a Kobalt içeriği dahildir.

c Min

b Belirtilmediği haller için Kobalt maksimum 0.12 d Belirtilmediği haller için Tantal maksimum 0.30

SİMGE	Al	Be	Mn ^a	Zn	Zr	Nadir Metaller	Cu ^b	Fe ^b	Ni ^b	SP	Mg ^c
ERAZ31A	5.8-7.2	.0002-0.0008	.15	4.0-1.5	-	--	.05	.005	.005	.05	Kalari
ERAZ101A	9.5-10.5	.0002-0.0008	.13	7.5-1.25	-	--	.05	.005	.005	.05	Kalari
ERAZ32A	8.3-9.5	.0002-0.0008	.15	1.7-2.3	-	--	.05	.005	.005	.05	Kalari
EREZ33A	-	-	-	2.0-3.1	.45-1.0	2.5-4.0	-	-	-	-	Kalari

a Minimum %.

b Maksimum %.

c Diğer elementlerin toplamı maksimum %0.30.

Tablo 28 — AWS A5-19'a göre Magnezyum ve alaşımları için kaynak telleri.

Bakır ve alaşımlarının kaynağında kullanılan tel elektrodların bileşiminde mukavemeti arttırmak gayesi ile bir takım alaşım elementleri ilave edilmiştir, yalnız bakır halinde gözönünden uzak bulundurulmaması gereken en önemli husus, her alaşımın elektrik iletkenliğini olumsuz yönde etkilediğidir. Bu alaşımların kaynağında elektrod seçimine kullanılan koruyucu gazın bir etkisi yoktur.

Nikel ve alaşımlarının kaynağında, telin bileşiminin esas metal bileşimine uygun olmasına dikkat

edilir.

Magnezyum ve alaşımlarının kaynağında elektrodun esas metalden daha düşük bir erime sıcaklığına ve daha geniş bir katılaşma aralığına sahip olması arzu edilir.

MIG - MAG KAYNAĞINDA ARK TÜRLERİ VE ARKTA KAYNAK METALİ TAŞINIMI

MIG - MAG kaynağında gerekli ısı enerjisi, iş parçası ve eriyen tel elektrod arasında oluşturulan elektrik arki tarafından sağlanmaktadır. Elektrik arkındaki olaylar oldukça karışık ve arkin fiziksel açıklaması konumuz dışı olduğundan, olayı basitçe, iş parçası ve tel elektrod arasında kızgın gaz ve metal buharları tarafından elektriğin iletimi diye tanımlayabiliriz.

Katoddan (eksi kutup) elektrodlar büyük bir hızla anoda (artı kutup) doğru giderler ve bunların bu hızlı hareketlerinin enerjisi de ısıya dönüşür; hızla hareket eden elektronların çarptıkları bölge de aşırı ısınır, malzeme erir ve kısmen buharlaşır. Elektronlar bu hızlı hareketleri esnasında atomların dış kabuklarına çarparlar ve oradan da elektronların ayrılmasına neden olurlar; elektron kaybeden atom ise artık nötr değildir, ion haline gelmiştir ve pozitif yüklüdür ve yükünden ötürü de hızla katoda (eksi kutba) doğru gider ve oranın ısınmasına neden olur ve bu şekilde erime ve buharlaşma sürekli devam eder.

Elektron ve iyonların elektrik alanı içinde hareketleri bir ark sütunu oluşturur ve buna plazma adı verilir. Burada görülen iyonların çok azı kullanılan koruyucu gaza aittir, bunlar metal atomlarından oluşmuşlardır. Koruyucu gaz atomlarının bu iyonlaşma olayına iştirak etmemelerine rağmen, koruyucu gaz tür ve bileşimi dikişin biçimine ve ark içinde kaynak metali taşınımına etki eder.

Koruyucu gaz tür ve bileşimi büyük çapta akım ileten ark sütununun kesitini ve dolayısı ile de elektrodda erime sonucu damlacıkları oluşturan kuvvetin şiddet ve doğrultusunu etkiler.

Akımı ileten ark sütununun kesiti koruyucu gazın ısı iletme özeliğine bağlıdır; ısıyı iyi ileten koruyucu gaz halinde ark çekirdeği daralır, akım yoğunluğu artar ve sıcaklık yükselir.

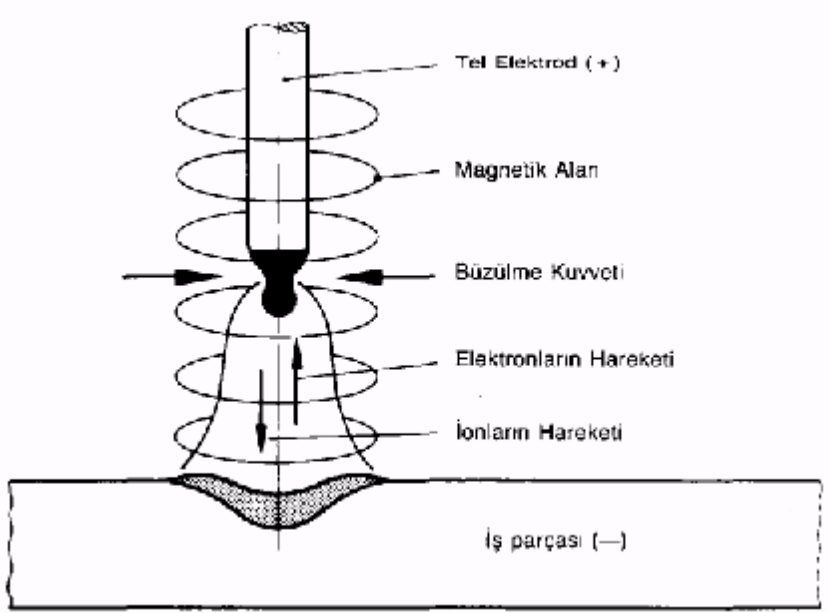
Karbondioksit ve Helium ısıyı iyi iletiklerinden, bu gazların kullanılması halinde akım ileten ark çekirdeği argon veya argonca zengin gazlar haline nazaran daha ince oluşur.

Ark çekirdeğinde bu incelme, arkin elektrik direncinin artmasına neden olur ki bu da ark gerilimini yükseltir. Örneğin; CO₂ halinde ark gerilimi, aynı erime gücünde, argon veya argonca zengin gazların kullanılması haline nazaran 3V daha yüksektir.

Karbondioksit koruyucu gaz olarak kullanıldığında, ark sıcaklığında moleküllerden bazıları (CO₂ — CO + ½ O₂) ayrışır ve genişleme yönünde bir kuvvet ortaya çıkar.

Arkta sıcaklığın düşük olduğu bölgelerde (ark zarfında) ayrışmış olan CO₂ moleküllerinin büyük bir kısmı tekrar birleşir ve bu esnada ayrışma esnasında absorbe ettiği ısıyı geri verir ve bu da kaynakta

erimeye yardımcı olur.



Şekil 29 — Elektrodun ucunda damla oluşumu (Şematik).

CO₂ içinde oluşan arkın çekirdeği çok ince olmasına rağmen yukarıda bahsedilen bu olay nedeni ile geniş ve nüfuziyeti oldukça iyi bir kaynak dikişi elde edilir.

Ayrışma sonucu ortaya çıkan oksijenin az bir kısmı çelikteki alaşım elementleri ile birleşerek yüzeyde çok ince bir cüruf oluşturur.

Arkda bir tür elektrik iletkeni olduğundan etrafında bir magnetik alan oluşur; akı yoğunluğu yükseldikçe radyal büzülme kuvvetini oluşturan magnetik alanın şiddeti artar ve bu olaya Pinch-Effekt adı verilir. Arkın bu kısımlarında bilhassa elektrod ucunda akım yoğunluğu fazla olduğundan büzülme kuvveti de en şiddetli bu kısımda oluşur ve damla oluşumunu kolaylaştırır.

Radyal büzülme kuvvetinin büyük olduğu kısımdan bu kuvvetin daha zayıf olduğu kısma doğru bir aksiyal kuvvet oluşur ve bu da oluşmuş damlanın elektrod ucunda ayrılmasına ve kaynak ağzına taşınmasına yardımcı olur.

KISA ARK

Kısa ark yöntemi ince elektrodlarla (0.6 ilâ 1.2 mm) kısa ark boyu yani düşük ark gerilimi ve düşük akım şiddeti ile kaynak yapıldığında karşılaşılan bir ark türüdür. Burada ark oluşunca elektrodun uç kısmı hemen erimeye başlar ve burada bir damlacık oluşur, damlacık banyoya doğru akarken elektrod ve iş parçası arasında kısa devre oluşur, gerilim düşer, akım şiddeti yükselir damla elektroddan kopar ve kısa devre ortadan kalkar ve aynı olay tekrarlanır. Uygulanan akım şiddeti, ark gerilimi koruyucu gaz türü ve elektrod metaline bağlı olarak bu işlem saniyede 20 ilâ 200 kere tekrarlanır.

Burada kaynak metali iş parçasına sadece kısa devre anında geçmekte ve ark tarafından taşınmamaktadır. Kısa ark boyu halinde düşük ark gerilimi, düşük akım şiddeti ile çalışılması ve metal transferinin kısa devre esnasında gerçekleşmesi sonucu iş parçasına uygulanan ısı girdisi çok düşüktür, bu bakımdan ince parçaların kaynağı ve çarpılma tehlikesinin büyük olduğu haller için çok uygun bir ark türüdür. Ayrıca bu tür ark ile yapılan kaynakta kaynak banyosunun çok büyük olmaması ve hemen katılaşması nedeni ile, dik ve tavan kaynakları ve geniş kök aralıklarının örülmesinde de uygun bir yöntemdir.

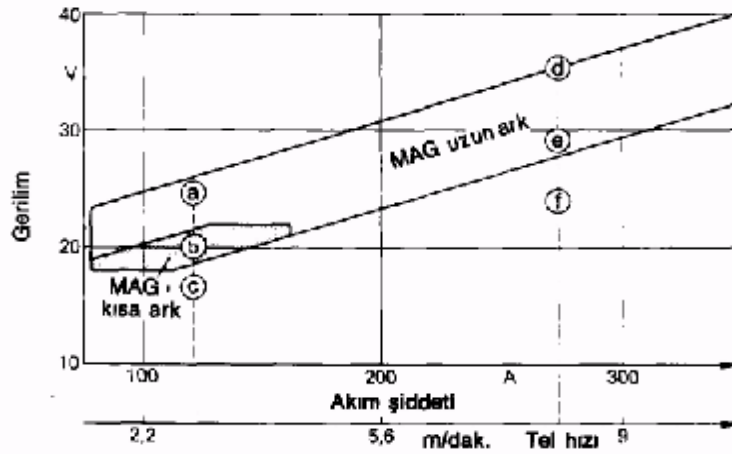
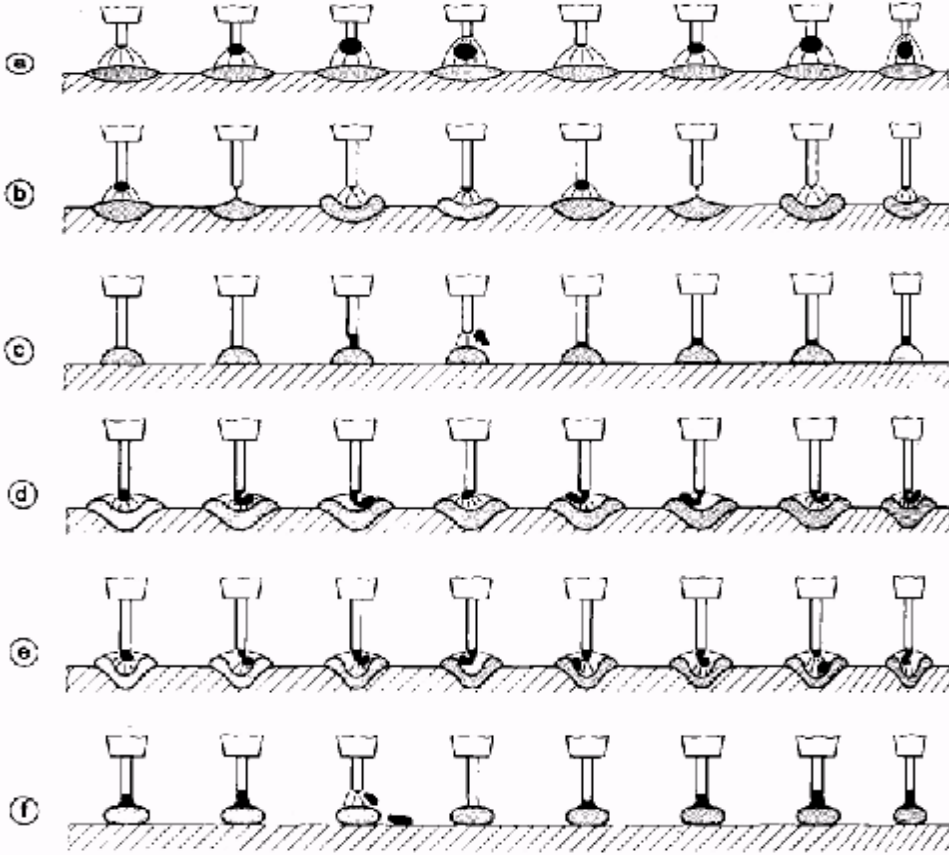
UZUN ARK (GLOBÜLER METAL TAŞINIMI)

Akım şiddeti ve ark gerilimi biraz daha yüksek tutulursa kısa devre ile kaynak metali taşınımı yerine globüler (damlasal) metal taşınımı hali oluşur. Bu halde ark tutuşur tutuşmaz elektrodun uç kısmında erime başlar ve bir damlacık oluşur, damlacık irileşir ve elektrod çapını aştıktan sonra elektroddan kopar ve yerçekimi yardımı ile ark sütunu boyunca ilerler ve banyoya düşer.

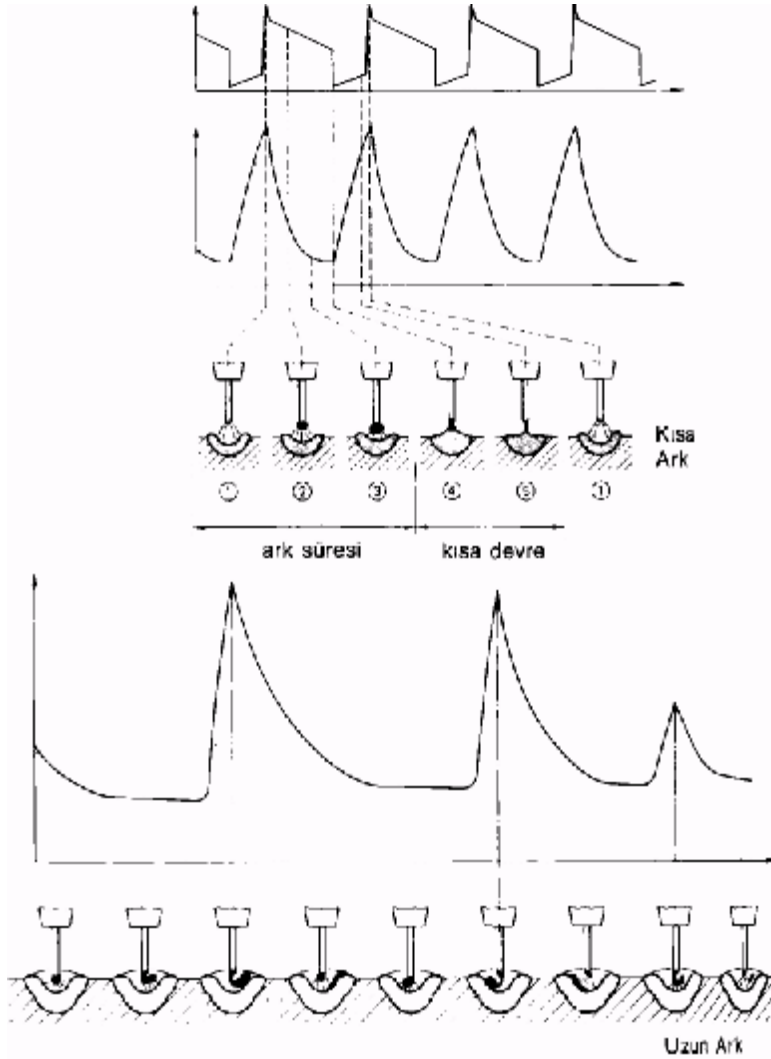
Ark geriliminin yüksek olması nedeni ile burada ark boyu uzundur ve dolayısı ile normal halde damla banyoya intikal ederken kısa devre oluşumu nadirdir.

Bu tür ark hemen hemen bütün kullanılan koruyucu gazlar ile ortaya çıkar, yalnız CO₂ haricindeki gazlarda bu ark ancak çalışma bölgesinin alt kısımlarındaki değerlerde görülür, buna karşın CO₂'nin koruyucu gaz olarak kullanılması halinde hemen hemen her çalışma bölgesinde damlasal metal taşınımı görülür. Damlaların iri olması ve metalin kaynak banyosuna yerçekimi ile taşınmasından ötürü bu yöntemde tavan kaynağı yapmak zorlaşır.

Damlasal metal taşınımı halinde ark stabil değildir ve sıçrama miktarı fazladır.



Şekil 31 — CO₂ atmosferi altında kısa ark ve uzun arkla çalışma bölgelerinde arka kaynak metali taşınımı (Şematik).



Kaynak telinin çapı (mm)	Normal MAG - Kaynağı			Kısa ark boyu ile yapılan kaynak		
	Akım şiddeti (Amper)	Ark gerilimi (Volt)	Erime gücü (kg/saat)	Akım şiddeti (amper)	Ark gerilimi (Volt)	Erime gücü (kg/saat)
0,6	—	—	—	40-80	13-16	0,5-0,9
0,8	140-180	22-25	2,0-2,8	70-120	14-19	0,8-1,6
1,0	180-240	24-26	2,4-3,8	90-130	17-20	1,2-1,9
1,2	220-300	25-29	2,8-4,5	120-150	18-23	1,8-2,2

Şekil 32 — Kısa Ark ve Uzun Ark ile yapılan MAG kaynağında akım şiddetinin damla geçişi ile değişimi.

SPREY ARK

Kaynak metalinin iş parçasına duşlama şeklinde geçişi, spreylenmiş ark halinde görülür. Kaynak metalinin iş parçasına bu şekilde taşınımı elektrod ucunun sivrileşmesi sonucu bu sivrilmiş uçların koparak iş parçasına çok küçük damlacıklar halinde geçişi ile gerçekleşir. Damlacıklar tel çapından çok küçüktür ve telden uzun ark

halinden çok daha süratle ayrılırlar. Damla sayısı saniyede birkaç yüze kadar çıkabilir.

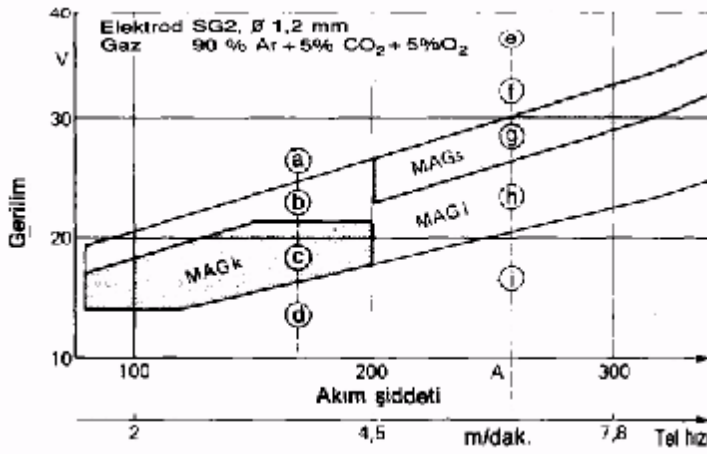
Sprey ark genel olarak argon veya argonca zengin koruyucu gaz ile yüksek akım şiddeti ve ark gerilimi kullanıldığından ortaya çıkar.

Sprey ark, yüksek akım şiddetlerinde oluştuğundan bilhassa kalın parçaların kaynağı için çok uygundur ve bu yöntemde sıçrama çok azdır. Yüksek erime gücü nedeni ile banyo diğer ark türlerine nazaran daha geniş oluşur. Bu bakımdan yatay ve oluk pozisyonlarda dolgu ve kapak pasolarının çekilmesi için çok uygundur; kök pasolar için ancak altlık kullanmak koşulu ile uygulanabilir. Bu ark türünde yüksek güçlerde çalışıldığından torçun çok iyi bir şekilde soğutulması gereklidir.

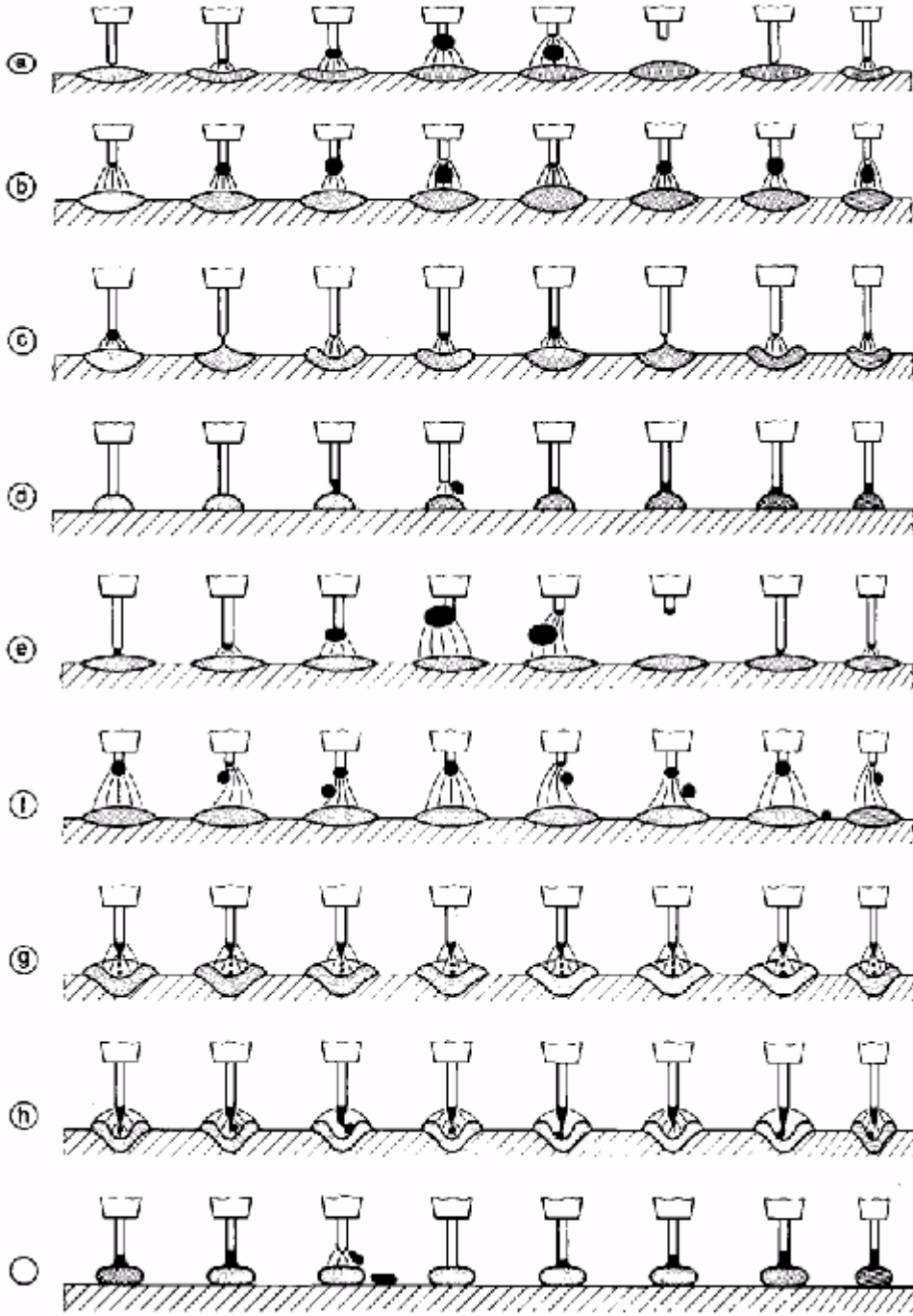
DARBELİ ARK

Bu yöntemin uygulanabilmesi için bu tür kaynak akımını üreten özel bir kaynak akım üreticine gerek vardır. Burada sözü edilen darbeli doğru akım ile alternatif akımı birbirlerinden iyi ayırt etmek gereklidir, darbeli doğru akımda akım şiddeti, saptanmış iki değer arasında seçilmiş olan frekansta değişmektedir. Bu yöntem ile arzulanan her çalışma bölgesinde kısa devre oluşturmadan iş parçasına az bir ısı girdisi uygulanarak çalışmak mümkün olabilmektedir ve ayrıca frekansı ayarlayarak istenen sayıda ve irilikte erimiş metal damlacıklarının iş parçasına geçişi sağlanabilmektedir.

Bu yöntemin tek dezavantajı kaynak akım üreticinin ve tel iletme tertibatının pahalı ve donanımın bakımının da külfetli olmasıdır.



Şekil 33 — Karışım gaz ile çeşitli ark türlerinde çalışma bölgeleri.

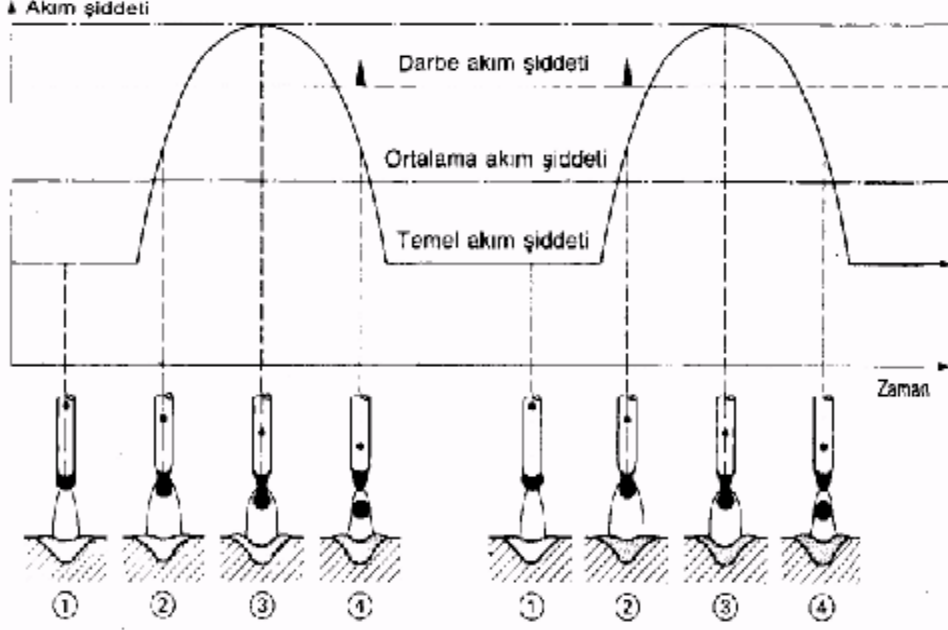


Şekil 34 — Şekil 33'deki çalışma bölgelerinde arkta metal taşınımı (Şematik).

Bu yöntemde akım şiddeti ayarı yapılırken temel akım şiddeti darbeler arasında arkın sönmeyeceği bir değerde seçilmelidir. Gerekli temel akım şiddetinin değeri, büyük çapta darbe frekansının etkisi altındadır, frekans yükseldikçe akım şiddeti azaltılabilir.

Akım şiddetinin yükselmesi parçaya olan ısı girdisinin artmasına neden olur ve daha çok yükselmesi

halinde ise darbeler arasındaki sürede de erime olabileceğinden damla oluşum düzeni yok olur. Bu bakımdan kalın ve ısıyı iyi ileten metaller mümkün olduğu kadar kalın elektrod kullanarak kaynatılmalıdır.



Şekil 35.- Darbeli akım yönteminde damlaların oluşumu ve banyoya geçişi (Şematik).

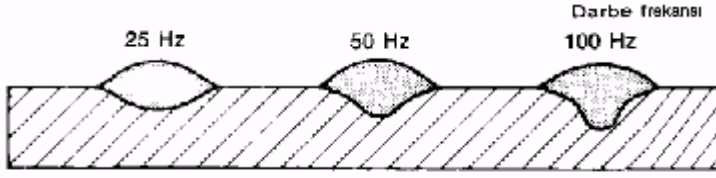
Darbe akımı, elektrod ucunda temel akım tarafından oluşturulmuş damlaya, kuvvetli bir büzülme kuvveti (Pinch efekt) uygular ve damla kısa devre oluşturmadan ark tarafından kaynak banyosuna taşınır. Bu şekilde kısa devresiz damla taşıma ancak darbe akımı belirli bir değere eriştiği zaman mümkündür ve bu değer elektrod malzemesi ile koruyucu gazın türüne ve tel çapına bağlı olarak değişir.

Çok yüksek şiddetli darbe akımı, damlanın çok fazla ivmelenmesine neden olur ve bu da sıçramayı artırır, banyoya hızla çarpan damla yarıcı bir etki yapar, dikiş kenarlarında kertikler oluşturur.

Bu ark türünün çeliklere uygulanmasında koruyucu gaz olarak CO₂ kullanılamaz, zira darbe fazında ark kuvvetleri damla oluşumuna ters yönde etki yapmaktadır.

Darbe genişliğinin azalması, sinüzoidal değişim gösteren darbe de, ortalama akım değerinin azalmasına neden olur; yalnız darbe genişliği daraltılırken damlaların gereken şekilde ivmelenip elektrod ucundan ayrılması için gerekli zaman göz önünde tutulmalıdır.

Darbe frekansının yükselmesi, damla sayısını, etkin akım şiddetini, parçaya olan ısı girdisini artırır ve bu da dikiş biçimini etkiler. Darbe frekansı akım üreteçlerinde genellikle 25, 33, 50 ve 100 olacak şekilde kademelendirilmiştir; 25 ve 33 gibi düşük frekans değerlerinde oluşan ark, gözler için zararlı olduğundan, bu kademeler, el ile yapılan kaynakta kullanılmazlar.



Şekil 36 — Darbe frekansının dikiş profiline etkisi (Şematik).

ARK TÜRLERİNİN UYGULAMADA SEÇİMİ

	SPREY ARK	UZUN ARK	KISA ARK	DARBELİ ARK
MIG	Alüminyum Bakır	Alüminyum -	Alüminyum S ≤ 1,5 mm.	Alüminyum Bakır
MAGM	Alaşımsız, az ala- şımli ve yüksek alaşımlı çelikler	Alaşımsız ve az alaşımlı çelikler	Alaşımsız, az ala- şımli ve yüksek alaşımlı çelikler	Az alaşımlı ve yüksek alaşımlı çelikler
MAG		Alaşımsız ve az alaşımlı çelikler	Alaşımsız ve ala- şımli çelikler	
	Yatay ve oluk po- zisyonda kalın ve orta kalın parçala- rın iç köşe ve alın birleştirmelerinin dolgu ve kapak pa- solarında. Oluk pozisyonda kök ve dolgu pa- solarında.	Yatay, oluk ve yu- kardan aşağıya dik pozisyonlarda kalın ve orta kalın parçaların alın birleştirmelerinin dolgu ve kapak pa- solarında.	Her pozisyonda ince parçaların iç köşe ve alın bir- leştirmelerinde. Her pozisyonda kalın parçaların alın birleştirmele- rinin kök pasola- rında. Tavan, içköşe ta- van, yukarıdan a- şağı ve aşağıdan yukarı dik, korniş pozisyonlarında içköşe ve alın bir- leştirmelerinin dolgu ve kapak pasolarında.	Her pozisyonda orta ve kalın parçaların iç köşe ve alın birleştirmelerinin dolgu ve kapak pasola- rında. Kök pasosu için özel haller- de. Az ısı girdisinin uygulan- masının gerekli olduğu hallerde.

Tablo 29 — MIG-MAG kaynağında kullanılan ark türleri ve uygulama alanları

MIG-MAG kaynak yöntemi geniş ayar olanakları, çeşitli yardımcı malzeme ve donanımlar sayesinde günümüz endüstrisinde ince saçlardan oldukça kalın kesitli parçalara kadar uygulama alan bulmuştur.

İnce parçaların kaynağında birçok hallerde sadece çok küçük ark güçlerinde çalışma gerekirken, kalın parçalarda gerek ekonomiklik ve gerekse de yeterli bir nüfuziyetin sağlanması, uygun pozisyonlarda çalışmanın gerçekleştirilmesi gibi nedenlerden ötürü yüksek güçlü arklar tercih edilmektedir. Yalnız şurası da unutulmamalıdır ki her kaynak makinesinde her koruyucu gazla bütün ark türlerinin eldesi mümkün değildir.

Örneğin spray ark hali uygun elektrod ve gaz kombinasyonu ile iyi soğutulmuş torç kullanarak orta akım şiddetlerinde elde edilebilmektedir. Darbeli ark ise ancak bu iş için dizayn edilmiş akım üreteçlerine sahip olduğu zaman uygulanabilmektedir.

MIG - MAG kaynağında kullanılan ark türlerinin uygulama alanları Tablo 29'da topluca özetlenmiştir.

KAYNAK PARAMETRELERİNİN SEÇİMİ

Kaynak parametreleri kaynak işlemini ve elde edilen kaynak bağlantısının kalitesini belirleyen en önemli unsurlardır. Kaynak parametreleri, kaynaklanan metal veya alaşım ile kaynak metalinin türü ve kaynak ağız geometrisi gözönünde bulundurularak saptanır. Bu parametrelerin seçimi kaynakçının çalışma koşullarını kolaylaştırdığı gibi gereken özellikte kaynaklı bağlantı elde edebilme olasılığını da artırır.

Kaynak parametreleri, kaynak öncesi saptanan ve kaynak süresince değiştirilmesi mümkün olmayan parametreler, birinci derecede ayarlanabilir ve ikinci derecede ayarlanabilir parametreler olmak üzere üç ayrı grupta incelenebilir.

Birinci gruba giren parametreler kaynağın uygulanmasından önce saptanan, kaynak koruyucu gaz türü, elektrod tür ve çapı gibi etmenlerdir ve bunların kaynak işlemi esnasında değiştirilmesine olanak yoktur. Bu parametreler, kaynaklanan malzemenin türü, kalınlığı, kaynak pozisyonu, erime gücü ve bağlantıdan beklenen mekanik özellikler gözönüne alınarak saptanır.

Birinci derecede ayarlanabilir diye adlandırılan, ikinci gruba giren parametreler, ilk gruba giren parametreler seçildikten sonra, kaynak dikişini kontrol altında tutan, dikişin biçimini, boyutlarını, ark stabilitesini ve kaynaklı bağlantının emniyetini etkileyen değişkenlerdir. MIG-MAG kaynağında bu parametreler akım şiddeti, ark gerilimi ve kaynak hızıdır.

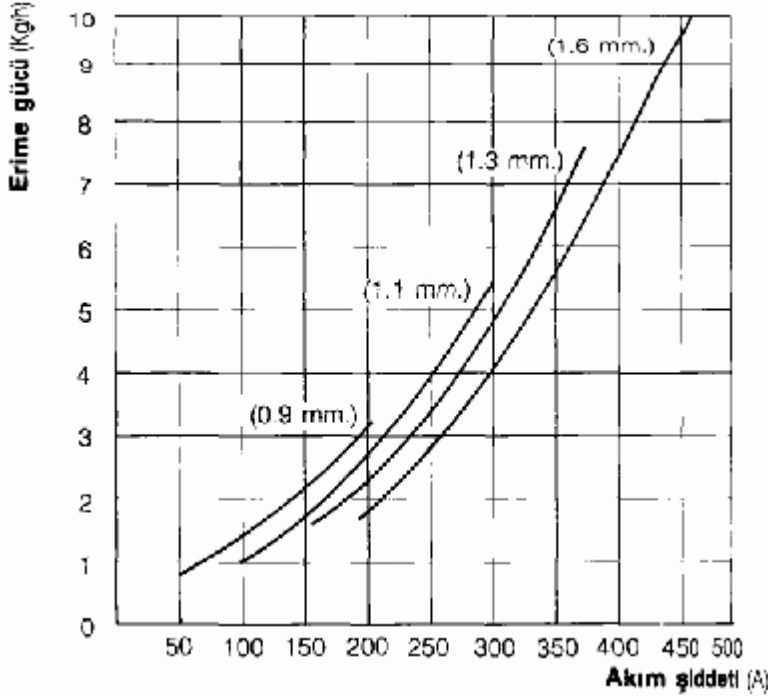
Bu parametreler kolaylıkla ölçülebildiği gibi, kaynak esnasında da gereken hallerde yeniden ayarlanabilen ve tüm dikişi en sıkı ve etkin bir biçimde kontrol altında tutan etmenlerdir.

Üçüncü gruba, kaynak işlemi süresince sürekli olarak değişen ve kaynak dikişinin biçimini oldukça şiddetli bir şekilde etkileyen parametreler girer. Bu parametrelerin önceden seçilip değerlendirilmeleri oldukça zordur ve bazı hallerde etkileri de açık bir şekilde görülmez. Bunlar genelde ikinci gruba giren parametreleri etkileyen ve dolaylı olarak da kaynak dikişinin biçimini belirleyen parametrelerdir. MIG-MAG kaynağında bunlar torç açısı ve elektrod serbest uç uzunluğu olarak sıralanabilir.

KAYNAK ÖNCESİ SAPTANAN PARAMETRELER

Elektrod çapı

Her tür elektrod bileşimi için çapa bağlı olarak bir akım şiddeti aralığı vardır. Büyük çaplı elektrodlar daha yüksek akım şiddeti ile kullanılabilirlerken daha yüksek bir erime gücüne sahiptirler ve daha derin nüfuziyetli dikişler oluştururlar. Erime gücü akım yoğunluğunun bir fonksiyonudur, eş çaplı iki elektrod farklı akım şiddetlerinde kullanıldıklarında, yüksek akım şiddeti ile yüklenende, akım yoğunluğu büyük olduğundan, daha yüksek bir erime gücü elde edilir. Akım şiddeti, tel çapı ve erime gücü arasındaki ilişkiler Şekil 37'de görülmektedir. Dikişin nüfuziyeti de, akım yoğunluğuna bağlıdır, aynı akım şiddetinde, küçük çaplı elektrodla daha derin nüfuziyetli dikişler elde edilir. Büyük çaplı elektrod halinde ise kaynak dikişi daha büyük olur.



Şekil 37 — Yığılan, kaynak metali, akım şiddeti ve elektrod çapı arasındaki ilişki (Yumuşak çelik elektrod, CO₂ ile kaynatıldığında)

Kullanılacak olan kaynak elektrodunun çapının seçiminde kaynatılan parçanın kalınlığı, nüfuziyet derecesi, erime gücü, arzu edilen kaynak dikişi profili, kaynak pozisyonu ve elektrodların fiyatı göz önünde bulundurulur. Küçük çaplı elektrodlar ağırlık ölçüsünde daha pahalıdır, fakat her uygulama için kaynak maliyetini asgariye indiren bir elektrod çapı bulmak mümkündür.

KORUYUCU GAZ TÜRÜ

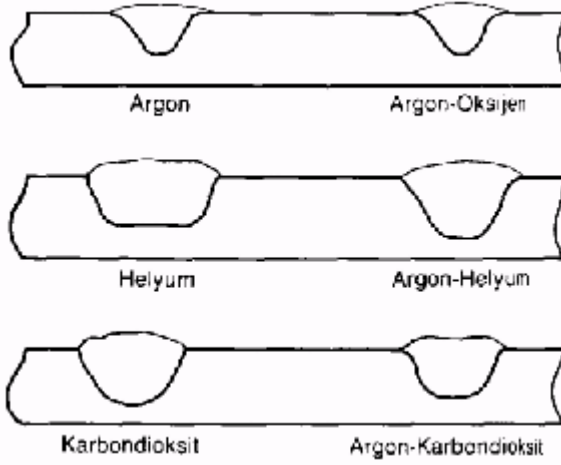
Gazaltı kaynağında çeşitli türlerde gazlar kullanılır ve her gazın oluşturduğu erime gücü, dikiş biçimi ve nüfuziyet birbirlerinden farklıdır. Koruyucu gaz türünün aynı zamanda kaynak esnasında sıçrama miktarına, kaynak hızına, kaynak metalinin arttaki transfer şekline ve elde edilen bağlantının mekanik özelliklerine etkisi vardır.

Demir esaslı metallerin kaynağında saf karbondioksit ile argon-karbondioksit ve argon-oksijen karışımları kullanılır. Karbondioksitin koruyucu gaz olarak kullanılması halinde aynı akım şiddeti için en büyük erime gücü, en derin nüfuziyet, en geniş ve en konveks kaynak dikişi elde edilir. Karbondioksit en ucuz koruyucu gaz olmasına karşın en fazla sıçrama kaybı ve en fazla duman oluşturan gazdır. Karbondioksitin koruyucu gaz olarak kullanılması halinde oluşan yüksek ısı girdisi dolayısı ile aynı akım şiddeti için daha yüksek hızlarda kaynak yapmak mümkün olabilmektedir.

Argon ve argon-oksijen karışımı gazlar, kaynak esnasında karbondioksitin tam bir karşıtı özellik gösterirler; bu gazlar ile en düşük erime gücü, en az nüfuziyet, en dar ve en az yüksek kaynak dikişi elde

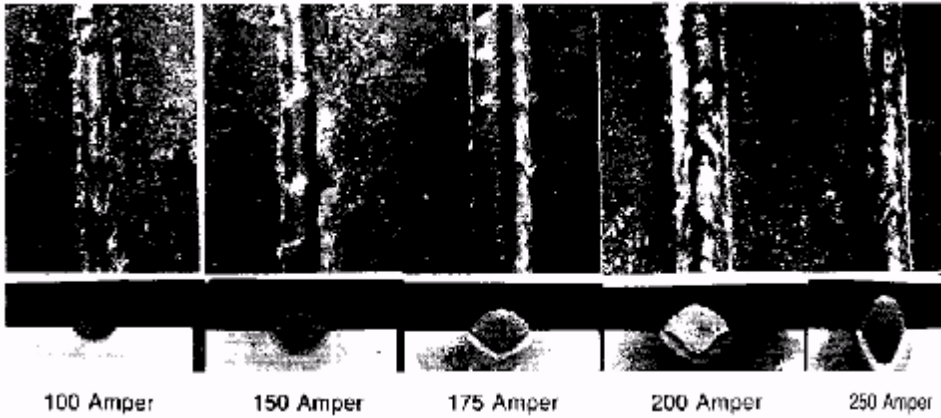
edilir. Argon-oksijen karışımı gazlar aynı zamanda en az duman ve en az sıçrama oluşturan bir kaynak işlemi sağlarlar. Argon-karbondioksit karışımı gazlar ise karbondioksit ve argon-oksijen karışımı arasında bir özellik gösterirler.

Demir dışı metallerin kaynağında kullanılan koruyucu gazlar, argon, helium ve argon-helium karışımlarıdır. Bu durumda da argon en az nüfuziyeti ve en düşük erime gücünü, en dar dikişi veren gazdır. Helium ve argon-helium karışımlarına nazaran daha ucuz olan argon aynı zamanda en az sıçrama oluşturan gazdır. Helium en derin nüfuziyeti, daha yüksek bir erime gücü, geniş ve konveks bir kaynak dikişi oluşumunu sağlar. Heliumun kullanılması halinde aynı ark boyu için ark gerilimi daha yüksektir ve kaynak esnasında koruyucu gaz sarfiyatı argona nazaran daha fazladır.



Şekil 38.- Çeşitli koruyucu gaz türlerinde elde edilen kaynak dikişi profilinin şematik olarak gösterilişi.

Argon-helium karışımları karışım oranına bağlı olarak bu ikisinin arasında bir karakteristik gösterir. Şekil 38'de çeşitli koruyucu gaz türlerinde elde edilen kaynak dikişi profili şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 39.- Akım şiddetinin, kaynak dikişinin biçim ve boyutlarına etkisi.

U = 21 V, Kaynak hızı 390 mm/dak. Tel çapı 0,9 mm., serbest tel ucu 9,5 mm., MAG

kaynak yöntemi.

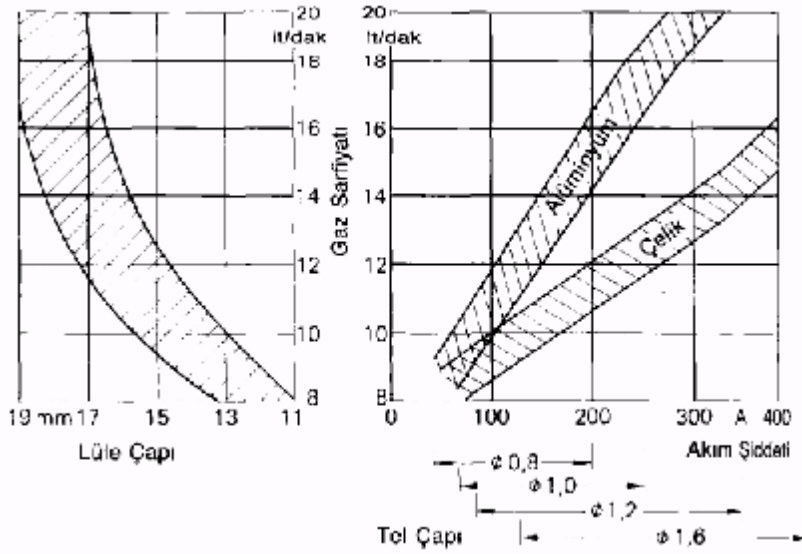
BİRİNCİ DERECEDE AYARLANABİLİR PARAMETRELER

Kaynak akım şiddeti

Kaynakta kullanılan akım şiddetinin erime gücüne, kaynak dikiş biçim ve boyutlarına ve nüfuziyete etkisi diğer bütün parametrelerden daha şiddetlidir. Sabit gerilim sistemli olan MIG-MAG kaynak makinalarında, kaynak akım şiddeti tel hızı ile beraberce, tel hız ayarı düğmesinden ayarlanır, tel ilerletme hızı arttıkça, kaynak akım şiddeti de artar.

Kaynak akım şiddeti yükseldikçe erime gücü de artar, bu olay açık bir biçimde Şekil 37'deki diyagramda görülmektedir. Diyagramdaki eğrilerin alt kısmının eğimleri azdır, yukarı doğru ise dikleşmektedirler, bu artan akım şiddeti ile erime gücü arasındaki bağıntının doğrusal olmadığı, yüksek akım yoğunluklarında erime gücünün daha şiddetli arttığını ortaya koymaktadır. Bu husus serbest tel ucunda, telin yüksek akım şiddetlerinde ortaya çıkan şiddetli bir elektrik direnç ısıtmasına bağlanmaktadır. Bütün diğer kaynak parametreleri sabit tutulduğu zaman artan akım şiddeti ile kaynak dikişinin eninin yüksekliğinin, nüfuziyetinin ve boyutlarının artan akım şiddeti ile arttığı görülür (Şekil 39).

Aşırı yüksek akım şiddeti çok geniş bir kaynak banyosu ve derin nüfuziyete neden olduğundan delinmelerin ortaya çıkmasına neden olabilir; çok düşük akım şiddeti de çok kötü bir nüfuziyete ve elektrod metalinin parçanın üzerine yığılmasına neden olur.



Şekil 40.- MIG-MAG kaynağında gaz sarfiyatı tel çapı, lüle çapı ve akım şiddeti arasındaki bağıntı.

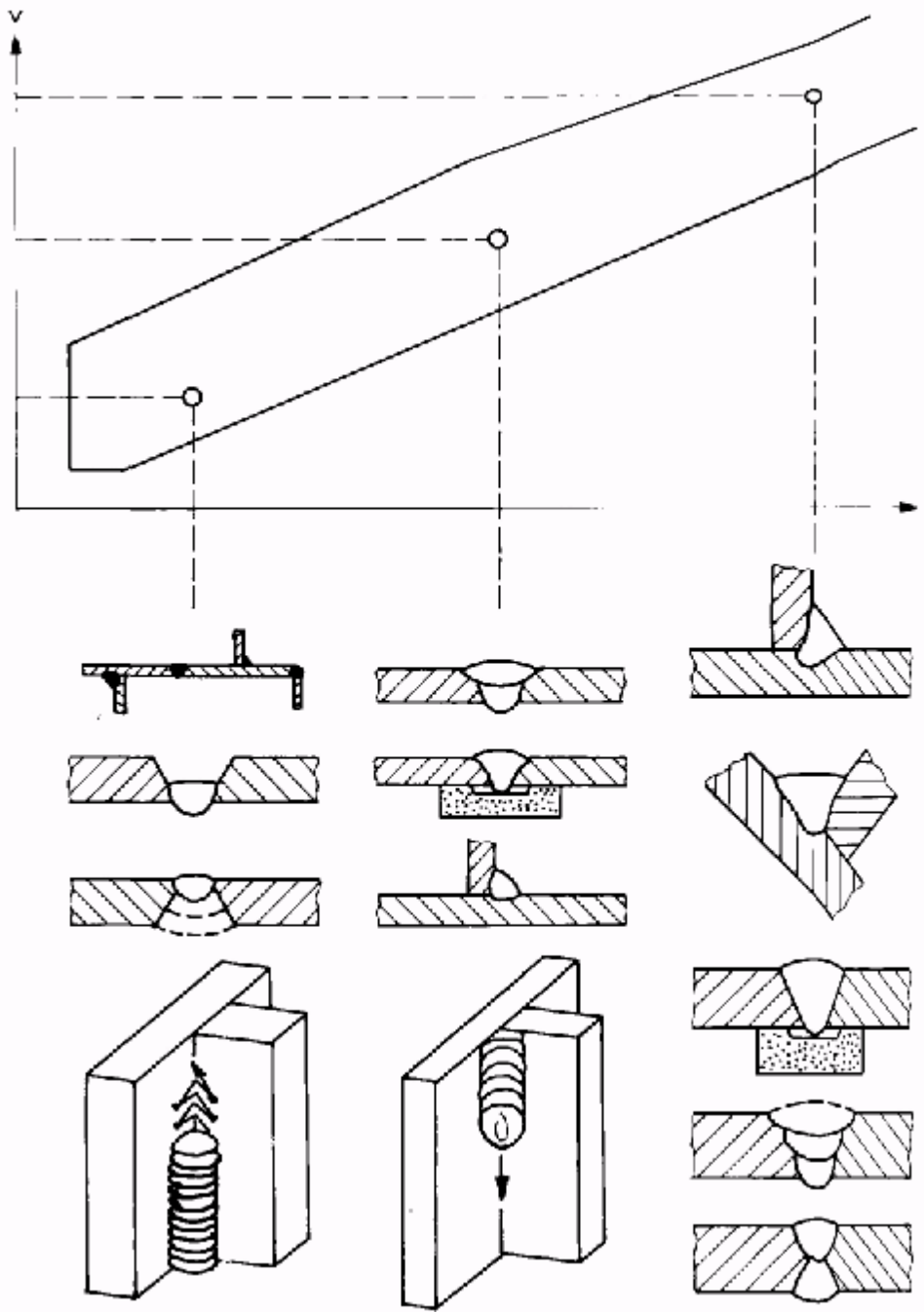
Kaynak gerilimi (Ark boyu)

Sabit gerilim karakteristikli bir kaynak akım üreticinde ark gerilimi veya kaynak gerilimi, elektrod ucu ile iş parçası arasındaki uzaklık tarafından belirlenir.

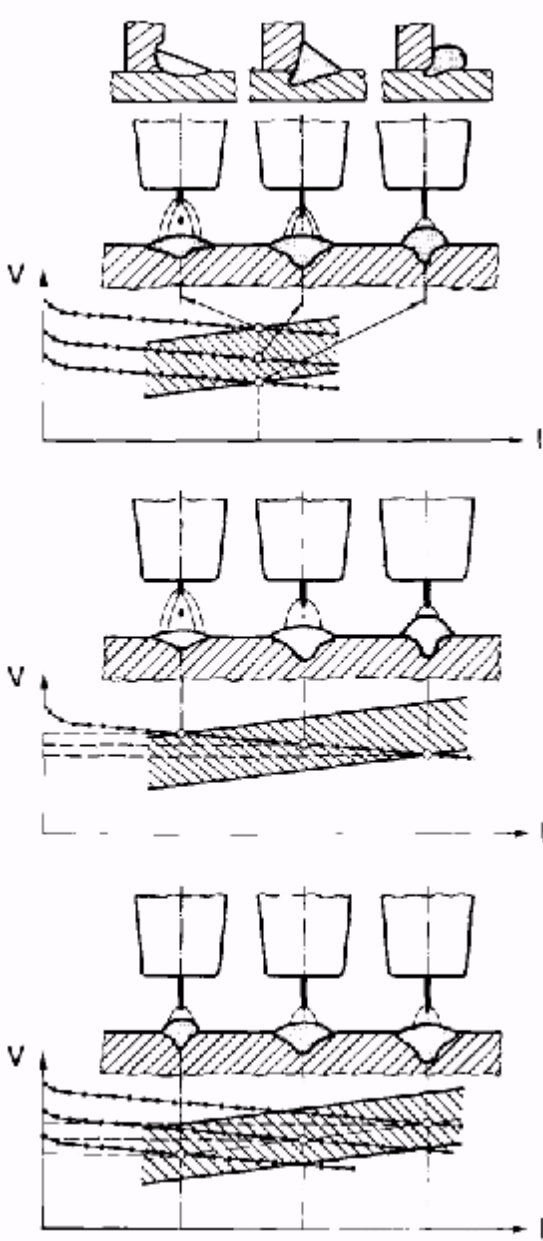
Sabit gerilim karakteristikli kaynak akım üreteçlerinde ark gerilimi, akım üreticinin ince ve kaba ayar düğmelerinden kademeli olarak veya bazı tiplerde ise potansiyometre ile kademesiz olarak ayarlanır. Zira bu tür akım üreteçlerinde, her ark gerilimi değeri için makina tarafından sabit olarak tutulan bir ark boyu vardır; sabit akım karakteristikli makinalarda (örtülü elektrod ile ark kaynağı, TIG) ise ark boyunu kaynakçı ayarlamak zorundadır.

Bir uygulama için ark gerilimi, kullanılan koruyucu gaz, elektrod çapı, kaynak pozisyonu, ağız şekli ve esas metalin kalınlığı göz önünde bulundurularak saptanır. Her koşulda aynı kaynak dikişini veren bir sabit ark boyu mevcut değildir. Örneğin, ark boyu, aynı gerilim için helium ve karbondioksit kullanılması halinde, argonun koruyucu gaz olarak kullanılması haline nazaran çok daha uzundur. Bütün diğer parametreler sabit tutulmak koşulu ile ark geriliminin artması, halinde kaynak dikişi yaygın ve geniş bir biçim alır.

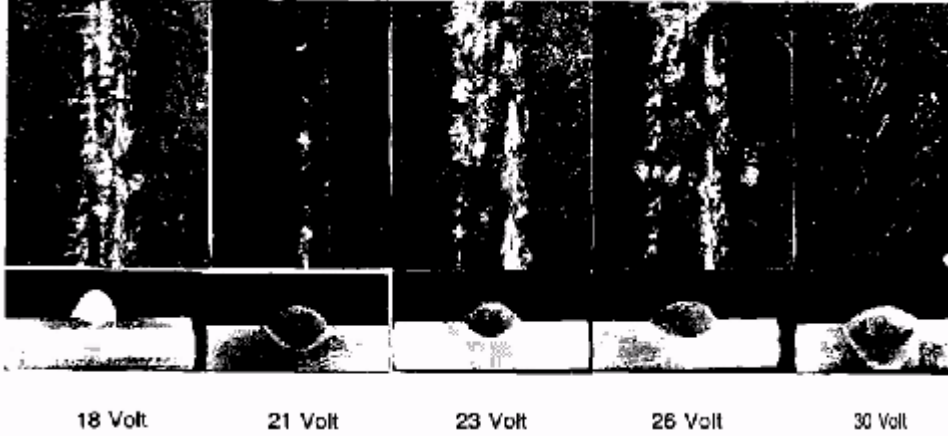
Nüfuziyet ise artan ark gerilimi ile bir optimum değere kadar artar ve bu değerden sonra azalmaya başlar. Yüksek ark gerilimi, nüfuziyetin azlığı dolayısı ile bazı geniş aralıklarda kök pasoda köprü kurabilmek için kullanılır. Çok küçük ark gerilimi çok dar ve aşırı şişkin (konveks) kaynak dikişlerinin oluşmasına, aşırı derecede küçük ark gerilimi ise poroziteye neden olur.



Şekil 41 — Kaynak pozisyonuna göre akım şiddeti ve ark geriliminin seçimi
 Şekil 42 ve 43'de ark geriliminin dikişin formu üzerine etkisi görülmektedir.



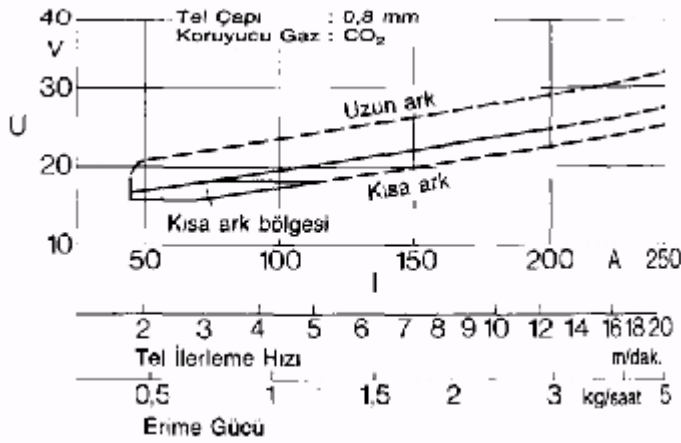
Şekil 42 — Ark gerilimi ve akım şiddetinin kaynak dikişinin biçimine etkileri (Şematik).



Şekil 43.- Ark geriliminin kaynak dikişinin biçim ve boyutlarına etkisi.

Kaynak akımı 175 Amper, Kaynak hızı 390 mm/dak. Kaynak tel çapı, 0,9/mm., Serbest tel uzunluğu 9,5 mm. MAG kaynak yöntemi.

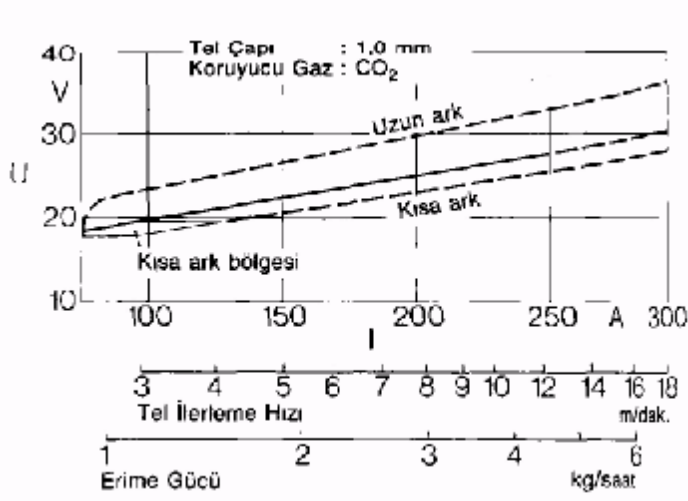
Uygun seçilmiş bir çalışma noktası, arkin sakin ve kararlı bir şekilde yanışı ile kendini belli eder. Bir MIG-MAG kaynak akım üreticinde sabit gerilim karakteristik ayar imkânı ne kadar fazla olursa optimal çalışma noktasının saptanması da o derece de kolay olur. Genel olarak Standard akım üreteçlerinde 3 kaba ayar ve 5 adet ince ayar vardır, bu da toplam 15 kademedeki gerilim ayar olanağı sağlar.



Şekil 44- Çeşitli ark türleri için çalışma bölgeleri

Tel çapı: 0,8 mm.

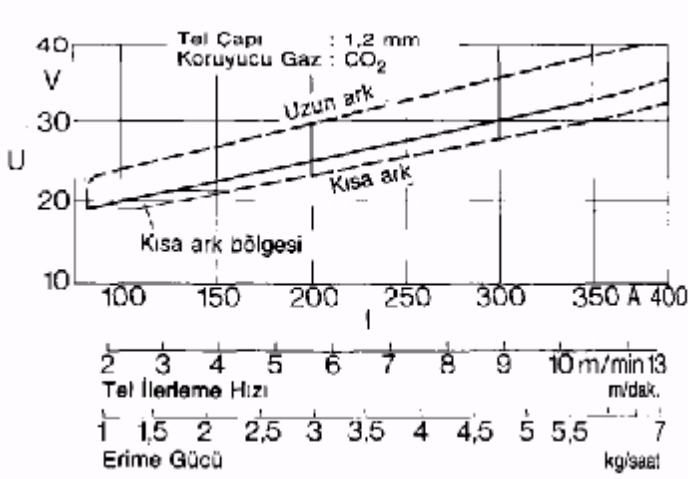
Koruyucu Gaz: CO₂



Şekil 45- Çeşitli ark türleri için çalışma bölgeleri

Tel çapı: 1,0 mm.

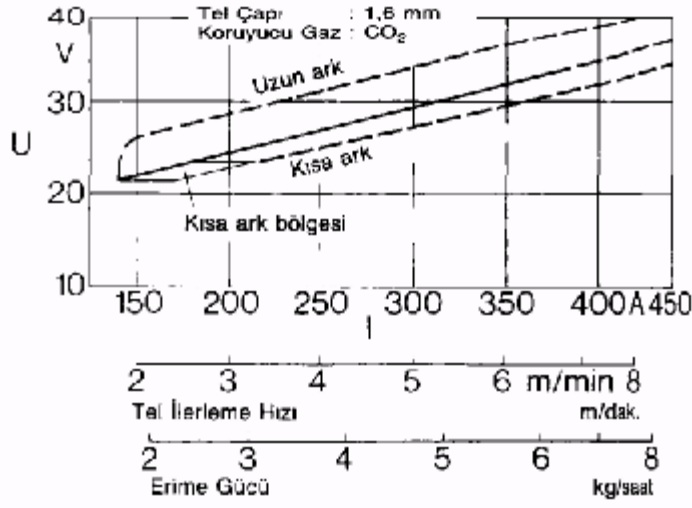
Koruyucu gaz: CO₂



Şekil 46- Çeşitli ark türleri için çalışma bölgeleri

Tel çapı: 1,2 mm.

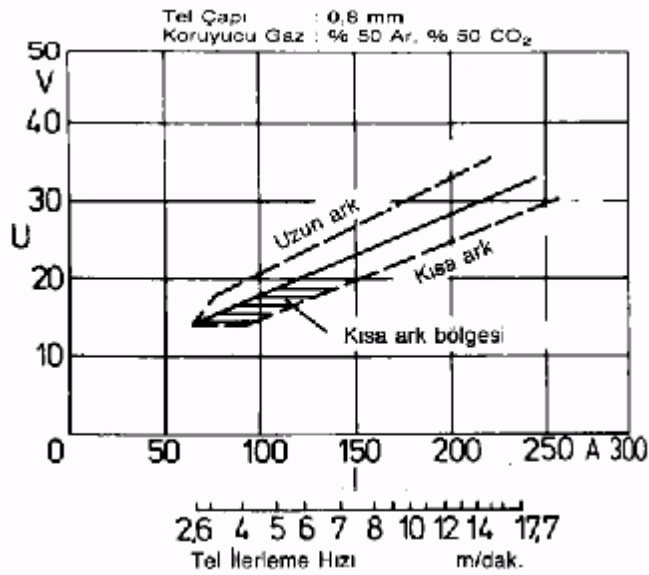
Koruyucu gaz: CO₂



Şekil 47- Çeşitli ark türleri için çalışma bölgeleri

Tel çapı: 1,6 mm.

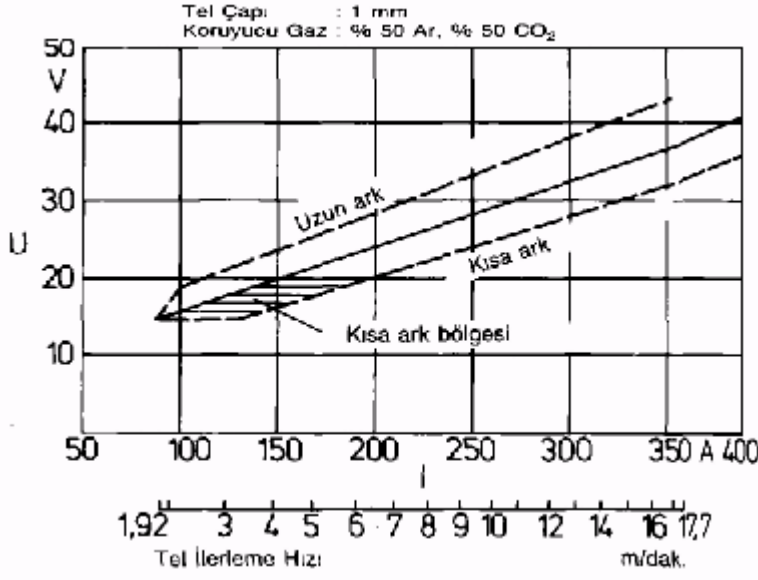
Koruyucu gaz: CO₂



Şekil 48- Çeşitli ark türleri için çalışma bölgeleri

Tel çapı: 0,8 mm.

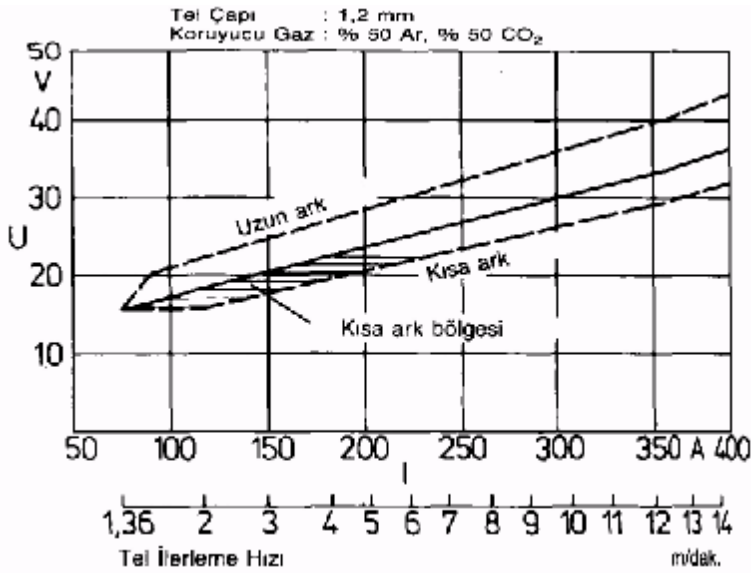
Koruyucu gaz: Karışım gaz (%50 Ar, %50 CO₂)



Şekil 49- Çeşitli ark türleri için çalışma bölgeleri

Tel çapı: 1 mm.

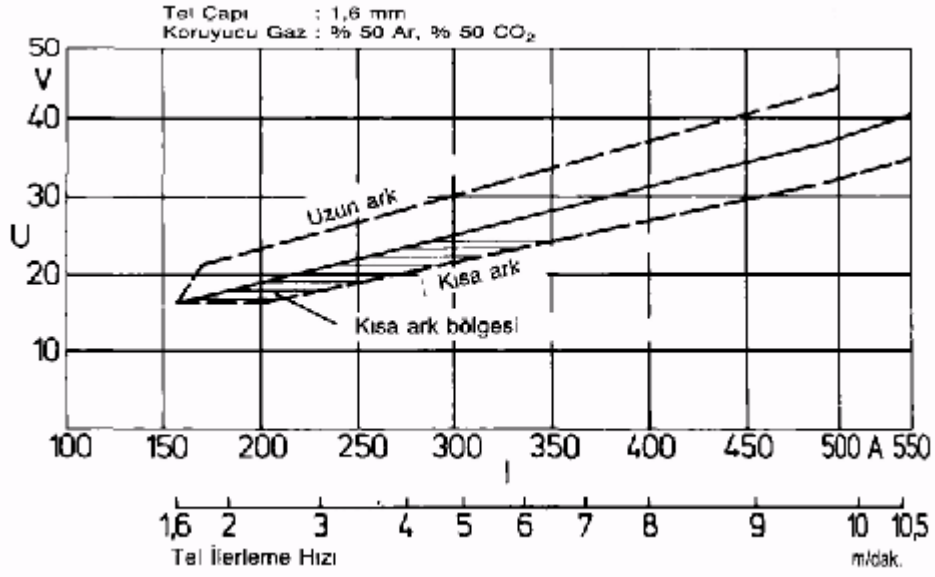
Koruyucu gaz: Karışım gaz (%50 Ar, %50 CO₂)



Şekil 50- Çeşitli ark türleri için çalışma bölgeleri

Tel çapı: 1,2 mm.

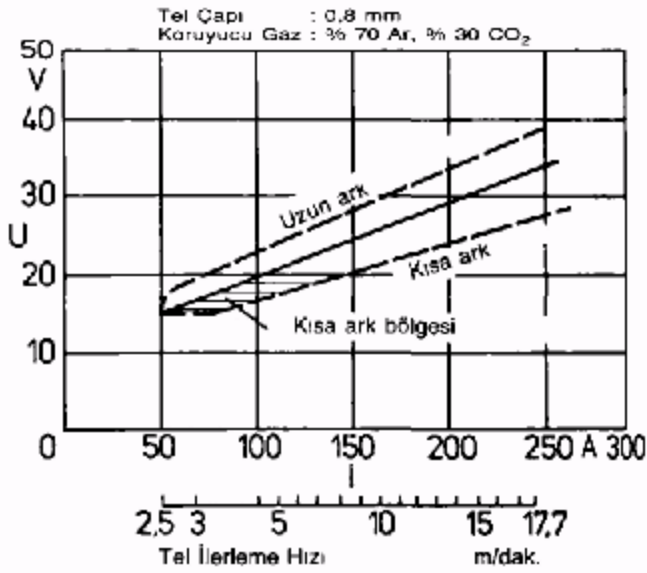
Koruyucu gaz: Karışım gaz (%50 Ar, %50 CO₂)



Şekil 51- Çeşitli ark türleri için çalışma bölgeleri

Tel çapı: 1,6 mm.

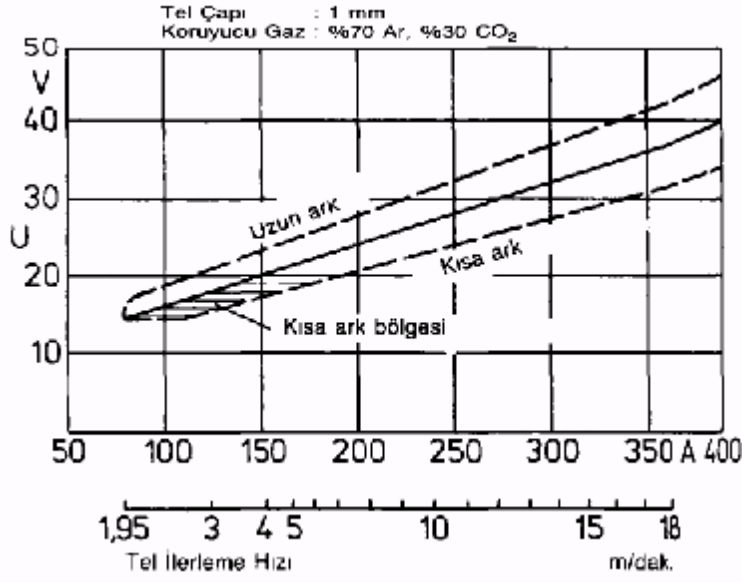
Koruyucu gaz: Karışım gaz (%50 Ar, %50 CO₂)



Şekil 52- Çeşitli ark türleri için çalışma bölgeleri

Tel çapı: 0,8 mm.

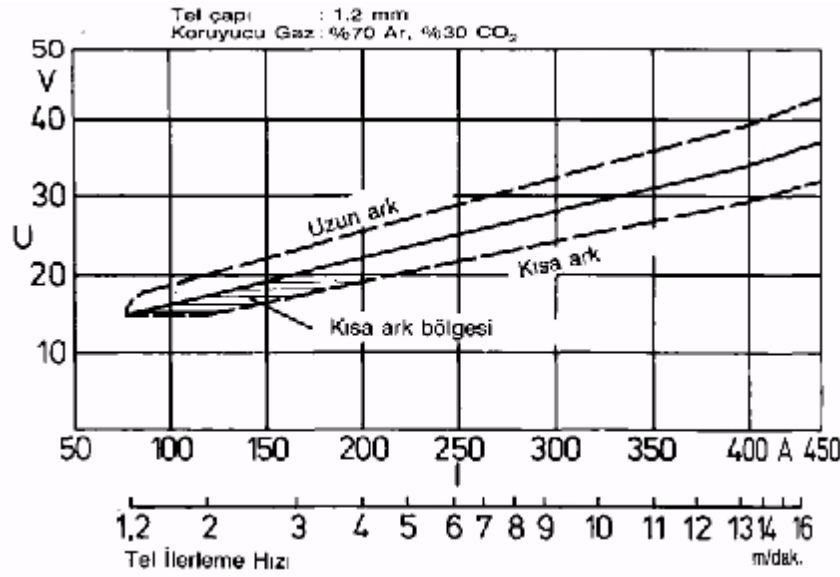
Koruyucu gaz: Karışım gaz (%70 Ar, %30 CO₂)



Şekil 53- Çeşitli ark türleri için çalışma bölgeleri

Tel çapı: 1 mm.

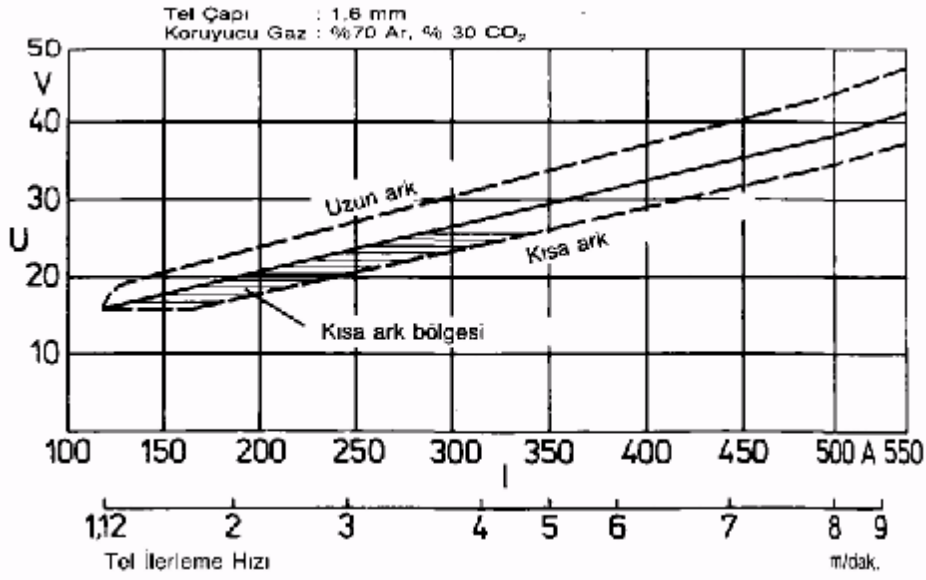
Koruyucu gaz: Karışım gaz (%70 Ar, %30 CO₂)



Şekil 54- Çeşitli ark türleri için çalışma bölgeleri

Tel çapı: 1,2 mm.

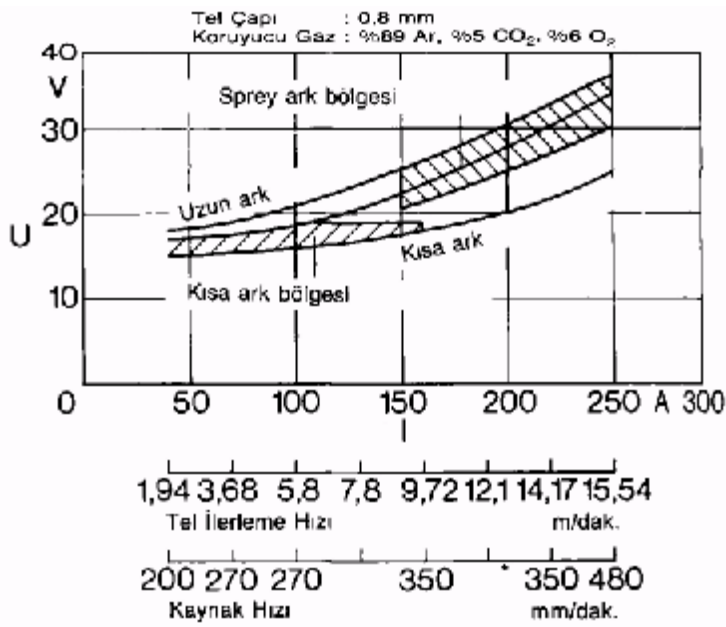
Koruyucu gaz: Karışım gaz (%70 Ar, %30 CO₂)



Şekil 55- Çeşitli ark türleri için çalışma bölgeleri

Tel çapı: 1,6 mm.

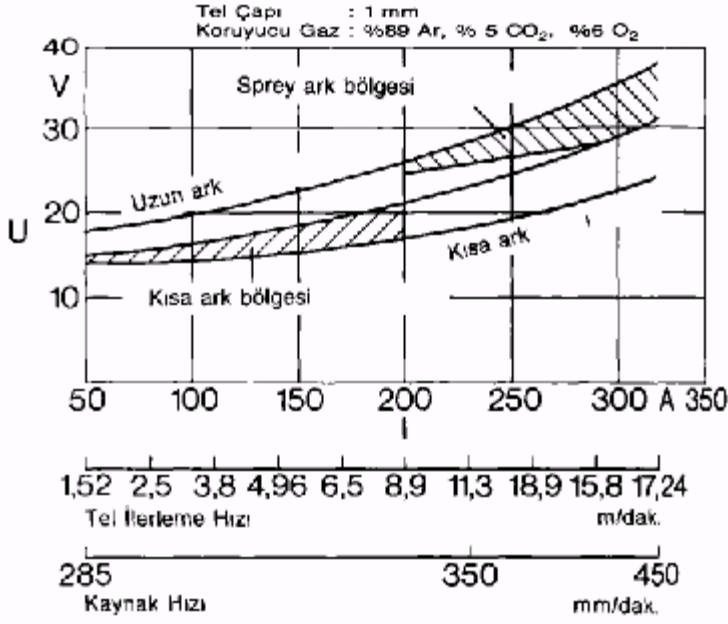
Koruyucu gaz: Karışım gaz (%70 Ar, %30 CO₂)



Şekil 56- Çeşitli ark türleri için çalışma bölgeleri

Tel çapı: 0,8 mm.

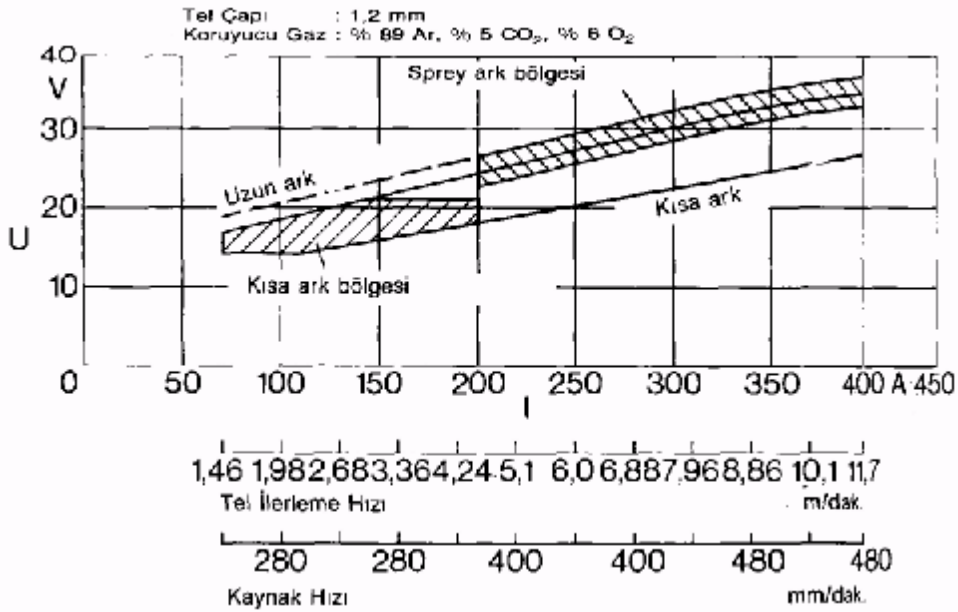
Koruyucu gaz: Karışım gaz (%89 Ar, %5 CO₂, %6 O₂)



Şekil 57- Çeşitli ark türleri için çalışma bölgeleri

Tel çapı: 1 mm.

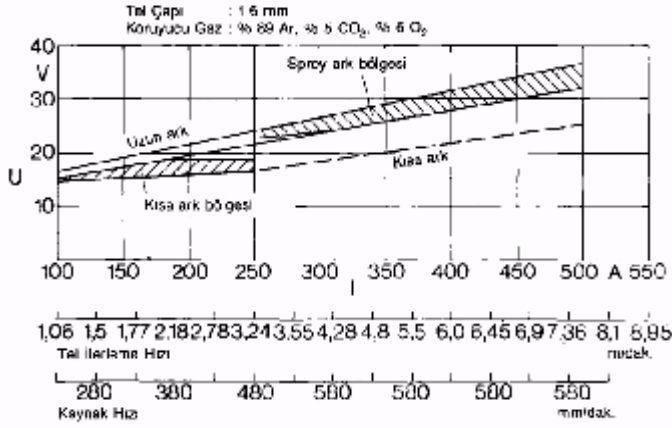
Koruyucu gaz: Karışım gaz (%89 Ar, %5 CO₂, %6 O₂)



Şekil 58- Çeşitli ark türleri için çalışma bölgeleri

Tel çapı: 1,2 mm.

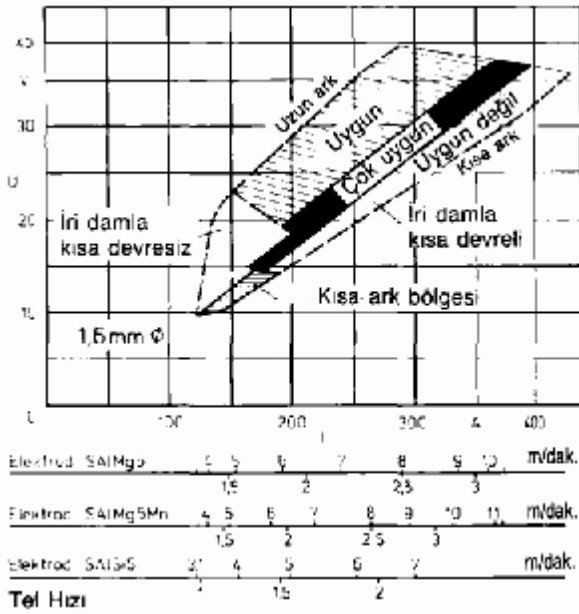
Koruyucu gaz: Karışım gaz (%89 Ar, %5 CO₂, %6 O₂)



Şekil 59- Çeşitli ark türleri için çalışma bölgeleri

Tel çapı: 1,6 mm.

Koruyucu Gaz: Karışım gaz (%89 Ar, %5 CO₂, %6 O₂)



Şekil 60- Alüminyumun MIG kaynağında çalışma bölgeleri

Esas Malzeme: AlZnMg1, AlMg3, AlMg5, AlMgSi1

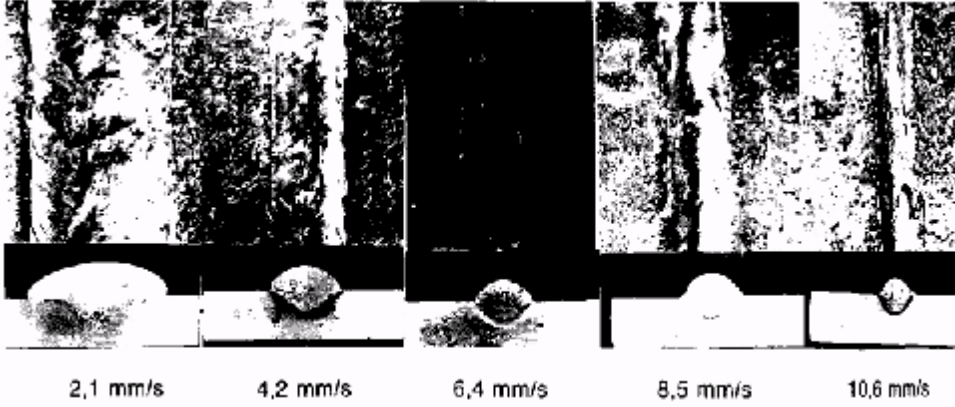
Koruyucu gaz: Argon (%99,9)

Serbest tel uzunluğu: 23 mm.

Kaynak hızı

Kaynak hızı yarı otomatik yöntemlerde kaynakçı, otomatik veya mekanize yöntemlerde ise makina tarafından ayarlanır.

Kaynak hızı, kaynak arkının iş parçası boyunca olan hareketi veya birim zamanda yapılan kaynak dikişi boyu olarak tanımlanır. En derin nüfuziyet kaynak hızının optimum değerinde elde edilir ve bu hızın yavaşlaması veya artması hallerinde ise nüfuziyet azalır. Kaynak hızı yavaş olduğu zaman, birim zamanda birim boya yığılan kaynak metali artar ve bu da kaynak banyosunun büyümesine neden olur, çok akışkan hale gelen sıvı metal ağız içinde arkın önüne doğru akar ve bu da nüfuziyetin azalmasına neden olur ve sonuçta geniş bir kaynak dikişi elde edilir. Kaynak hızının artması, dikiş yüksekliğinin artmasına neden olur. Aşırı derecede yavaş kaynak hızı, fazla miktarda kaynak metalinin yığılması ve nüfuziyetin azlığı nedeni ile ağız kenarlarında kalan bölge oluşmasına neden olur. Hızın artması birim boya verilen ısının azalmasına ve dolayısı ile de esas metalin eriyen miktarlarının azalmasına neden olur ve bu da nüfuziyeti azaltır. Kaynak hızının aşırı artması, kaynak metalinin kaynak ağızını doldurmaması nedeni ile dikiş kenarlarında yanma oluklarını andıran yarıkların oluşmasına neden olur. Şekil 61'de kaynak hızının kaynak dikişinin biçim ve boyutlarına olan etkisi görülmektedir.



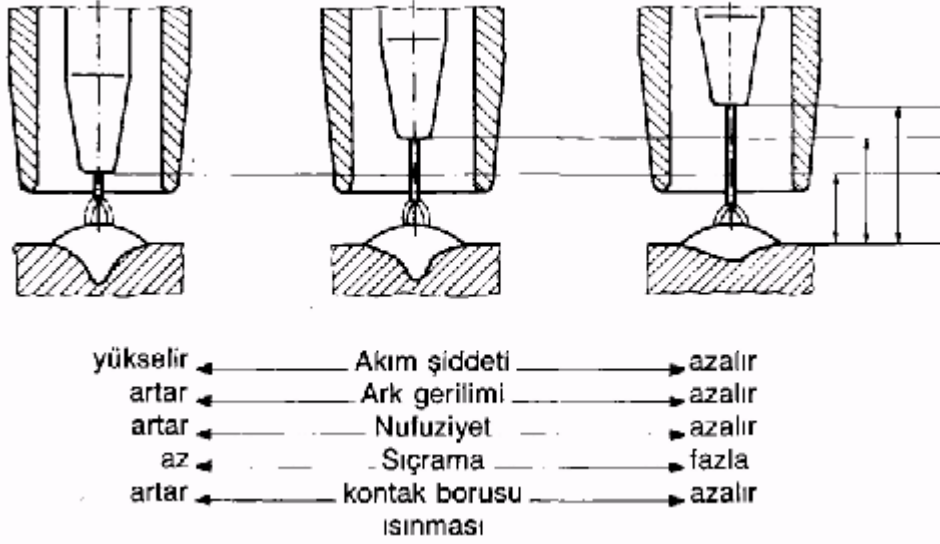
Şekil 61- Kaynak hızının, kaynak dikişinin biçim ve boyutlarına etkisi.
U = 21 V, Akım şiddeti 175 Amper,
Tel çapı 0,9 mm. Serbest tel uzunluğu 9,5 mm., MAG Kaynak yöntemi.

İKİNCİ DERECEDE AYARLANABİLİR PARAMETRELER

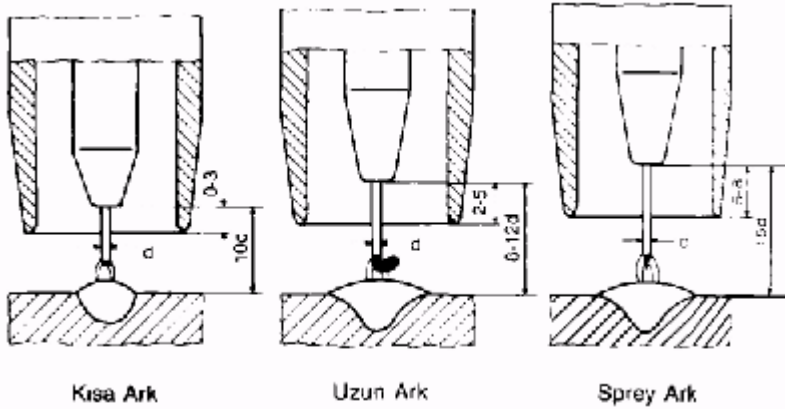
Serbest tel uzunluğu

Elektrod serbest tel uzunluğu, torç içindeki kontak borusunun en uç noktası ile tel elektrodun uç kısmı arasındaki mesafe olarak tarif edilir. Bu boyun uzaması sonucu elektrodun elektrik direnci artar ve elektrodun ön ısınması diye tanımlanan sıcaklığı yükselir ve dolayısı ile de elektrodun uç noktasını eritebilmek için gerekli akım şiddetinde azalma ortaya çıkar.

Serbest tel uzunluğunun artması erime gücünün artmasına, nüfuziyetin azalmasına neden olur, sonuç olarak serbest tel uzunluğunun aşırı artması, fazla miktarda soğuk kaynak metalinin (düşük sıcaklıkta) kaynak dikişine yığılmasına neden olur (Şekil 62).



Şekil 62 — Serbest tel uzunluğunun dikiş formuna etkisi (Şematik).



Şekil 63 — Çeşitli ark türlerinde uygun serbest tel uzunluğu (Şematik).

Genel olarak serbest tel uzunluğu, kaynak ağzında, kısa bir bölgede kök açıklığının değiştiği hallerde, dikişi kompanse edebilmek gayesi ile kullanılır. Örneğin; geniş kök açıklığı halinde, nüfuziyetin azaltılmasının gerekli olduğu yerlerde serbest tel uzunluğu arttırılarak akım şiddetinin ve nüfuziyetin azaltılması sağlanmış olur (Şekil 62).

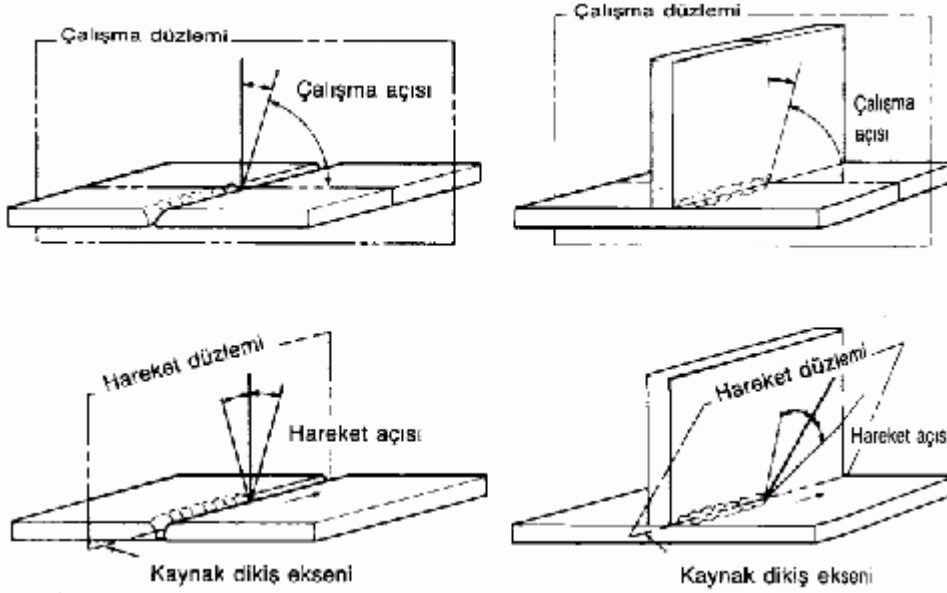
Torç açısı

Kaynak elektrodunun veya torçunun iş parçasına nazaran konumu ve kaynak esnasındaki hareketi kaynak dikişinin formunu etkileyen etmenlerden bir tanesidir.

Kaynak elektrodunun konumunu, kaynak dikişini referans alarak belirlemek konusunda kıta Avrupa'sında bir kural veya alışkanlık yoktur, buna karşın Amerikan literatüründe bu konuya yer verilmektedir. Bu konumlamaya göre, kaynak doğrultusuna dik düzleme çalışma düzlemi ve bu düzlem üzerinde torçun iz düşümü ile kaynak yapılan parçanın üst yüzü arasındaki açıya çalışma açısı denir.

Kaynak doğrultusu ve elektrod'dan geçen düzleme de hareket düzlemi adı verilir. Elektrodun bu düzlemde bulunan ve kaynak doğrultusuna dik olan çizgi ile yaptığı açı hareket açısı diye tanımlanır ve elektrodun ucu kaynak yönünde olursa bu açı negatif, aksi yönde olursa pozitif olarak gösterilir.

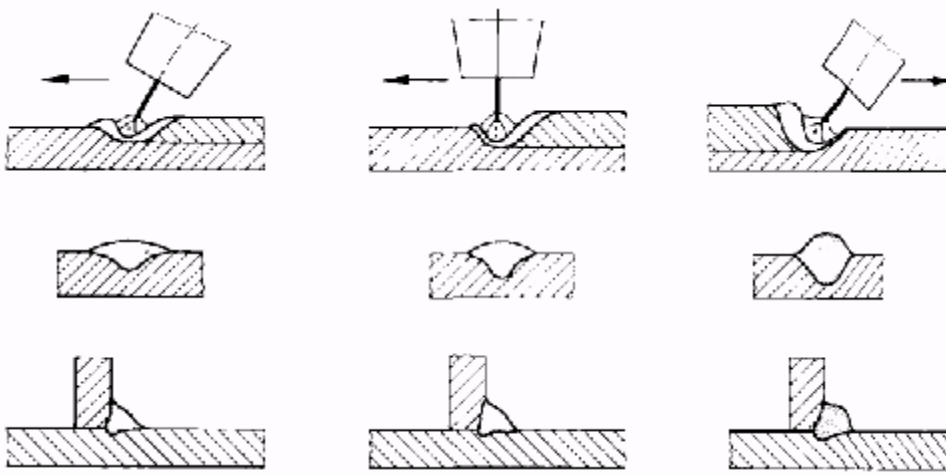
MIG - MAG kaynağında da, aynen oksiasetlen kaynağında olduğu gibi sola ve sağa kaynak yöntemi uygulanabilir.



Şekil 64 — Hareket ve çalışma düzlemleri ve elektrod açıları.

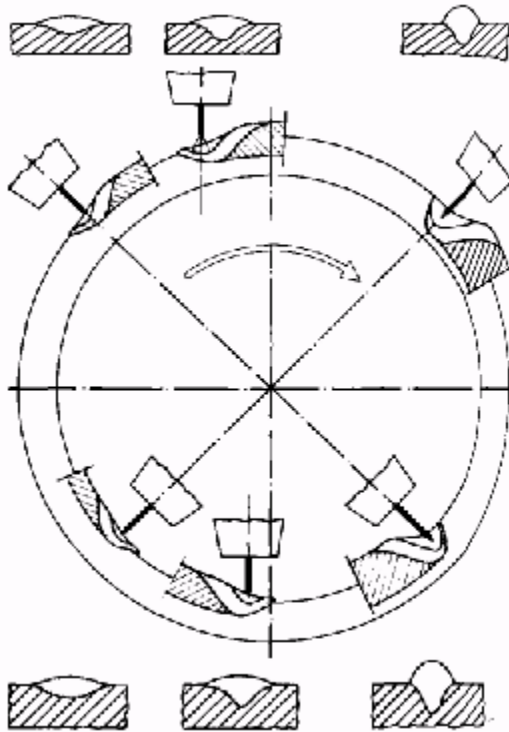
Torçun kaynak yapılan iş parçasına tam dik olarak tutulması halinde sağ veya sol kaynak arasında sonuç yönünden bir fark görülemez, buna karşın kaynak hamlacı 30°'ye kadar bir hareket açısı ile tutulduğu zaman sol ve sağ kaynağın dikiş biçimi üzerine olan etkisi açık bir şekilde görülür. Hareket açısı 30°'yi aşmadığı sürece, bu açı, kaynağın, kaynakçı tarafından kontrolüne yardımcı olur; kaynakçı kaynak banyosunu ve elektrod ucunun erimesini rahatlıkla görebildiği için dikişin kalitesi yükselir. Buna karşın bu değer aşıldığında nüfuziyet azalır ve dikiş incelik, bu durumda kaynak hızının artırılması gerekir, aksi halde sıvı metal kaynak banyosunun önüne doğru ilerler ve dikişte gözenek ve kalıntı oluşumu olasılığı artar; eğimin fazlaşması diğer yönden koruyucu gaz akımının da etkilediğinin, gazın koruma etkinliği azalır.

Sağa kaynak pozitif hareket açısı ile daha dar, daha yüksek ve daha derin nüfuziyetli dikiş elde edilir, ark daha stabildir ve sıçrama daha azdır; sağa kaynak daha ziyade çeliklerin kaynağında tercih edilen bir yöntemdir. Sola kaynak (hareket açısı negatif) ise kontaminasyona mani olmak ve esas metale intikal eden ısı miktarını azaltmak gayesi ile alüminyumun kaynağında tercih edilen bir yöntemdir.



Şekil 65.- MIG - MAG yönteminde sola (hareket açısı negatif) ve sağa (hareket açısı pozitif) kaynak halinde dikiş formunun değişimi.

MIG-MAG yönteminde kaynak dikişinin biçimine, kaynak dikişinin yataya nazaran konumu da büyük ölçüde etkiler; zira kaynak esnasında banyo sıvı haldedir ve kaynak ağzı içinde yer çekiminin etkisi ile eğim doğrultusunda akarak ilerler. Bu olayın etkisi en belirgin bir biçimde büyük çaplı bir boru biçiminde bir yapının çevre kaynağının, torç sabit tutulup parçanın eksenini etrafında döndürülerek gerçekleştirilmesinde görülür.



Şekil 66 — MIG-MAG yönteminde kaynak yönünün eğimine göre dikiş biçiminin değişimi.

Burada torcun dönen parçaya göre konumuna göre dikişin biçimi değişir; genel bir kural olarak kaynak doğrultusunun eğimi yukarı doğru arttıkça dikiş daralır, nufuziyeti ve yüksekliği artar; aksi halde meyil aşağı doğru olduğu zaman dikişin genişliği artar, nufuziyeti ve yüksekliği azalır.

TORÇ MANİPÜLASYONLARI

Elektrodun ağız içinde ilerlemesi el ile sağlanan tüm eritme kaynağı yöntemlerinde, bağlantının başarısını etkileyen en önemli etmenlerden bir tanesi de torç manipülasyonlarıdır.

MIG - MAG kaynak yöntemi için pozisyonlara göre Şekil 67-73'de önerilen manipülasyonlar kaynak operatörlerinin yetiştirilmesinde uyulacak bir kılavuz niteliğindedir. Kaynakçı yetiştikten sonra kendi ergonomik yapısına ve işin biçim ve konumuna en uygun manipülasyonları kendi geliştirecektir.

Yatay oluk pozisyonu

Yatay oluk pozisyonunda tek paso ile yapılan kaynakta hafif geri adım yöntemi uygulanır.

Kaynak Parametrelerinin Değişimi	DİKİŞ BOYUTLARI							
	Nufuziyet		Erime Gücü		Dikiş Yüksekliği		Dikiş Geniğiği	
	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓
Akım Şiddeti ve Tel İlerleme Hızı	↑	↓	↑	↓	↑	↓	*	*
Gerilimi	+	+	*	*	*	*	↑	↓
Kaynak Hızı	+	+	*	*	↓	↑	↑	↓
Serbest Tel Uzunluğu	↓	↑	↑	↓	↑	↓	↓	↑
Tel Çapı	↓	↑	↓	↑	*	*	*	*
Koruyucu Gaz (CO ₂)	↑	↓	*	*	*	*	↑	↓
Torç Açısı	Sağa Kaynak (25°)	Sola Kaynak	*	*	*	*	Sola Kaynak	Sağa Kaynak

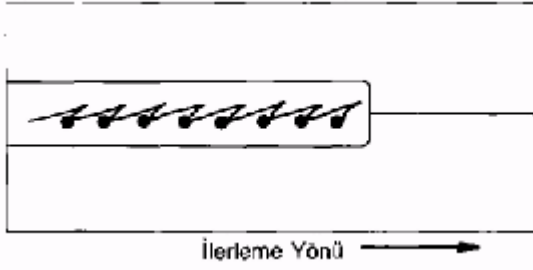
★ Etkisi Yok
+ Az Etkili

↑ Artır

↓ Azalır

Tablo 30 — MIG-MAG kaynağında kaynak parametrelerinin dikiş boyutlarına etkisi.

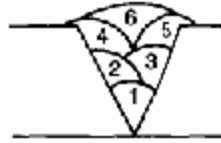
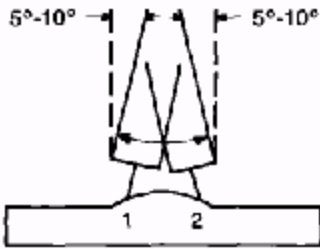
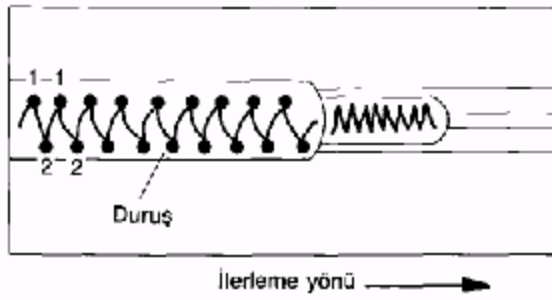
Çok pasolu kaynak bağlantısı halinde kök pasolarda, kök aralığını doldurmak için hafif bir sarkaç hareketi, dolgu ve ara pasolarında ise gene aynı hareket daha geniş olarak uygulanır ve kenarlarda gereken erimeyi yapacak ve bu kısımların iyi bir biçimde dolmasını sağlayacak biçimde durulur.



Şekil 67 — Yatay oluk pozisyonunda tek paso ile kaynakta torç manipülasyonları

Hareket açısı $\pm 5 \div 10^\circ$

Çalışma açısı 90°

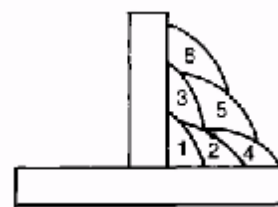
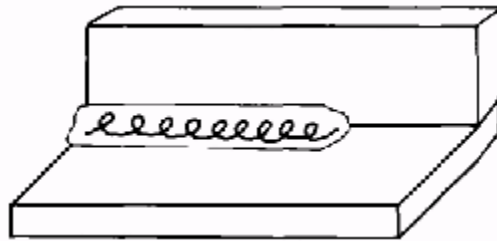


Şekil 68 — Yatay oluk pozisyonunda çok paso ile kaynakta torç manipülasyonları;

Hareket açısı $5-10^\circ$

Çalışma açısı : 90° etrafında genliği $10^\circ - 20^\circ$ olan sarkaç hareket.

Yatay pozisyonda iç köşe dikişi halinde elektrodun ucu şekil 69'da görüldüğü gibi helisin izdüşümünü andıran tarzda hareket eder.



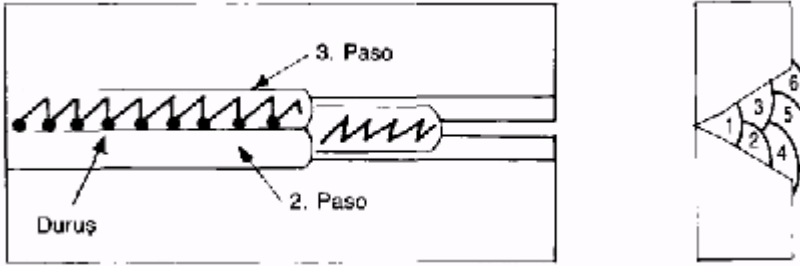
Şekil 69- Yatay pozisyonda iç köşe kaynak dikişinin gerçekleştirilmesinde torç manipulasyonları

Hareket Açısı $\pm 5-10^\circ$

Çalışma Açısı 90°

Korniş pozisyonu

Korniş pozisyonundaki kaynak bağlantılarında gerek kök pasoda ve gerekse de dolgu pasolarında elektrodun ucu destere ağzım andıran zig-zag hareketi yapar. Dolgu pasolarında zig-zag bir evvelki dikişe yandan yaklaştığında uygun bir bekleme yapar.



Çok pasolu alın

kaynağında kaynak dikişi

Şekil 70 — Korniş pozisyonunda torç manipülasyonları

Hareket açısı $+ 5 \div 10^\circ$

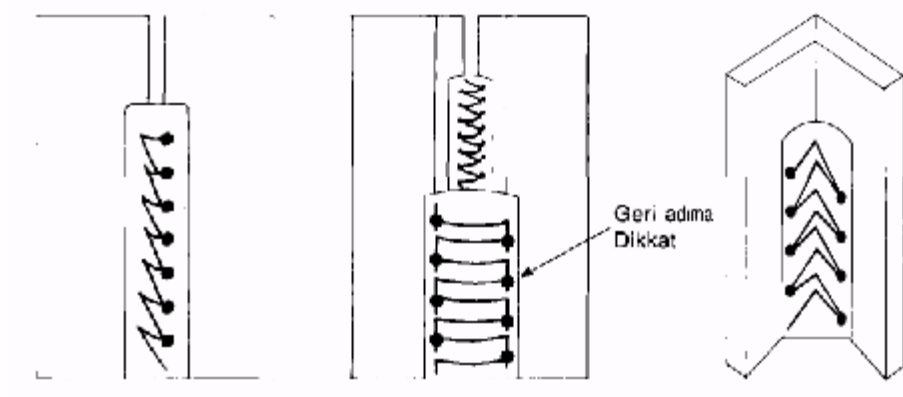
Çalışma açısı 90°

Dik Pozisyon

Dik pozisyonundaki kaynak birleştirmelerine işlemin yukarıdan aşağı veya aşağıdan yukarıya gerçekleştirilmesine göre uygun torç manipülasyonları Şekil 71-72'de verilmiştir.

Aşağıdan yukarıya alın birleştirme halinde hafif zig-zaglı ileri geri bir elektrod hareketi tavsiye edilir. Çok pasolu kaynak halinde hafifçe ay biçiminde ve dikiş kenarlarında kısa bir geri adım yapan bir elektrod ucu hareketi uygulanır. Burada uygulanan geri adımın boyu elektrod çapı kadardır. İç köşe dikişi halinde, sedir çamım andıran kenarlarda az beklemeli bir hareket tercih edilir.

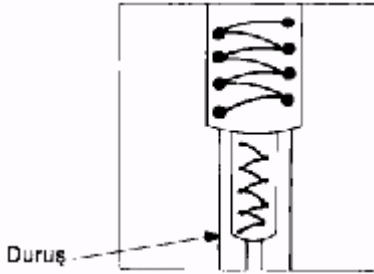
Yukarıdan aşağıya dik kaynak halinde elektroda kenarlarda durmalı açık tarafı aşağıya bakan U şeklinde bir hareket verilir. Yalnız bu pozisyonda kaynak yaparken erimiş metalin arkın önüne akmasına mani olacak derecede bir hızla kaynak gerçekleştirilir.



Şekil 71 — Aşağıdan yukarı dik kaynak halinde torç manipülasyonları

Hareket açısı $-10 \div 15^\circ$

Çalışma açısı 90° etrafında genliği 10° 'yi aşmayan sarkaç hareketi



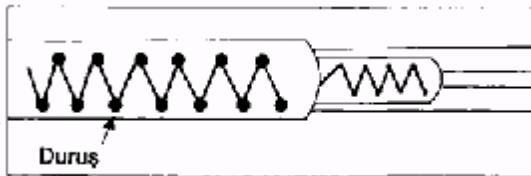
Şekil 72 — Yukarıdan aşağı dik kaynak halinde torç manipülasyonları

Hareket açısı $+5 \div 10^\circ$

Çalışma açısı 90° etrafında genliği $10^\circ - 15^\circ$ sarkaç hareket.

Tavan pozisyonu

Tavan kaynağında elektrod ucu kenarlarda az durmalı sağ sol düzgün bir zig-zag hareketi yapar, bu manipülasyon gerek kök ve gerekse dolgu ve kapak pasolarında aynen uygulanır.



Şekil 73 — Tavan pozisyonu kaynak işleminde torç manüplasyonları

Hareket açısı $+5 \div 10^\circ$

Çalışma açısı 90° ve genliği 10° olan sarkaç hareket.

METAL VE ALAŞIMLARIN MIG-MAG YÖNTEMİ İLE KAYNAKLANABİLİRLİĞİ

Bir üretim yöntemi olarak, kaynak uygulanarak inşa edilmiş bir yapının, üretilmiş bir makina parçasının veya tamir edilmiş hasarlı bir parçanın kullanma emniyeti ve kalitesi sadece kullanılan kaynak metalinin türüne diğer bir deyim ile seçimine bağlı değildir. Bir kaynak bağlantısının özeliğine etkileyen faktörlerin en önemlisi kaynak işlemi esnasında uygulanan sıcaklığın dağılım ve değişimi karşısında esas metalin davranışdır.

Pek az istisnası ile hemen hemen bütün kaynak yöntemleri kaynak edilen malzemenin kaynak bölgesinin yerel olarak erime veya metalin solidüsüne yakın bir sıcaklığa kadar ısıtılmasını gerektirir. İşte böyle bir sıcaklığa kadar ısıtılmayı takip eden soğuma, metalde iç yapı değişikliklerine neden olduğu gibi, yüksek sıcaklık kaynak metal, cüruf, esas metal ve ortam atmosferi arasında bir takım kimyasal reaksiyonların oluşmasına da neden olur.

Bütün eritme kaynak yöntemleri temel olarak bir döküm işlemi andırır. Kaynak metal, elektrik arkı veya gaz alevinin yüksek sıcaklığı karşısında erir ve daha önceden hazırlanmış olan kaynak ağız içine dökülür, bu arada kaynak ağızının kenar yüzeyleri de bir miktar erir ve dolayısı ile erimiş metal ve esas metal karışarak kaynak ağızı içinde katılaştır. Bu işlem anında, kaynak edilen malzemelerin kaynak dikişine bitişik kısımlarında, metalin erime sıcaklığından ortam sıcaklığına kadar, değişik sıcaklık derecelerinde ısınmış bölgeler ortaya çıkar.

Kaynak bağlantısının bulunduğu ve kaynak anında ortaya çıkan sıcaklıktan etkilenen bölgelerin tümüne kaynak bölgeleri ismi verilir. Bu bölge; erime bölgesi ve ısının tesiri altında kalan bölge olmak üzere iki bölümden oluşur.

Erime bölgesi, kaynak anında oluşan ısının etkisi ile eriyen ve kaynaktan sonra katılaştıran bölgedir. Isının tesiri altında kalan bölgeden, erime çizgisi adını verdiğimiz erimiş ve erimemiş kısımlar arasındaki sınırla ayrılır. Bu sınır bir kaynak bağlantısından çıkartılarak dağıtılan ve parlatılan enine kesit üzerinde çıplak gözle dahi kolayca izlenebilir.

Erime bölgesi kaynak metal ve esas metalin karışımından ibarettir. Tek pasolu kaynak dikişlerinde, bu bölgede esas metal ve kaynak metal, kaynak banyosundaki şiddetli türbülansla iyice karışmıştır ve oldukça homogen bir bileşim gösterir. Buna karşın çok pasolu kaynaklarda, her pasonun esas metalle karışma oranı farklıdır. Örneğin; kalın parçaların çok pasolu kaynak dikişlerinde, orta kısımlarda, esas metale rastlanmayabilir.

Erime bölgesinde, esas metalin kaynak metaline oranı, uygulanan kaynak yöntemi ve paso sayısına bağlı olarak geniş bir aralık içinde değişir.

Erime bölgesinde, esas metal ve kaynak metal oranı tam olarak bilinse dahi hesap yolu ile erime bölgesinin bileşiminin belirlenmesine olanak yoktur, çünkü birçok alaşım elementleri kaynak anında yanma dolayısı ile kayba uğurlar. Bu kayıpları azaltmak için kaynak bölgesi, kaynak anında atmosferin etkisinden

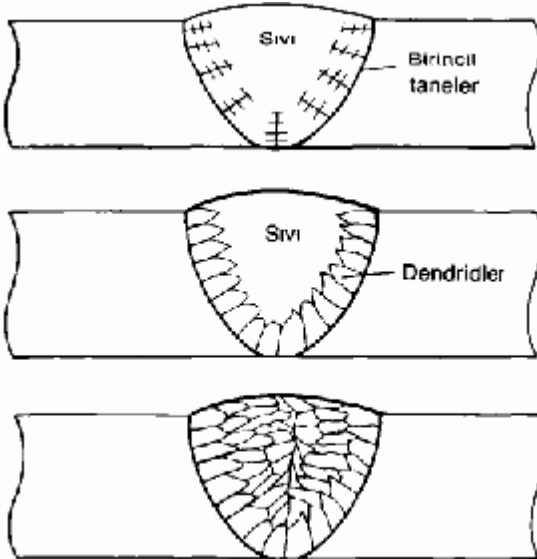
korunur. İyi bir kaynak bağlantısı, kaynak bölgesinin atmosferin etkisinden korunması ile elde edilebilir; zira oluşan kimyasal ve metalürjik reaksiyonlar ancak bu şekilde kontrol altına alınabilir.

Oksijenle olan reaksiyonları kontrol için erime bölgesine çeşitli yöntemlerle (örtüye, toza, tele katılarak) dezoksidasyon maddeleri ile yanan alaşım elementleri katılır. Bu bölge ayrıca, bir cüruf örtüsü veya oluşturulan kontrollü bir atmosferle de korunur.

Sıvı haldeki metal içinde atomlar birbirleri arasında hareket serbestisine sahiptirler. Soğuma anında; sıcaklık, metal veya alaşımın katılma noktasına kadar düşüncü, atomların kristal kafesleri meydana getirmek üzere birleşmeleri ile çekirdek oluşur. Bu sırada metalden ısı çekilir ve soğutmaya devam edilirse, çekirdekler taneleri oluşturmak üzere yeni atomların ve kristal kafeslerin ilavesi ile büyümeye devam eder. Katılma anında ortaya çıkan erime ısı tabii soğuma hızını etkileyerek tanelerin fazla büyümesini önler. Tanelerin büyüebilmesi için ısının sürekli olarak metalden çekilmesi gereklidir. Kaynak halinde ısının büyük bir kısmı erime bölgesinden kondüksiyonla esas metale iletilir, dolayısı ile soğuma yönünde paralel, oldukça iri silindirik taneler oluşur. Erime çizgisine dik doğrultuda oluşan bu iri taneler, bir kalıp içinde katılma döküm yapısını andırır.

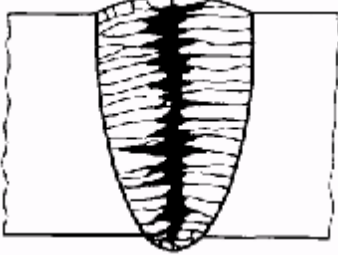
Kaynak esnasında ısı girdisinin artması, parçanın yüksek sıcaklıkta daha uzun süre tutulması, ön tav uygulanması, erime bölgesinde tanelerin irileşmesine neden olur. Kaynak bölgesinde soğuma hızının artması, tane yapısının incelmelerini sağlarsa da, gevrek ve kırılğan bir yapı oluşturduğundan uygulamada tercih edilmez.

Kaynak metaline katılmış olan dezoksidasyon elementleri ile diğer bazı katıklar erime bölgesinde tane yapısının incelmelerini yardımcı olur.



Şekil 74 — Kaynak metalinin katılaşma evreleri.

Özellikle kalın parçaların, tek paso ile yapılmış kaynak dikişlerinde, bu iri silindirik tanelerin birleştiği orta kısımlarda gayri safiyet elementleri ve kalıntıların segregasyonuna rastlanır; bu olay, bu tip dikişlerin zayıflamasına sebep olur.



Şekil 75 — Tek pasolu bir altın kaynak dikişinde segregasyon bölgesi.

Isının tesiri altında kalan bölge kaynak metalini ile esas metalin birleştiği erime çizgisi diye adlandırılan sınırdan başlayarak, kaynak işlemi anında sıcaklığın iç yapıyı, dolayısı ile metalin özelliklerini etkilediği bölge olarak tanımlanır.

ITAB'de ortaya çıkan iç yapısal değişiklikler erişilen sıcaklığın fonksiyonu olarak esas metalin türüne, bileşimine, ısı işlem ve üretim durumuna bağlı olarak çok çeşitlidir. Bu iç yapısal değişiklikler, o bölgede erişilen azami sıcaklık derecesi ve etkime süresi bilinirse esas metalin türü, bileşimi ve üretim durumu gözönünde b lundurularak önceden tahmin edilebilir ve buna bağlı olarak da bölgenin fiziksel ve kimyasal özellikleri saptanabilir. Çeşitli türlerdeki metal ve alaşımlarının kaynağında ITAB'de karşılaşılabilecek iç yapılar Şekil 76'da verilmiştir.

sınıflandırılırlar. Tablo 31'de, endüstride çok sık kullanılan alaşımsız ve alaşımlı çelikler gösterilmektedir.

Çeliğin içerdiği karbon ve diğer alaşım elementleri, kaynak metalinin sertliğini ve sertleşebilme kabiliyetini ve dolayısı ile de uygulanması gereken ön tav sıcaklığını etkiler. Sertlik ve sertleşebilme kabiliyeti birbirlerinden anlam olarak çok farklı iki kavramdır. Sertlik genel olarak çeliğin içerdiği karbon miktarının bir fonksiyonudur; sertleşebilme kabiliyeti ise çeliğin ostenit bölgesinden itibaren ani olarak soğutulması sonucu ortaya çıkan martenzitik yapının oluşma kolaylığının bir ölçüsüdür. Sertleşebilme kabiliyeti düşük çelikler ancak kaynak işlemini takiben çok şiddetli bir şekilde soğutulduklarında martenzit oluştururlar, sertleşebilme kabiliyeti yüksek çelikler ise çok yavaş bir şekilde soğutuldukları halde dahi sert martenzitik yapı oluştururlar. Bu bakımdan sertleşebilme kabiliyeti, çeliğin kaynak sonrası kaynak bölgesinde göstereceği sertliğin bir bakıma ölçüsüdür.

Çeliklerin kaynakla birleştirilmelerinde, ısının tesiri altında kalan bölgenin özelliklerinin önceden bilinebilmesi; ancak, kaynak anında sıcaklığın dağılım ve değişiminin saptanması ve bu ısı çevrimler karşısında çeliğin davranışının incelenmesi ile mümkündür. Bu veriler bilindiği zaman, arzu edilen özellikleri taşıyan bir ısının tesiri altında kalan bölge elde etmek için kaynak parametreleri gereken şekilde ayarlanabilir.

Saf metallerin çoğu katı halde iken, yalnız bir tek kristal yapıya sahiptirler; bazı metaller ise, katı halde, değişik sıcaklıklarda farklı kristal yapı gösterirler. Allotropi adı verilen bu özeliğe demirde de rastlanır; saf demir 910°C'nin altında sıcaklıklarda (α fazında hacim merkezli kübik kristal kafese, 910-1392°C sıcaklıkları arasında γ fazında yüzey merkezli kübik kristal kafese 1392-1536°C arasında da δ fazında, gene hacim merkezi kübik kristal kafese sahiptir. Saf demir halinde bu dönüşümler sabit sıcaklıklarda oluşur, çeliklerde yani, alaşım elementi içeren demir halinde ise, bu dönüşümler bir sıcaklık aralığında oluşmaktadır.

Kaynak işleminde, genellikle metal önce likidüsün üstünde bir sıcaklığa kadar ısıtılmakta ve sonra da soğutulmaktadır. Dolayısı ile çeliklerin kaynağında, kaynak bölgesinde, yukarıda belirtilmiş olan dönüşümler sıra ile oluşacaktır. Isıtıldıktan sonra soğuma yavaş bir şekilde gerçekleştiğinde, elde edilen yapı tane büyüklüğünün dışında, ilk yapının aynıdır; ancak, soğumanın hızlı olması hallerinde, çeliğin kaynağını etkileyen çok önemli durumlar ortaya çıkar.

Demir-karbon diagramı üzerinde değişik oranlarda karbon içeren çeliklerin, ısıtılma ve dengeli bir şekilde yavaş soğutulmalarında oluşan dönüşümleri ve bunun sonucunda ortaya çıkan yapıları kolaylıkla görebiliriz (Şekil 77).

İşareti	Maliz. No.	DIN/ SEW	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Akma N/mm ²	Çekme N/mm ²	Uzama %	Uygulama Alanı
Alaşımsız Çelikler												
USt 37-2	1.0036	} 17100	0,17	—	—	—	—	—	235	360...470	26	} Genel Yapı Çelikleri
St 37-3	1.0116		0,17	—	—	—	—	—	275	430...540	22	
St 44-2	1.0044		0,21	—	—	—	—	—	355	510...630	22	
St 52-3	1.0570		0,20	≦ 55	—	—	—	—	240	340...440	25	
St 35	1.0308	1629	≦ 0,18	—	—	—	—	—	260	410...530	21	Dikizaz Boru
St 45.8	1.0405	17155	≦ 0,21	≦ 0,35	0,4...1,2	—	—	—	230	340...440	—	Kazan Borusu
HI	1.0345	} 17175	≦ 0,16	≦ 0,35	—	—	—	—	280	460...550	—	} Kazan Sacları
HIV	1.0445		0,26	≦ 0,35	—	—	—	—	360	480...640	22	
C 22	1.0402	17200	0,18...0,25	0,15...0,35	0,30...0,60	—	—	—	250	450...600	22	Islah Çelikleri
GS-C 25	1.0619	17245	0,18...0,23	0,30...0,50	0,50...0,80	≦ 0,30	—	—	255	380...490	—	Sıcak Dayanımlı Ç.D.
TTSt 35	1.0356	SEW 680	≦ 0,17	≦ 0,35	≦ 0,40	—	—	—	—	—	—	Düşük Sıcaklık Çeliği
Alaşımlı Çelikler												
StE 26	1.0461	SEW 088	≦ 0,16	≦ 0,40	0,40...1,30	—	—	—	255	360...460	—	} İnce Taneli Yapı Çelikleri
StE 51	1.8607	7089	≦ 0,21	≦ 0,50	0,40...1,60	—	—	—	500	610...780	—	
A 32	—	GL	≦ 0,16	0,10...0,50	0,90...1,60	≦ 0,40	≦ 0,20	≦ 0,08	310	470...590	22	Yük. Muk. Gemli Sacı
15 Ni 14	1.5639	SEW 680	0,12...0,19	0,10...0,35	0,30...0,60	—	3,2...3,8	—	345	440...640	—	} Düşük Sıcaklıkta Tok Çelikler
X 8 Ni 9	1.5682	SEW 680	≦ 0,10	0,10...0,35	0,30...0,80	—	8,0...10,0	—	490	640...840	—	
15 Mo 3	1.5415	} 17175/ 55	0,12...0,20	0,15...0,35	0,50...0,70	—	—	0,25...0,35	275	430...520	—	} Yüksek Sıcaklık Kazan ve Boru Çel.
13 CrMo 44	1.7335		0,10...0,18	0,15...0,35	0,40...0,70	0,7...0,1	—	0,40...0,50	305	430...550	—	
X 16 CrMo 12 1	1.4921	SEW 630	0,15...0,23	0,10...0,50	0,30...0,60	11,0...12,5	≦ 0,80	0,8...1,2	490	690...840	16	Yük. Sıc. Dayanımlı Çel.
X 5 CrTi 12	1.4512	SEW	≦ 0,80	—	≦ 1,0	10,5...12,5	≦ 0,5	—	280	400...600	30	} Paslanmaz Çelikler
X 12 CrNi 17 7	1.4310	400	≦ 0,12	—	≦ 2,0	16,0...18,0	7,0...9,0	—	360	700...950	45	

SEW → Stahl-Eisen-Werkstoffblatt
GL → Germanischer Lloyd (Alman Lloydu)

Tablo 31 — Endüstride Sık Karşılaşılan ve Problemsiz Kaynak Edilebilen Çelikler

Ostenitizasyon sıcaklığına kadar ısıtılmış, ötektoid bileşimde (% 0.8 C) bir çelikte, ostenit denge koşullarını her an koruyabilecek bir yöntemle soğutulduğunda, tamamen perlit tanelerinden oluşan bir iç yapı elde edilecektir. Dönüşüm 723°C'de gerçekleşecek ve ısıtma halinde ise bu olayın tam tersi cereyan edecektir.

Ötektoid altı bir çelik «7o 0.8 C)ostenitizasyon sıcaklığından itibaren aynı şekilde soğutulduğunda GOS çizgisine erişildiği anda, ostenitin tane sınırlarında ferrit çekirdekleşmeye başlayacaktır. Sıcaklık azaldıkça bu çekirdekler irileşecek ve ferrit taneleri oluşturacaktır. Çeliğin bileşimine göre ferritin, oluşma hızı ve miktarı, soğuma hızı ile ilgilidir. Sıcaklık A1'e yani 723°C'ye düştüğü zaman, kalan ostenit % 0.8 C içerir ve tamamı perlitte dönüşür. Sonuçta ferrit ve perlit tanelerinden oluşan bir içyapı elde edilir. Isıtma halinde ise bu olayın tamamen tersi görülür ve perlit taneleri sıcaklık 723°C'ye erişince tamamen ostenite dönüşür. Sıcaklık arttıkça ferrit taneleri ufalır, yani ferrit ostenit içinde çözülür, GOS çizgisine kadar yükselince hiçbir ferrit tanesi kalmaz ve yapı tamamen ostenite dönüşmüş olur.

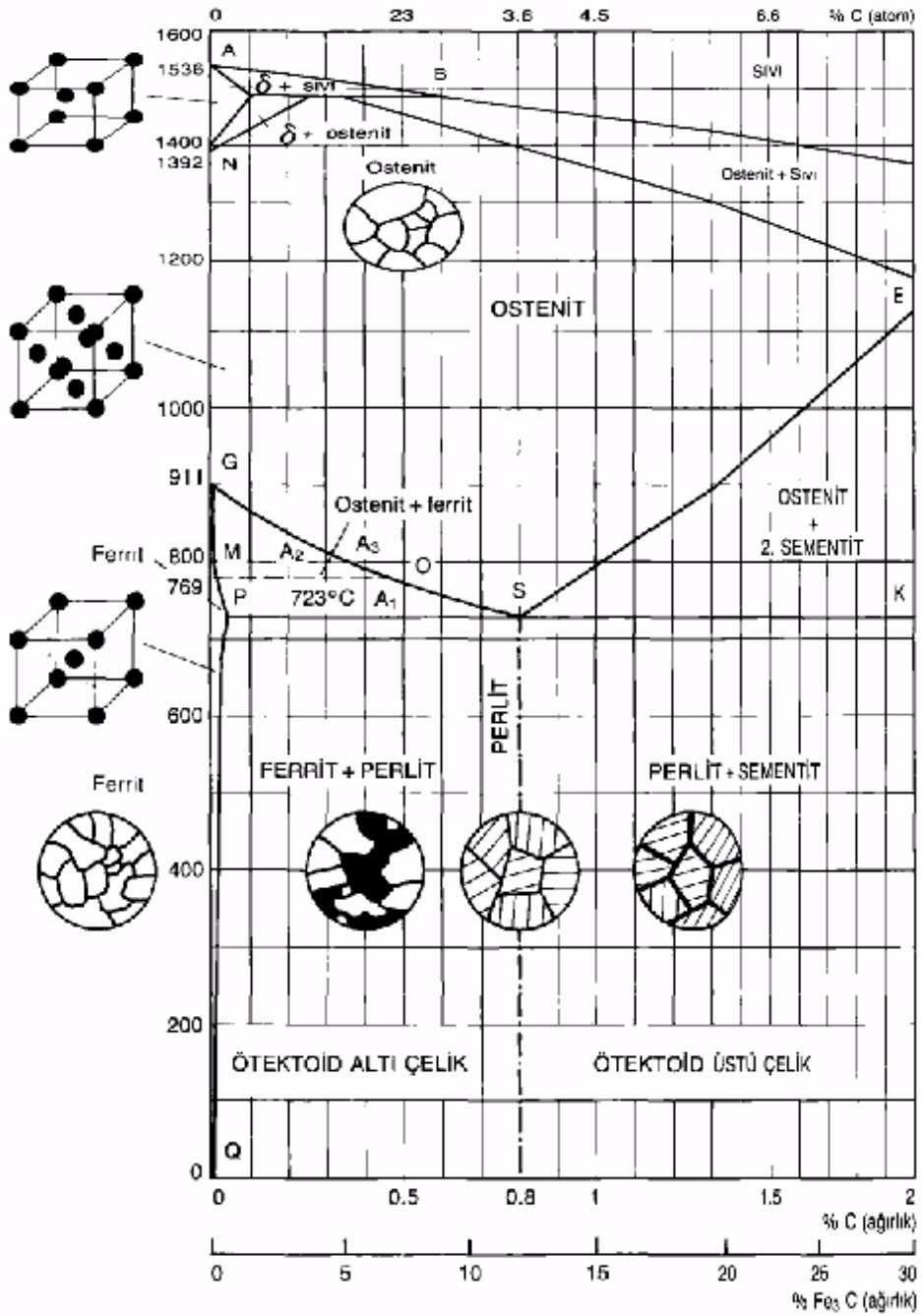
Ötektoid üstü çeliklerde ise, ostenitizasyon sıcaklığından başlayıp soğutulduğunda, sıcaklık SE'ye düştüğü zaman, ostenitten, sementit ayrışmaya başlar ve ostenit tane sınırlarına çökeler. Bu olay, sıcaklık SK çizgisine yani 723°C'ye düşünceye kadar devam eder. Ayrışmanın hızı, çeliğin karbon miktarına ve soğuma hızına bağlıdır. Şöyle ki sıcaklık 723°C'ye düştüğünde kalan ostenit % 0.8 C içerir ve bu sıcaklıkta tamamen perlitte dönüşür. Sonuçta bir sementit ağı ile çevrilmiş perlit tanelerinin oluşturduğu bir içyapı elde edilir.

Ötektoid bileşimindeki ostenit A1'den yani 723°C'den daha aşağı bir sıcaklığa kadar aniden soğutulsa ve o sıcaklıkta tutulsa, denge şartlarından uzaklaşıldığından; önce, bir müddet hiçbir dönüşüm olmaz; bir süre sonra dönüşüm başlar ve bir zaman aralığı içinde gerçekleşir. İlk bekleme süresine kuluçka periyodu ve perlitin oluşum süresine de transformasyon veya dönüşüm periyodu adı verilir. Gerek kuluçka ve gerekse transformasyon periyodu sıcaklık düştükçe kısalır ve bir minimum değerden sonra tekrar artmaya devam eder. Sıcaklığın % 0.35 C'lu bir çelikle dönüşüm ve kuluçka periyotları üzerine etkisi Şekil 78'de görülmektedir. Bu diag-ramlara TTT (İngilizce; Zaman, Sıcaklık, Dönüşüm) ve IT (İngilizce; İzotermal Dönüşüm) diagramları adı verilir. Bu olaya da ostenitin İzotermal dönüşmesi denir. Şekil 78'den de görüldüğü gibi dönüşüm sıcaklığı düştükçe ferrit miktarı azalır, buna karşın perlit miktarı artar ve bir noktadan sonra hiç ferrit oluşmaz. Yapının, bileşimi çeliğin bileşimine eş, dolayısı ile karbon miktarı normalden çok daha az olan bir perlitten oluşur.

Dönüşüm sıcaklığı düştükçe oluşan perlitin lameleri inceler ve dolayısı ile de çeliğin dayanımı ve sertliği önemli derecede yükselir.

Daha düşük bir sıcaklıkta dönüşüm gerçekleştirildiğinde (burun noktasının altında) perlit yerine, beynit adı verilen farklı görünüş ve özelliklere sahip bir yapı elde edilir.

Oluşum mekanizması açısından da beynit, perlitten farklıdır. Perlit, sementitin ostenit taneleri içinde, tane sınırlarına dik lameller halinde çökmesi ile oluşur. Sementit lamelleri oluşabilmek için gerekli karbonu diffüzyonla ostenitten aldığından, lamele bitişik ostenit karbonca fakirleşerek feritte dönüşür.



Şekil 77 - Fe-Fe₃C denge diyagramı.

Böylece sementit lamelinin her iki yüzünde bir ferrit tabakası oluşur ve ferrit tabakasının öteki yüzü karbonca zenginleşerek orada bir sementit lameli daha oluşturur. Bu şekilde işlem devam ederek perlit taneleri meydana gelir. Görüldüğü gibi perlit önce sementitin çekirdeklenmesi ile başlamaktadır. Oysaki beynitte durum tamamen terstir. Beyni -te dönüşüm önce karbonu atan ostenitin ferrit halinde

Martenzit çok sert ve kırılğan bir yapıya sahiptir; sertliği, çeliğin içerdiği karbon miktarına bağlıdır. Şekil 79'da karbonlu çeliklerde, değişik oranlarda ostenitin martenzite dönüşümü ve karbon miktarına bağlı olarak sertliğin değişimi görülmektedir.

Uygulamada kaynak ve diğer endüstriyel ısı işlemlerde, dönüşümlerin sabit bir sıcaklıkta oluşması beklenemez, bütün olaylar sürekli bir soğuma halinde gerçekleşir; bu neden ile izotermal TTT diagramlarının pratik bir faydası yoktur. İzotermal TTT diagramlarının değiştirilmesi ile, sürekli soğumayı dikkate alan diagramlar geliştirilmiştir. Bu diagramlara sürekli soğuma TTT diagramı veya CT (İngilizce Soğuma, Dönüşüm) diagramı adı verilir.

Şekil 80'de gerek sürekli soğuma halini ve gerekse izotermal halini örnekleyen şematik bir diagram görülmektedir; burada dikkati çeken olay, sürekli soğuma halinde, kuluçka periyodunun uzaması ve dönüşümlerin daha alçak sıcaklıklarda oluşmasıdır.

Gerek izotermal ve gerekse sürekli soğuma halindeki TTT diagramlarında, dönüşümleri gösteren eğrilerin konumları bir seri faktörün etkisi altındadır. Bu faktörleri şöyle sıralayabiliriz:

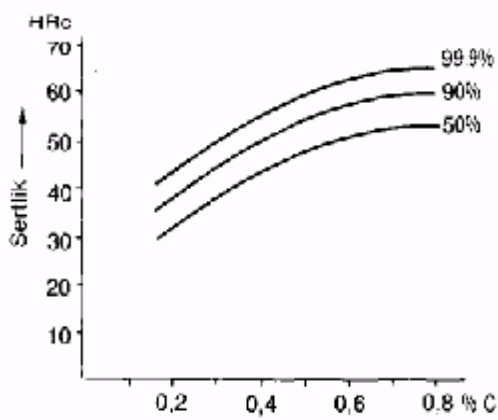
1.- Ostenitleşme sıcaklığının yükselmesi, perlit çekirdekleşmesini yavaşlatır, bu olay da diagramın üst kısmında bulunan perlit bölgesini sınırlayan eğrilerin sağa kaymasına neden olur.

2.- Ostenit tanelerinin irileşmesi, perlit çekirdekleşmesini geciktirir, dolayısı ile üst kısımdaki eğriler sağa doğru kayar.

Daha önce de belirtildiği gibi, ostenit tane büyüklüğü ostenitleşme sıcaklığının şiddetli etkisi altında olup, 1 ve 2 nolu şıklardaki faktörler birbirinin aynı gibi görülmektedir. Burada belirtmek istenen husus daha önce tane büyümesine neden olacak bir ısı işleme tâbi tutulduktan sonra, ikinci bir kez ostenitizasyon sıcaklığına kadar ısıtılmış çelik halidir.

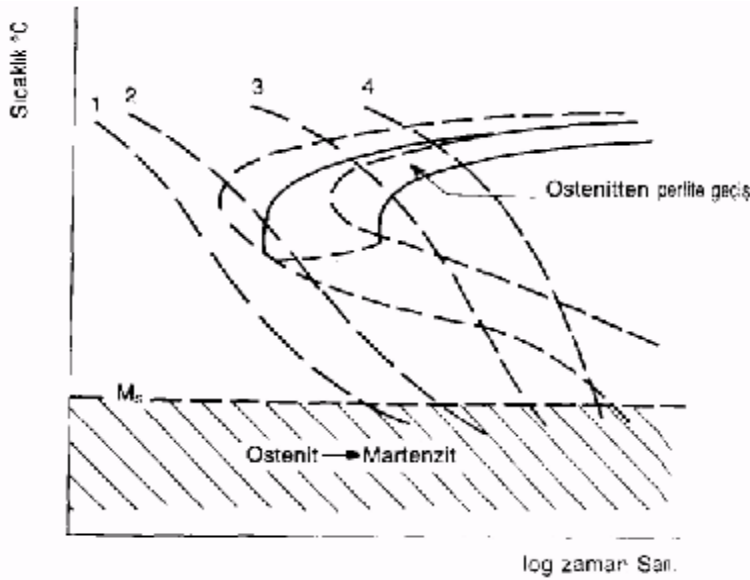
3.- Eğrilerin durumuna en şiddetli etkiyi alaşım elementleri yapar. Bütün alaşım elementleri kuluçka periyodunu uzatır ve dönüşümleri yavaşlatır fakat hepsi aynı etkiyi göstermez. Bir kısmı daha şiddetli olarak perlit; diğer bir kısmı ise beynit alanına etki eder.

Normal olarak, sürekli soğuma için çıkarılmış TTT diagramları çeliğin ısı işlemlerinde kullanılır. Bu şekilde seçilmiş bulunan soğuma hızına göre içyapı veya arzu edilen içyapıya göre soğuma hızı saptanabilir.



Şekil 79 — Martenzit sertliğinin çeliğin içerdiği karbon miktarına göre değişmesi.

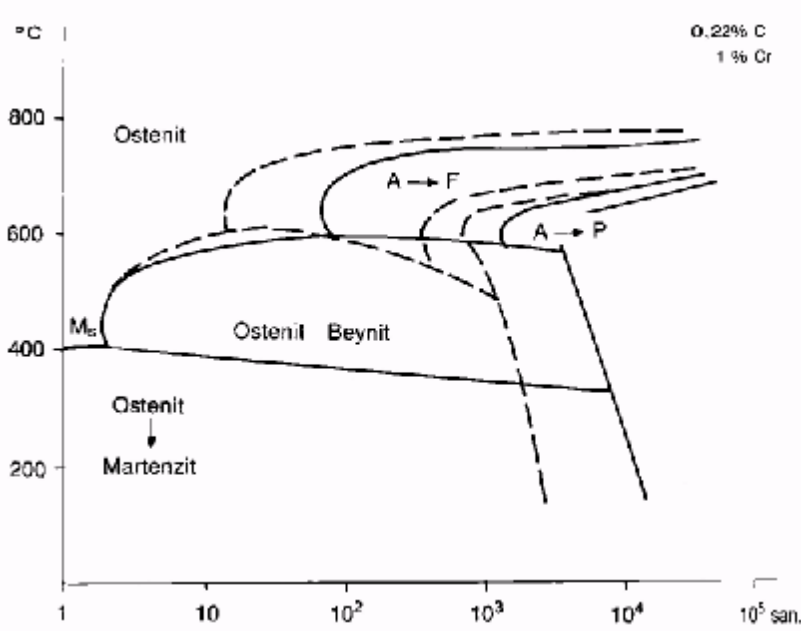
Kaynakta durum farklıdır; birinci fark, ostenitleşme sıcaklığı diğer ısı işlemlerden daha yüksektir ve ısının tesiri altında kalan bölgede çeşitli ostenitizasyon sıcaklıklarına erişilmektedir. İkinci önemli bir husus da, çok pasolu kaynak halinde, her paso bir önceki pasoya yeni bir ısı çevrim koşullarında ve yeniden ostenitizasyon sıcaklığına kadar ısıtmaktadır. Bu durumlardan ötürü, ısı işlemler için hazırlanmış olan sürekli soğuma TTT diagramları kaynak uygulamakta ortaya çıkan ısı çevrimleri tüm olarak yansıtmamalarına rağmen, kabul edilebilir bir tolerans ile kullanıldıklarında çok faydalı sonuçlar elde edilebilmektedir.



Şekil 80 — İzotermal ve sürekli soğuma TTT diagramlarının karşılaştırılması.

Isının tesiri altında kalan bölge kaynak metali ile esas metalin birleştiği sınırdan başlayarak, kaynak işlemi anında sıcaklığın iç yapıya, dolayısı ile metalin özelliklerini etkilediği bölgedir. Çeliklerin kaynağında bu bölgede sıcaklık 1450 ile 700°C arasında değişmektedir. Erişilen maksimum sıcaklığa bağlı olarak çeşitli içyapı ve özellik gösteren bölgeler vardır.

Bu bölgede eriyilen maksimum sıcaklık derecesi kaynak dikışı eksenine olan mesafenin ve sıcaklık değişimi de zamanın fonksiyonu olarak bilinirse; kaynak işlemi sonunda oluşabilecek içyapı esas metalin özellikleri ve bileşimi gözönünde tutularak bir dereceye kadar önceden tahmin edilebilir. Kaynak anında ısının etkisi altında kalan bölge hızlı bir şekilde ısınmakta ve sonra da parça kalınlığı, kaynağa uygulanan enerji ve ön tav sıcaklığının fonksiyonu olarak gene hızlı bir şekilde soğumaktadır. Çeliğin bileşimine göre bu soğuma hızı, kritik soğuma hızını aştığında, genellikle 900°C'nin üstündeki bir sıcaklığa kadar ısınmış bölgelerde sert dolayısı ile kırılğan bir yapı elde edilir. Genellikle, ısının etkisi altında kalan bölge diye isimlendirilen bu bölge, kaynak bağlantısının en kritik bölgesidir ve birçok çatlama ve kırılmalar bu bölgede oluşur.



Ostenitleşme sıcaklığı 1050 °C

Ostenitleşme sıcaklığı 875 °C

Şekil 81 — %1 Cr'lu çelikte Ostenitleşme sıcaklığının sürekli soğuma TTT diagramına etkisi.

Çeliklerin kaynağında ısının etkisi altında kalan bölge, içyapıdaki tane büyüklüğü bakımından şu değişik bölgeleri gösterir:

1. İri taneli bölge
2. İnce taneli bölge
3. Kısmen dönüşmeye uğramış bölge
4. İçyapı değişikliğine uğramamış bölge.

1. İri taneli bölge:

Erime bölgesine bitişik olan ve kaynak anında 1450 ilâ 1150°C sıcaklıklardaki bölgedir. Bilindiği gibi, metaller yeniden billürleşme sıcaklığının üstündeki bir sıcaklığa kadar ısıtıldıklarında tane büyümesi adı verilen bir olay meydana gelir. Bazı taneler büyüyerek kısmen veya tamamen küçük tanelerin yerine geçer ve dolayısı ile ortalama tane boyutu büyür. Tane büyümesi hızı sıcaklık arttıkça artar ve metalin solidüsüne yaklaştığında büyüme çok hızlanır. İri taneli yapılar, ince taneli yapılara oranla daha gevrek ve kırılğan olduklarından oluşmaları istenmez.

Çeliklerde kaynak anında erime çizgisine bitişik olan esas metal, solidüse yakın bir sıcaklığa eriştiğinden ostenit içinde fazla miktarda tane büyümesine rastlanır. Bir çeliğin kaynak edilebilirliği açısından tane büyümesi çok önemlidir, çünkü soğuma olayı sürecinde oluşan dönüşümlere ostenit tane büyüklüğünün etkisi oldukça şiddetlidir.

Ostenit tane büyümesi için gerekli olan tane sınırı ilerlemesi tane sınırlarına çökelmiş bulunan alüminyum, vanadyum titanyum ve niobyum nitrür ve karbonitrürleri tarafından engellenir. Bu durum özellikle modern çelik yapımında, üretim sırasında tane büyümesine engel olmak için geniş çapta kullanılır; nitrür ve karbonitrürler 900°C'nin üzerinde tane içinde çözelti haline gelmeye başlarlar; 1150°C civarında tümü çözelti haline geçtiğinden, artık bunların da tane büyüme olayına engel olma olasılıkları ortadan kalkar.

2. İnce taneli bölge:

Kaynak anında 900 ilâ 1150° C arasında bir sıcaklığın etkisinde kalmış bölgede tane büyümesine rastlanmaz. Bu bölgede de ostenit oluştuğundan, soğuma anında soğuma hızı ve çeliğin bileşimine bağlı olarak aynen iri taneli bölgede görülen içyapıya benzer bir içyapı görülür.

3. Kısmen dönüşmüş bölge:

İnce taneli bölgenin devamı olan bu bölge, kaynak işlemi sırasında A3 ilâ A1 arası bir sıcaklığa kadar ısınmış olup, bölgesel bir ostenitizasyona uğramıştır. Ostenit dönüşüme uğradığından yapısındaki ostenit miktarına bağlı olarak, ilk iki bölgeyi andıran bir içyapı gösterir.

4. İçyapı değişikliğine uğramamış bölge:

Bu bölge A1'in altındaki bir sıcaklık derecesine kadar ısınmış olup, ısınma sürecinde çelikte bir dönüşüm oluşmamıştır. Bu bölgede bazen içyapılarda hafif bir temperleme etkisi görülebilir.

Kaynak işleminde genellikle metal önce likidüsünün üstünde bir sıcaklığa kadar ısıtılmakta ve sonra da soğutulmaktadır. Dolayısı ile çeliklerin kaynağında, kaynak bölgesinde, yukarıda belirtilmiş olan bütün bu dönüşümler sırasıyla oluşacaktır. Isıtmayı takip eden soğuma yavaş bir şekilde gerçekleştiğinde veya çeliğin karbon ve alaşım elementi içeriği sertleşmeyi meydana getirecek miktarda değilse, elde edilen içyapı tane büyüklüğü hariç, ilkel yapının aynıdır. Buna karşın sertleşme meyli olan çeliklerde ise, soğumanın hızlı olduğu hallerde daha evvelce bahsedilmiş olan ve genellikle arzu edilmeyen özellikleri taşıyan içyapılar oluşur ki; işte çeliklerin kaynağını etkileyen en önemli etken budur. Isının tesiri altında kalan bölge, eritme kaynağında devamlı olarak ortaya çıkar ve bundan kaçırılması mümkün değildir. Büyüklüğü ise, kaynak işlemine uygulanan enerji, soğuma hızı, parçanın şekli,

boyutları ve sıcaklığı ile malzemenin ısı iletim kabiliyetinin etkisi altındadır. Bu faktörlerden değiştirilmesi mümkün olanlar yardımı ile ısının tesiri altında kalan bölge bir dereceye kadar kontrol altında tutulabilir.

Isının tesiri altında kalan bölgenin özelliklerinin önceden belirlenebilmesi için kaynatılan malzemenin bileşiminin, kaynaktan önce geçirmiş olduğu ısı işlemin ve kaynak anındaki sıcaklığın dağılım ve değişiminin bilinmesi gereklidir.

Genel olarak bir ısı çevrimin malzemenin özellikleri üzerine olan etkisinin belirlenebilmesi için bu ısı çevrim hakkında şunların bilinmesi gereklidir.

- 1- Isıtma hızı
- 2- Tepe sıcaklığı
- 3- Tepe sıcaklığının uygulanma süresi
- 4- Soğuma hızı

Bilindiği gibi endüstride, çeliğe uygulanan ısı işlemler genellikle birkaç ısı çevrimden oluşmaktadır. Böyle durumlarda her ısı çevrim halkası için bu dört etmenin saptanması gereklidir.

Kaynak işlemi süresince, uygulanan ısının oluşturduğu ısı çevrimi gözönüne alırsak, 1 ve 3 no'lu etmenlere dikkat gerekmez. Zira bu konuda yapılan araştırmalar göstermiştir ki, kaynak işleminde, ısıtma hızında yapılması mümkün olan değişim, oluşan içyapıyı etkilemektedir. Tepe sıcaklığının uygulanma süresi ise, kaynak işleminde çok dar bir saha içinde değişmektedir. Bu süre, özellikle elektrik ark kaynağında çok kısadır, bilindiği gibi eriyen metal hemen katılaşmakta ve dolayısı ile dik ve tavan kaynaklarını yapmak mümkün olabilmektedir.

Bu bakımlardan, kaynak bölgesinde sıcaklığın dağılım ve değişimi incelenirken sadece erişilen tepe sıcaklığı derecesi ve soğuma hızı göz önünde bulundurulur.

Kaynak bölgesindeki sıcaklık dağılım ve değişimini matematiksel olarak formüle etmek oldukça zordur, bu konuda geliştirilmiş olan formüller olaya sadece bazı varsayımlarla yaklaşabilmektedir; evvelce de belirtilmiş olduğu gibi, sıcaklığın dağılım ve değişimi, uygulanan kaynak enerjisi parça ve ortam sıcaklığı ve malzemenin özelliklerine bağlı olduğu kadar parçanın meyil ve boyutları ile kaynak dikişinin geometrisine de bağlıdır. Ancak, bu son etkeni formüle etmek olayı daha karmaşık hale getirmektedir. Bununla beraber geliştirilmiş denklemlerin deneysel sonuçları, uygulamada kabul edilebilir bir hassasiyet derecesinde olduklarını göstermektedir.

Hesap yolu ile ilk yaklaşım Rosenthal ve daha sonra Rykalin tarafından yapılmıştır.

Sabit bir V hızı ile yarı sonsuz büyüklükte ve ısı özellikleri sıcaklıkla değişmeyen bir malzemedan yapılmış bir parçanın üzerinde hareket eden ısı menbainın, etrafa radyasyon ve konveksiyonla ısı kaybı olmadan oluşturduğu sıcaklığın dağılımı Rosenthal tarafından şu şekilde ifade edilmiştir.

İki boyutlu ısı dağılımı halinde (ince parçalar)

$$T(R, x) - T_0 = \frac{q}{2\pi \lambda R} e^{-\left(\frac{v \cdot x}{2a}\right)} K_0\left(p \frac{x+R}{2a}\right)$$

Üç boyutlu ısı dağılımı halinde (kalın parçalar)

$$T(R, x) - T_0 = \frac{q}{2\pi \lambda R} e^{-v \left(\frac{x+R}{2a}\right)}$$

Burada:

q: Isı menbainin şiddeti,

λ : Isı iletkenlik katsayısı,

a: ∂/p c ısı dağılım katsayısı,

x: Isı menbainin hareket yönündeki koordinat eksenini,

v: Isı menbainin hızı,

p: Boyutsuz katsayı (çevreye ısı transferi ile ilgili).

Bütün eritme kaynak yöntemlerinde özellikle, elektrik ark kaynağında soğuma hızı; sertleşme meylli fazla olan çeliklerde, gereken önlemler alınmadığı zaman, ısının tesiri altında kalan bölgede, martenzit oluşumunu sağlayacak şiddettedir. Kaynak metali için yani erime bölgesi için böyle bir tehlike yoktur; zira, elektrod üreticileri tarafından, kaynak metalinin bileşimi, hızlı soğuma halinde dahi sertleşme oluşturmayacak şekilde ayarlanmıştır.

Isının tesiri altında kalan bölgede sert ve kırılğan bir yapının ortaya çıkması, soğuk çatlakların oluşmasına neden olmaktadır. Kaynaktan sonra ortaya çıkan iç-gerilmelerin, çalışma şartlarındaki zorlamaların ve kaynak banyosundan yayılan hidrojenin etkilerinin birbiri üzerine çalışması ve sertleşen bölgenin plastik şekil değiştirme özeliğinin olmaması nedeni ile kılcal çatlaklar oluşmaktadır. Genellikle yüzeyden görülmeyen bu çatlaklar zamanla kritik büyüklüğe erişince hiç beklenmedik bir anda ve büyük bir hızla (çelik içerisinde ses hızının yaklaşık 1/3'ü kadar) parçanın kaynak dikişine paralel olarak boydan boya kırılmasına neden olur.

İkinci Dünya Savaşı devam ederken ABD'de inşa edilmiş Liberty tipi şileplerin büyük bir kısmı bu gevrek kırılma olayının kurbanı olmuş ve gemiler aniden iki parçaya bölünerek batmıştır. Bu çatlaklar genellikle erime çizgisine çok yakın olduklarından (esas metal tarafında) bazen bir birleşme hatası gibi değerlendirilir ve kusur kaynakçıya veya kaynak metaline yüklenir. Ancak, bu olayda gerçek neden çeliğin sertleşmeye olan meyllidir. Sertleşen çelikler ancak özel önlemler yardımı ile kaynak edilmelidirler.

Gayet iyi bilindiği gibi çeliklerin sertleşebilme, diğer bir deyimle; su alma yeteneğine etki eden en önemli alaşım elementi karbondur. Karbon miktarı arttıkça sürekli soğuma TTT diagramında burun sağa doğru kayar ve dolayısı ile daha yavaş soğuma hızlarında da sert yapı oluşur. Bu olay gözönünde bulundurularak kaynakla birleştirilecek karbonlu yapı çeliklerinde karbon miktarının azami % 0.22 olabileceği nizamnamelerde belirtilmiştir. Az alaşımlı çeliklerde bulunan mangan, krom, molibden, vanadyum gibi alaşım

elementleri de kaynağa karbon gibi etkir ve sertleşme meylini arttırır. Bununla beraber etkileri karbon kadar şiddetli değildir. Böyle bir olayda çeliğin TTT diagramı (sürekli soğuma) elimizde var ise, ısının tesiri altında kalan bölgede martenzit oluşmasına olanak vermeyen bir soğuma hızı seçerek kaynak yapmamız gerekir.

Bu varsayımın gerçekleştirilmesi bir dereceye kadar mümkündür; zira yapılmış olan çalışmalar göstermiştir ki; kaynak şartlarında tepe sıcaklığına erişmek için geçen sürenin kısalığı ve parçanın sadece bir bölümünün ısınması nedeni ile soğuma sonucundaki dönüşümler, ısı işlemler için geliştirilmiş olan TTT diagramlarındaki bölgelerde oluşmamaktadır. Ancak, aradaki fark kaynak uygulamalarında neticeye önemli bir etkide bulunabilecek büyüklükte değildir. TTT diagramından bir soğuma hızı seçerek, kaynak şartlarını ayarlama pratik açıdan her zaman kolaylıkla uygulanabilecek bir çözüm değildir. Bunun gerçekleşebilmesi için her kaynak atölyesinde bu diagramlar içeren bir atlasın bulunması ve her kaynak teknisyeninin de bunları kullanabilecek şekilde eğitilmiş olması gerekir.

Bütün bu hususlar gözönünde bulundurularak, uygulamada çok daha kolay bir şekilde sonuca giden bir başka çözüm geliştirilmiştir. Karbon eşdeğeri diye isimlendirilen bu çözümde; çeliğin bileşiminde sonuca alaşım elementlerinin miktarları bir formülde yerlerine konarak bir değer hesaplanır; buna da karbon eşdeğeri adı verilir.

Kaynakta çeliğin sertleşme meylini belirten bir değer sayısının bulunması ve bununla çeliğin bileşimine dayanarak, kaynak kabiliyetini belirten bir formülün elde edilebilmesi için birçok çalışmalar yapılmış ve alaşım elementlerinin verdiği sertleşmeye eş değerde sertliği sağlayan karbon miktarı saptanmıştır. Bu şekilde saptanan ve çeliğin bileşimindeki alaşım elementlerinin oluşturduğu sertliğe eş sertliği veren karbon miktarına karbon eşdeğeri adı verilmiştir. Birçok memleketlerde ve çeşitli nizamnamelerde, kaynaklı konstrüksiyonlarda kullanılacak çeliklerin içeriğindeki karbon ve manganez miktarları sınırlandırılmıştır. Bu iki element de çeliğin sertleşme meyli dolayısıyla çatlak oluşumu olasılığını arttırırlar.

Karbon eşdeğeri büyüdükçe kaynaktan sonra soğumanın yavaşlatılması gerekmektedir. Bunun için de tek çözüm parçaya kaynaktan önce bir öntavlama uygulayarak soğuma hızını yavaşlatmaktadır. Karbon eşdeğerine bağlı olarak öntavlama sıcaklıkları saptanmış olduğundan uygulamada olay oldukça basite indirgenmiştir; yalnız burada kesinlikle bilinmesi gereken çeliğin bileşimidir.

Karbon eşdeğerinin hesaplanması konusunda, literatürde çok değişik formüllere rastlanılmaktadır. Bunlar salt bilimsel açıdan düşünüldüğünde, ne çelikleri sınıflandırmak için kriter olabilmekte ve ne de kaynak kabiliyetinin bir ölçüsü olarak kullanılabilirler; bunlar ancak, uygulamada kullanılabilen ve tatminkâr sonuçlar veren amprik bağıntılardır.

Bugün en fazla kullanan karbon eşdeğeri formülleri şunlardır;

1- Dearden ve HO. Neill karbon eşdeğeri formülü:

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{5}$$

2- Kihara, Suzuki Otani ve Tamura'nın gerçekleştirdiği karbon eşdeğeri formülü:

$$C_{eş} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2}$$

3- B.J. Bradstreet'e göre karbon eşdeğeri formülü:

$$C_{eş} = C + \frac{Mn}{2} + \frac{Cr}{10} + \frac{Mo}{10} + \frac{V}{10} + \frac{Ni}{15}$$

4- Societe National de Chemin de Fer (Fransa)'in kullandığı karbon eşdeğeri formülü:

$$C_{eş} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{P}{2} + \frac{Cr}{5} + \frac{Cu}{13} + \frac{Mo}{4} + \frac{Ni}{15}$$

5- K.Winterton'a göre karbon eşdeğeri formülü:

$$C_{eş} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr}{10} + \frac{Cu}{40} + \frac{Ni}{20} + \frac{Mo}{50} + \frac{V}{10}$$

6- Milletlerarası Kaynak Enstitüsü'nün (IIW) IX No'lu Komisyonuna (Kaynak Kabiliyeti Komisyonu) göre karbon eşdeğeri formülü:

$$C_{eş} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{5} + \frac{V}{5} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cu}{15}$$

Görüldüğü gibi, bütün formüllerde, karbon ve kısmen mangan haricindeki bütün elementlerin etkinlikleri farklı mütalâa edilmektedir. Bu da yukarıda belirtilmiş olan hususları açık bir şekilde kanıtlamaktadır.

Milletlerarası Kaynak Enstitüsü'nün Kaynak Kabiliyeti Komisyonu çatlama karşı bir emniyet olarak ısının tesiri altında kalan bölgede sertliğin 350 Vickers'i (kp/mm²) aşmamasını önemle tavsiye etmektedir. Isının altında kalan bölgenin sertliğini düşürmek için uygulanan en emin yol parçayı kaynaktan önce tavlama ve bu sıcaklık derecesinde kaynağı yapmaktır. Bu şekilde soğuma hızı da, kritik soğuma hızından daha yavaş bir hıza düşürülmektedir. Bazı kitap yazarlarınca önerilen ikinci bir yöntem de parçaya kaynaktan sonra bir normalizasyon tavlama uygulamasıdır. Bu şekilde parça normalize edilmiş olduğundan ısının tesiri altında kalan bölgede martenzite rastlanmaz.

Bu ikinci yöntem martenzitin yok edilmesi açısından çok emin bir yol olmasına karşın, özellikle basınçlı kaplar gibi, kalıcı gerilmelerin şiddetli olduğu hallerde uygulanmasına ben şahsen karşıyım. Zira ilkel soğuk çatlaklar martenzit oluşuktan sonra soğuma hızı ve kalıcı gerilmelerin şiddetinin etkisi ile oluşmaktadır. O halde kaynaktan sonraki ısıl işlemin bu çatlaklara bir etkisi yoktur. Ancak, işletme anında doğabilecek çatlaklara tesiri vardır, dolayısı ile öntavlama çeliğin bileşiminin bir ısıl işlem gerektirdiği hallerde şarttır; gerekirse emniyeti arttırmak açısından bir de normalizasyon tavlama yapılabilir.

Bir yapı çeliğine uygulanacak öntavlama karbon eşdeğeri ile belirten birtakım formüller varsa da en garantili hiç formül kullanmadan aşağıdaki tavlama değerlerini uygulamaktır:

KARBON EŞDEĞERİ (%) ÖNTAVLAMA SICAKLIĞI (°C)

0.45'ten küçük	Normal atmosfer şartlarında gerek yoktur
0.45 ilâ 0.60	100 ilâ 200
0.60'tan büyük	200 ilâ 350

Görüldüğü gibi karbon eşdeğeri tamamen çeliğin bileşimi ile ilgili olup, kaynağa uygulanan enerji, kaynak ağız formu, parçanın geometrisi ve kalınlığı ile ilgili faktörleri içermemektedir. Bunlar, soğuma hızım birinci derecede etkileyen ve dolayısı ile de ısının tesiri altında kalan bölgede oluşan içyapıyı etkileyen faktörlerdir. Örneğin: 20 mm kalınlığında ve karbon eşdeğeri % 0.45 civarında olan bir çelik öntavlama yapılmadan kaynak edildiğinde, IIV tarafından kritik sertlik derecesi diye kabul edilen 350 HV'den daha sert bir ısının tesiri altında kalan bölge göstermektedir. Aynı parça 100°C'lik öntavlama uygulanarak kaynatıldığında, ısının tesiri altında kalan bölgenin sertliği, hemen kritik sertlik değerinin altına düşmektedir. Bu olayı gözönünde bulunduran Daniel Seferian, parça kalınlığının soğuma hızına olan etkisini de içeren bir öntavlama sıcaklığı belirleme formülü teklif etmektedir; buna göre öntavlama sıcaklığı şu şekilde hesaplanmalıdır:

$$T_{\text{önlav}} = 350 \sqrt{C' - 0.25}$$

$$C' = C_{\text{es}} (1 + 0.005 d)$$

d: mm olarak saç kalınlığı

Yalnız bu formülde Seferian, kendi geliştirdiği ve yukarıda diğer karbon eşdeğeri formülleri arasında bahsedilmemiş olan şu karbon eşdeğeri ifadesini kullanmaktadır.

$$360 C_{\text{es}} = 360 C + 40 (Mn + Cr) + 20 Ni + 28 Mo$$

Sadece bir yaklaşım olan karbon eşdeğerinin kullanılması halinde riskleri bertaraf edebilmek için, kaynak öncesi yapılması gereken öntavlamanın sıcaklık derecesi, aşağıdaki belirtilmiş olan durumlarda, verilmiş olan değerlerin üst sınırlarında seçilmeli ve hatta gerekirse özel durumlarda bu sınırlar da aşılmalıdır.

- 1- Esas metal bir Thomas çeliği veya gazı alınmamış bir çelik ise,
 - 2- Çeliğin yapısı kaba taneli ise,
 - 3- Kaynatılan parça büyük ve karışık şekilli ise,
 - 4- Parça kalınlığı büyük ise,
 - 5- Kaynak yaparken az enerji uygulamak gerekiyorsa, örneğin: İnce çaplı elektrod ile kaynak yapılıyorsa,
 - 6- Kullanılan kaynak metali yeterli derecede tok değilse,
 - 7- Kaynak işleminin yapıldığı yerin sıcaklığı çok düşük ise,
- Sertleşmeye meyli olan, karbon eşdeğeri % 0.45'ten daha büyük olan çeliklerin emniyetle kaynatılabilmesi için kaynak anında aşağıdaki hususlara özen gösterilmelidir:

1- Uygun seçilmiş bir öntavlama sıcaklığı tüm parçaya uygulanmalıdır.

2- Bütün kaynak işlemi süresince bu sıcaklığın aynı kalmasına özen gösterilmelidir.

3- Parçaya bir gerilme giderme tavlaması uygulanacaksa, olabildiğince kaynaktan hemen sonra, parça soğumadan uygulanmalıdır. Parça tavlamadan sonra fırında 300°C'ye kadar soğuduktan sonra çıkarılmalı ve sakın havada soğumaya terkedilmelidir.

Sıcaklık ve zaman karşısında davranışlarını gözönünde tutarak kaynak kabiliyeti bakımından çelikleri şu şekilde sınıflandırabiliriz:

1- İyi bir kaynak kabiliyetine sahip olan çelikler; bilinen konvansiyonel kaynak yöntemleriyle hiçbir önlemi gerektirmeden kaynak edilebilirler ve ısının tesiri altında kalan bölgelerinde tane büyümesi dışında bir yapı değişikliği ve sertleme meydana gelmez. Bu özellik genellikle karbon eşdeğeri% 0.45'ten küçükolan çeliklerde vardır.

2- Orta derecede kaynak kabiliyetine sahip olan gruba giren çeliklerde emniyetli bağlantılar elde edebilmek için kaynak yöntemi ve malzemesi özenle seçilmeli; uygun bir öntavlama yapılmalı ve gerekli hallerde kaynaktan sonra gerilme giderme tavlaması uygulanmalıdır. Bu gruba giren çeliklerin karbon eşdeğeri % 0.45 ilâ 0.60arasındadır.

3- Kötü derecede kaynak kabiliyetine sahip çelikler: Bu gruba giren çelikler ancak özel koşullar altında kaynak edilirler. Bunlara ancak tamir ve doldurma işlerinde ve insan hayatına zarar vermeyecek durumlarda kaynak uygulanır. Bu çelikler, özel kaynak metali kullanarak ve yüksek bir öntavlama sıcaklığı ve kontrollü bir soğutma uygulanarak kaynak edilebilirler. Genellikle ısının tesiri altında kalan bölgenin sertleşmeyeceği garanti edilemez. Bu son husus özellikle karbon eşdeğeri % 1'den büyük olan yüksek alaşımlı ve karbonlu çelikler için önemlidir.

Görüldüğü gibi karbon eşdeğeri yardımı ile olaya yaklaşım sadece ısının tesiri altında kalan bölgenin sertliği hakkında fikir vermektedir. Yapı hakkında bir şeyler belirtmemesine karşın özellikleri bilinen bir metalik malzemede özellikle çeliklerde sertlik, yapının diğer özellikleri hakkında yeterli bilgileri verebilir.

Çeliklerin kaynağa yatkınlığına, diğer bir deyimle kaynak kabiliyetine etki eden önemli faktörlerden bir tanesi de çeliğin eldesindeki gaz giderme işlemidir.

Kaynar dökülmüş çeliklerde segregasyon bölgesinde fosfor ve kükürt toplanmıştır ve ingotun haddelenmesi veya dövülmesi işlemleri de bu bölgeyi yok edemez, bu bölge saç veya profilin iç kısmında kalır.

Böyle bir çelik saç veya profil tüm kesiti boyunca kaynatıldığı zaman bu segregasyon bölgesinin de erimesi sonucu S ve P kaynak banyosuna geçer, gözenek ve sıcak çatlakların oluşumuna neden olur. Bu tür çeliklerin tüm kesitleri boyunca kaynatılmaması ve çekmeye çalışan, aşırı zorlanan parçaların bu tür çeliklerden yapılmaması önerilir. Bu tür çelikler daha ziyade bindirme kaynağı yapılmalı ve kaynak elektrodu da yeter derecede dezoksidan element içermelidir.

Gaz giderme işlemi ile Mn ve Si katkıları sayesinde çelikteki çözülmüş oksijen azaltılır, böylece kükürt ve fosforun yapı içinde toplanma yapmadan dağılmaları sağlanır. Bu tür bir işlem görmüş çelikler tüm

kesitleri boyunca kaynak ile birleştirilebilirler.

Bu tür çeliklerin MIG-MAG kaynağında, kaynak metali seçiminde genellikle çeliğin bileşiminden ziyade, mekanik özellikleri gözönüne alınır ve genellikle seçilen elektrodun karbon içeriği esas metalden daha düşüktür. Gazı alınmamış çelikler halinde daima yüksek miktarda silisyum içeren kaynak telleri tercih edilmelidir. Sade karbonlu ve az alaşımlı çelikler genellikle koruyucu gaz olarak CO₂ ve Argon-CO₂ karışımları kullanılarak kaynak edilirler.

Alaşımlı çelikler halinde, bilhassa % 6'dan fazla krom içeren çelikler için CO₂'nin koruyucu gaz olarak kullanılması iyi sonuçlar vermediğinden bu gibi durumlarda Helyum-Argon karışımları ile çok az oksijen ilâve edilmiş asal gazlar kullanılır. Çeliklerin kaynağında kısa ark veya sprey ark yöntemleri tercih edilir, tercih türünü etkileyen en önemli etken koruyucu gazın türüdür. Globüler (damlasal) metal geçişi çeliklerin kaynağında iyi sonuç vermediğinden aralıkların doldurulmasının gerekli olduğu hallerde dar beli akım yöntemi kullanılır.

Hemen hemen bütün çelik türleri, takım çelikleri ve otomat çelikleri dışındaki tüm yapı çelikleri eriyen elektrod ile gazaltı kaynağı yöntemi ile birleştirilebilirler (Tablo 32, 34 ve 35).

Yöntem Uygulama		MAG Kaynağı		Malzeme		Alaşımsız Çelik						
		Yarı Otomatik		Tel (elektrod)		SG 2 DIN 6555						
Birleştirme Türü: Alın Kaynağı				Koruyucu gaz		DIN 32526 – M 21 (%15-25 CO ₂ kalani Ar)						
				Kaynak Pozisyonu		Oluk						
Malz. Kalınlığı	Ağız Türü	Aralık	Ağız Açısı	Ayarlar				Tüketim				
				Tel Çapı	Kaynak Geçirimi	Kaynak Akımı	Tel İlerleme	Koruyucu Gaz	Pişme Sayısı	Kaynak Metal	Koruyucu Kaynak Süresi	
mm	(°)	mm	(°)	mm	V	A	m/dak	l/dak	g/m	l/dak	dk/m	
1,5	I – Alın	0,5	-	0,8	18	110	5,9	10	1	39	17	1,7
2	I – Alın	1,0	-	1,0	18,5	125	4,2	10	1	51	18	1,9
3	I – Alın	1,5	-	1,0	19	130	4,7	10	1	59	24	2,4
4	I – Alın	2,0	-	1,0	19	135	4,8	10	1	103	35	3,5
5	V – Alın	2,0	50	1,0	18,5	125	4,3	12	2	221	78	8,5
6	V – Alın	2,0	50	1,0	18,5	125	4,3	12	2	249	78	8,5
8	V – Alın	2,0	50	1,2	18	135	3,1	10...15	3	374	100	8,3
10	V – Alın	2,5	50	1,2	18,5	135	3,2	10...15	3	591	134	10,6
12	V – Alın	2,5	50	1,2	18,5	135	3,2	10...15	4	791	168	12,7
15	V – Alın	3,0	50	1,2	18,5	130	3,2	10...15	5	1275	263	19,5
20	V – Alın	3,0	50	1,2	19	140	3,8	10...15	12	2085	400	29,0
20	X – Alın	3,0	50	1,2	29	310	9,5	10...15	6	1200	240	17,5

Tablo 32 — Alaşımsız çeliklerin MAG kaynağı için önerilen parametreler (oluk pozisyonlarında).

Yöntem Uygulama		: MAG Kaynağı : Yanı Otomatik		Malzeme : Alaşimsız Çelik Tel (elektrod) : SG 2 DIN 8559										
Biriştirme Türü : Alin Kaynağı		Koruyucu Gaz : DIN 32526 - M 21 (% 15-25 CO ₂ kalamı Al)		Kaynak Pozisyonu : Dik										
Malz. Kalınlığı	Ağız Türü	Ağız Hazırlama				Ayarlar				Tüketim				
		Aralık	Ağız Açısı	Kaynak Pozisyonu	Kök Pasosu (KP); Dolgu Pasosu (DP); Kapak Pasosu (KAP)	Tel Çapı	Kaynak Gerilimi	Kaynak Akımı	Tel İlerleme Hızı	Koruyucu Gaz	Paso Sayısı	Kaynak Metali	Koruyucu Gaz	Kaynak Süresi (t)
mm		mm	(°)			mm	V	A	m/dak	lt/dak		g/m	lt/dak	dakım
1,5	I-Alın	1,0	—	↑	—	0,8	18	110	5,1	10	1	31	15	1,5
2	I-Alın	1,5	—	↑	—	0,8	18,5	130	7,1	10	1	46	16	1,6
2	I-Alın	1,5	—	↑	—	1,0	18,5	125	4,2	10	1	45	17	1,7
3	I-Alın	2,0	—	↑	—	0,8	19	130	7,2	10	1	61	22	2,2
3	I-Alın	2,0	—	↑	—	1,0	19	130	4,7	10	1	62	21	2,1
4	I-Alın	2,5	—	↑	—	1,0	20	160	5,4	10	1	88	26	2,6
5	V-Alın	2,0	50	↑	KP	1,0	18,5	130	4,7	12	2	193	74	6,1
6	V-Alın	2,0	50	↑	KAP	1,0	19,5	170	5,5	12	2	240	90	7,6
8	V-Alın	2,0	50	↑	KP	1,0	19,5	170	5,5	12	2	405	210	17,4
10	V-Alın	2,5	50	↑	KAP	1,0	17	100	3,7	12	2	803	282	21,8
12	V-Alın	2,5	50	↑	KP	1,0	17,5	100	3,7	12	3	797	340	28,3
15	V-Alın	3,0	50	↑	DP; KAP	1,2	18,5	130	4,8	12	3	1290	440	36,7
					DP; KAP		19,5	160	4,2					

Tablo 33 — Alaşimsız çeliklerin MAG kaynağı için önerilen parametreler (toluk pozisyonlarında).

Yöntem : MAG Kaynağı		Malzeme : Alaşimsız Çelik										
Uygulama : Yarı Otomatik		Tel (elektrod) : SG 2 DIN 8559										
Biriştirme Türü : İç Köşe Kaynağı		Koruyucu Gaz : DIN 32526 - M 21 (% 15-25 CO ₂ , kalami Ar)										
Kaynak Pozisyonu : Tüm Pozisyonlar												
Malz. Kalınlığı	Ağız Türü	Ağız Hazırlama		Ayarlar				Tüketim				
		Aralık	Diklik Kalınlığı	Kaynak Pozisyonu	Tel Çapı	Kaynak Akımı	Tel İlerieme Hızı	Koruyucu Gaz	Paslı Sayısı	Kaynak Metal	Koruyucu Gaz	Kaynak Süresi (t)
mm		mm	mm		V	A	mm/dak	lit/dak		gim	lit/dak	dakim
2	İçköşe	—	—	Yatay	20	105	7,3	10	1	44	15	1,5
2	İçköşe	—	—	Dik (↑)	19,5	100	7,1	10	1	45	16	1,6
3	İçköşe	—	—	Yatay	22,5	215	10,8	10	1	90	14	1,4
3	İçköşe	—	—	Dik (↑)	21,5	210	9,0	10	1	86	15	1,5
3,5	İçköşe	—	—	Dik (↑)	19,5	190	4,2	15	1	100	40	2,7
4	İçköşe	—	—	Yatay	23	220	10,7	10	1	140	21	2,1
4	İçköşe	—	—	Yatay	28	290	9,2	15	1	142	26	1,7
5	İçköşe	—	—	Yatay	29,5	300	9,5	15	1	216	38	2,6
5	İçköşe	—	—	Dik (↑)	19,5	190	4,2	15	3	210	84	5,6
6	İçköşe	—	—	Yatay	29,5	300	9,5	15	1	300	53	3,5
6	İçköşe	—	—	Yatay	34	365	6,3	15	1	300	45	3,0
6	İçköşe	—	—	Dik (↑)	18	115	4,7	10	1	295	101	10,1
7	İçköşe	—	—	Yatay	29,5	300	9,5	15	3	390	69	4,6
7	İçköşe	—	—	Oluk	35	420	7,2	15	1	390	51	3,4
7	İçköşe	—	—	Dik (↑)	18	115	4,7	10	1	410	143	14,3
8	İçköşe	—	—	Yatay	29,5	300	9,5	15	3	545	97	6,4
8	İçköşe	—	—	Dik (↑)	18,5	130	4,8	10	2	548	190	18,4
10	İçköşe	—	—	Yatay	29,5	300	9,5	15	4	805	143	9,5
10	İçköşe	—	—	Yatay	34	390	6,4	15	3	802	119	7,9
10	İçköşe	—	—	Dik (↑)	19	165	4,2	15	2	822	330	22,0

Tablo 34 — Alaşimsız çeliklerin MAG kaynağı için önerilen parametreler (tüm pozisyonlarda).

İNCE TANELİ YAPI ÇELİKLERİNİN KAYNAĞI

Endüstrinin hafif çelik yapılara, yüksek basınç ve sıcaklığa dayanıklı basınçlı kaplar ve reaktörlere olan ve gün geçtikçe artan talebini karşılayabilmek amacı ile çağımızda ince taneli, yüksek mukavemetli yapı çelikleri geliştirilmiştir.

İnce taneli yapı çeliklerinde, iç yapıda, özellikle tane sınırlarında çok ince zerrecikler halinde dağılmış olarak bulunan ve ancak 1100°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda çözeltiye geçen çeşitli karbür, nitrür ve karbonitrürler ostenit bölgesindeki sıcaklıklarda dahi tane büyümesini önlerler ve bunun sonucunda da yüksek mukavemetli ve tek bir çelik malzeme grubu elde edilmiş olur.

Tüm ince taneli yapı çeliklerinde kaynaklanabilirlik açısından karbon içeriğinin % 0.20'yi aşmamasına çalışılır; alaşım elementleri de mümkün olabilen en alt limitlerde katılarak az veya sınırlı sertleşme, ince tane oluşumu, tane büyümesini önleyen nitrür ve karbonitrür zerreciklerinin ayrışması ve ısıtma işlemi arasında optimizasyona gidilerek, istenen özelliklere sahip bir çelik elde edilir.

İnce taneli yapı çeliklerinin sağladığı avantajlar şu şekilde sıralanabilir:

- Akma sınırının yüksekliği nedeni ile daha ince cidar kalınlıkları,
- Yapının ağırlığında sağlanan tasarruftan ötürü malzeme, üretim ve taşıma giderlerinden önemli ölçüde tasarruf,
- Kesitlerin incilmesi nedeni ile kaynak giderlerinden tasarruf,
- Ekonomik ve teknolojik nedenlerden ötürü konvansiyonel çelikler ile yapılması olanaksız olan pek çok konstrüksiyon türünün gerçekleştirilebilmesi.

Yalnız burada konstrüktörlerin göz ardı etmemesi gereken oldukça önemli bir husus vardır; ince taneli yapı çeliklerinin akma ve çekme mukavemetleri, çentik darbe dayanımları normal kaynaklanabilir yapı çeliklerine nazaran oldukça yüksektir, fakat elastiklik modülleri diğer bütün çelikler ile aynıdır, dolayısı ile elastiklik modülünün etkin olduğu burkulma ve senim hesaplamalarında bu çeliklerin kullanılması diğer çelik türlerine nazaran herhangi bir avantaj sağlamadıkları gibi fiyatları da oldukça pahalıdır.

İnce taneli yapı çelikleri ıslah edilmiş ve ıslah edilmemiş yapı çelikleri olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar; ıslah edilmemiş ince taneli yapı çelikleri normal tavllanmış yapı çelikleri diye de adlandırılmaktadır.

Islah Edilmemiş İnce Taneli Yapı Çelikleri

Bu tür çelikler özel durgun (gazı giderilmiş) olarak dökülürler ve çok az alaşım elementi olarak katılan V, Nb, Ti, Cr, B ve Al ile çelikte var olan veya özellikle gereken oranda ilave edilmiş olan azot ve karbonun oluşturduğu karbür, nitrür ve karbonitrürlerin mikro boyutta ayrışmasından kaynaklanmaktadır. Bu mikro alaşım elementlerinden V ve Nb akma sınırının yükselmesine en fazla etkide bulunanlardır. Özellikle Nb ilavesi (% 0.02 - 0.03) akma mukavemetini şiddetle (80-100 N/mm²) yükseltir ve özellikle bu element haddelenmiş haldeki çelik için çok önemlidir. Bu kazanç normalizasyon ısıtma işleminden sonra, ince dağılmış Nb karbonitrürlerinin koagülasyonu nedeni ile yarıya düşer.

İnce dağılmış bu karbonitrürler, alt ostenit bölgelerinde yapılan ısıtma işlemlerde dahi ostenit tane büyümesini engelledikleri gibi, ferrit çekirdeklenmesini de etkileyerek çeliğin ince taneli olmasını sağlarlar; ayrıca küçük ostenit tanelerinin kolayca perlitte dönüşmesi nedeni ile de soğuma esnasında martenzit oluşumu güçleşir.

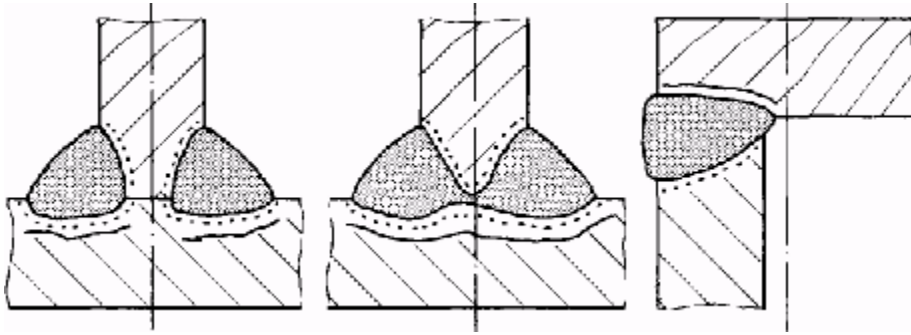
Bu tür çeliklere katılan Zirkon ve Bor, kükürtlü bileşiklerin oluşmasını etkileyerek Mn'in akma sınırını yükseltmesine yardımcı olurlar. Nikel katkısı ise düşük sıcaklıklarda çentik darbe dayanımının yükselmesini

sağlar. Özellikleri DIN 17102'de tanımlanmış olan bu tür ince taneli yapı çeliklerinin akma mukavemetleri 500 N/mm²'ye kadar yükselir.

DIN 17102'de, bu tür çelikler normal yapı çeliklerinden farklı olarak çekme mukavemeti yerine, akma mukavemeti değerleri ile simgelenirilmişlerdir. İnce taneli yapı çelikleri, geçiş sıcaklıkları oldukça düşük, tok, yüksek mukavemetli olmalarının yanı sıra, düşük karbon içerikleri nedeni ile kaynağa da uygun malzemelerdir.

İnce taneli yapı çeliklerinin en önemli dezavantajı, bunlarda haddeleme esnasında kalınlık doğrultusunda bir anizotropinin ortaya çıkmasıdır. Bu çeliklerin kalınlık doğrultusundaki mekanik özellikleri oldukça kötüdür ve bu doğrultuda zorlandıklarında lameler yırtılma adı verilen, sanki parçada katmer varmış gibi ortaya çıkan teras kırılmaları ile karşılaşılır.

Bu olay kaynak açısından çok önemlidir, kaynaklı birleştirmelerde kaynak ağızları bu tür kırılmaya yer vermeyecek biçimde dizayn edilmelidir.



Şekil 82 — Uygun olmayan kaynak ağız tasarımının lameler yırtılmaya neden olması.

Lameler yırtılmaya karşı günümüzde, bir takım metalürjik önlemler de alınabilmektedir, yalnız bunlar çeliğin maliyetini büyük ölçüde etkilemektedir.

Çeliğe vakum veya elektro-curuf yöntemi ile yeniden eritme uygulamak kalınlık doğrultusunda sünekliğin artmasına neden olmakta ve bu da lameler yırtılma tehlikesini azaltmaktadır.

Çelik Türü Simge	Malzeme No	Kimyasal Bileşim %														
		C	Si	Mn	P	S	N	Al ¹⁾	Cr	Cu	Mo	Ni	Nb	Ti	V	Nb+Ti+V
SIE 255	1.0461	0,16		0,60	0,035	0,030										
WSIE 255	1.0462	0,16		0,60	0,035	0,030										
TSIE 255	1.0463	0,16		1,30	0,025	0,025										
ESIE 255	1.1103	0,16	≤0,40		0,025	0,015										
SIE 285	1.0466	0,16		0,60	0,035	0,030										
WSIE 285	1.0487	0,16		0,60	0,035	0,030										
TSIE 285	1.0468	0,16		1,40	0,030	0,025										
ESIE 285	1.1104	0,16		1,40	0,025	0,015										
SIE 315	1.0505	0,16		0,70	0,035	0,030										
WSIE 315	1.0508	0,16		0,70	0,035	0,030										
TSIE 315	1.0508	0,16	≤0,45	1,50	0,030	0,025										
ESIE 315	1.1105	0,16		1,50	0,025	0,015										
SIE 365	1.0582	0,20		0,90	0,035	0,030										
WSIE 365	1.0565	0,20		0,90	0,035	0,030										
TSIE 365	1.0566	0,18		1,65	0,030	0,025										
ESIE 365	1.1106	0,18		1,65	0,025	0,015										
SIE 380	1.8900				0,035	0,030	0,020	0,020								
WSIE 380	1.8930				0,035	0,030										
TSIE 380	1.8910				0,030	0,025										
ESIE 380	1.8911				0,025	0,015										
SIE 420	1.8902				0,035	0,030										
WSIE 420	1.8932				0,035	0,030										
TSIE 420	1.8912	0,20	0,10	1,00	0,030	0,025								0,20		
ESIE 420	1.8913				0,025	0,015										0,22
SIE 460	1.8905			1,70	0,035	0,030										
WSIE 460	1.8935			1,70	0,035	0,030										
TSIE 460	1.8915				0,030	0,025										
ESIE 460	1.8918				0,025	0,015										
SIE 500	1.8907				0,035	0,030										
WSIE 500	1.8937				0,035	0,030										
TSIE 500	1.8917	0,21			0,030	0,025										
ESIE 500	1.8919				0,025	0,015										

1) Azot miktarı Nb, Ti veya V ile kontrol ediliyor ise Al içeriği dikkate alınmaz.
2) Cr, Cu ve Mo bileşenlerinin toplamı % 0,45'ten fazla olmamalıdır.
3) Cu alaşım elementini olarak katıldığında, % 0,30'u geçemez.
4) Ni alaşım elementini olarak katıldığında, % 0,85'i geçemez.
5) Ti alaşım elementini olarak katıldığında, % 0,20'yi geçemez.

Tablo 35 — DIN 17102'ye göre işlenmiş ince taneli yapı çeliklerinin kimyasal bileşimleri.

Lameler yırtılmayı kolaylaştıran nedenlerden bir tanesi de mangan sülfür ve bazı oksitlerin haddeleme işleminde hadde doğrultusunda ince levhalar halinde çeliğin içinde yayılmasıdır. Çelik üretiminde kükürt içeriğini asgariye indirmek veya kükürte daha affin zirkonyum, titanyum, sezyum gibi elementler katmak da lameler yırtılma eğilimini azaltmaktadır. Doğal olarak bütün bu işlemler çelik

üreticisine yeni ek tesisler veya masrafları gerektirdiğinden çeliğin maliyeti de yükselmektedir.

İslah Edilmiş İnce Taneli Yapı Çelikleri

İnce taneli yapı çelikleri grubu içinde çok önemli bir yeri olan bu türde, iç yapıda az karbonlu martenzit oluşturarak, çeliğin kaynak kabiliyetini önemli bir kayba uğramadan, akma ve çekme mukavemetleri yükseltilmiş ve tokluğa arttırılmıştır.

Az karbonlu çeliklerde Ms (martenzit başlama) sıcaklığı, 400°C gibi oldukça yüksek bir sıcaklıkta bulunduğundan, oluşan martenzit yavaş soğutulursa kendiliğinden temperlenir ve bu şekilde ıslah edilmiş olan içyapıda mukavemeti daha da yükselten ince dağılmış karbür çökeltileri bulunur ve yavaş soğuma sonucu çatlamalara neden olan dönüşüm gerilmelerinin şiddeti azalır. Bu şekilde yükselen mukavemet özelliklerinin yanısıra çeliğin gevrek kırılmaya direnci artar, temperlenmiş martenzit çelik iç yapılan içinde en düşük geçiş sıcaklığına sahip olmaktadır.

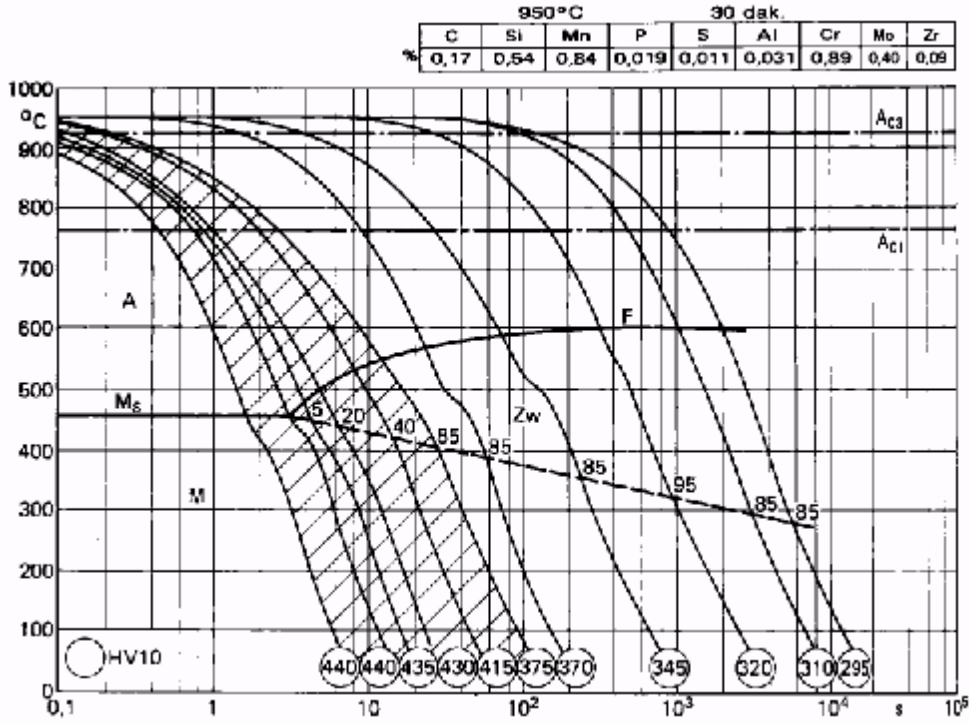
Kalın parçalarda, tüm kesitte martenzit oluşumunu sağlayabilmek için kritik soğuma hızı alaşım elementlerinin katkısı ile yükseltilir; yalnız burada katıkların miktarının Ms sıcaklığını, temperleme sıcaklığının altına düşürerek, kendinden temperlenmeyi ortadan kaldıracak değere erişmemesine dikkat edilir.

İnce taneli yapı çeliklerinin ıslahı martenzit basamağındaki dönüşüm ile ilgilidir. Martenzitin oluşum sıcaklığı yükseldikçe ve ostenitin karbon içeriği azaldıkça martenzit kafesinin kübikleşmesi sonucu iç gerilmeler azalır ve artık ostenit miktarı en aza iner. Bu şekilde oluşan martenzitin tokluğu gayet iyidir ve sertliği 400 HV'nin biraz üzerindedir.

Kaynaklanabilirlik açısından Euronorm 137 bu tür çeliklere katılan alaşım elementlerinin azami miktarlarını sınırlandırmıştır, buna göre:

C	% 0.20	Cr	% 2
Si	% 1.00	Cu	% 1.5
Mn	% 2.00	Mo	% 1
P	% 0.025	Nb	% 0,1
S	% 0.025	Ni	% 2
N	% 0.020	Ti	% 0.20
B	% 0.005	V	% 0.20
		Zr	% 0.15

Çelik üreticisi ürünün kalınlığına ve beklenen özelliklere göre, bu sınırları aşmamak koşulu ile yukarıda da belirtilmiş alaşım elementlerinden gerekenleri kullanır.



Şekil 83 — StE 690'na ait TTT diagramı.

İnce Taneli Yapı Çeliklerinin Kaynağı

İnce taneli yapı çelikleri karbon ve alaşım elementi içeriğine getirilmiş olan sınırlamalardan ötürü oldukça iyi bir kaynak kabiliyetine sahiptirler. Çeliklerin kaynak bölgelerinde 900°C'nin üzerindeki bir sıcaklığa kadar ısınmış kısımların özelliklerini etkileyen en önemli etken, kaynaktan sonraki soğuma hızıdır. Klasik yapı çeliklerinde, soğuma hızının mümkün olduğu kadar yavaşlatılabilmesi için de öntav ve yüksek enerji girdisi ile kaynak yapılır. İnce taneli yapı çeliklerinde özellikle ıslah edilmiş türlerde öntav gayet dikkatli bir biçimde uygulanmalı ve özgül enerji girdisi de belirli sınırlar arasında tutulmalıdır. İnce taneli yapı çeliklerinde soğuma hızının yavaşlaması esas metalde erime çizgisine bitişik bölgede ostenitizasyona uğramış kısımların ferrit ve yüksek karbonlu martenzit veya kaba beyrit bölgelerinden oluşmuş bir iç yapıya dönüşmesine neden olur ve bu da tokluğun azalması ve mukavemet özelliklerinin kötüleşmesi sonucunu doğurur. Bu bölgeye bitişik olan kısım da aşırı bir temperlemeye uğramış olduğundan, gene mekanik özelliklerde bir kötüleşme ortaya çıkar. Bu olay özellikle yüksek derecede öntav uygulanmış ve tek paso ile kaynak edilmiş bağlantıların ITAB'inde kendini hissettirir. Çok pasolu kaynak halinde ise her paso, bir önceki pasonun kaynak bölgesine bir temper uyguladığından kaynak bölgesinde tek paso haline nazaran bir iyileşme görülür.

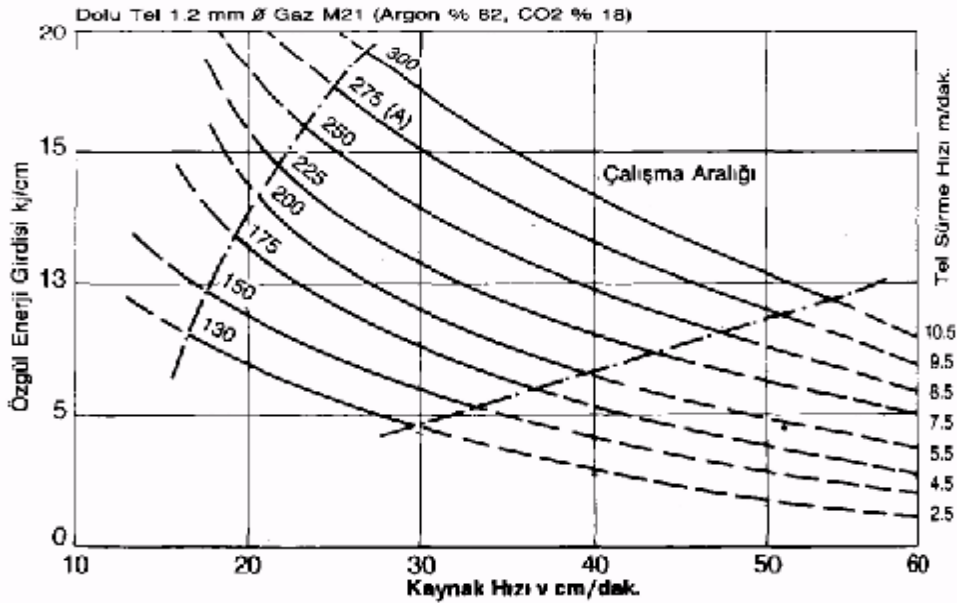
tutabilmek için bu üç etkenin bir arada muteala edilmesi gereklidir.

Çeliklerin kaynak bölgesinin özelliklerine etkiye bakımından 800 ilâ 500°C arasındaki soğuma süresi ($t_{8/5}$) çok önemlidir. Bu sürenin azalması sertliğin ve mukavemetin artmasına buna İcarsın çatlama eğiliminin yükselmesine neden olur.

Çelik üreticileri ince taneli yapı çelikleri için uygun $t_{g/5}$ değerini çeliğin sertifikasında belirtirler.

Kaynak Yöntemi	İzafi	Isıl
Etkinlik		
UP	1	
E	0,8	
MIG/MAG	0,7/0,85	
WIG/TIG	0,65	

Tablo 37- Kaynak yöntemlerine göre izafin ısıl etkinlik katsayısı.




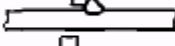
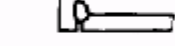

Şekil 84 — MAG kaynağında özgül enerji girdisi ve kaynak parametreleri arasındaki ilişki

Rosenthal denkleminden türetilmiş olan aşağıdaki bağıntılar yardımı ile $t_{8/5}$ büyük bir yakınsaklıkla hesaplanabilmektedir; ayrıca bu konuda hazırlanmış abaklar da vardır.

Uygulamada, parça kalınlığı göz önünde bulundurularak saptanmış bir öntav sıcaklığı ve özgül enerji girdisi yardımı ile çelik için uygun $t_{8/5}$ elde edilmiş olur.

İnce taneli yapı çeliklerinin kaynağında özgül enerji girdisi çok önemli bir konu olup, kaynak akım şiddeti ile ark geriliminin çarpımının kaynak hızına oranı olarak tanımlanır ve E, kJ/cm olarak gösterilir.

Uygulamada özgül enerji girdisi için ortalama bir değer olarak saç kalınlığının mm'si başına 1 kJ/cm seçilir; örneğin 25 mm kalınlığında bir saç için E = 25 kJ/cm değerinde bir özgül ısı girdisi uygulanır.

Kaynak Ağızı	Ağız Faktörü İki Boyutlu Isı Dağılımı	Üç Boyutlu Isı Dağılımı
	1	1
	0,45 - 0,67	0,67
	0,9	0,67
	0,9	0,9

$$t_{8/5} = \frac{1}{2\pi \lambda} \cdot \eta E F_2 \left(\frac{1}{500 - T_0} - \frac{1}{800 - T_0} \right)$$

$$t_{8/5} = \frac{1}{4\pi \lambda e D} \cdot \eta 2E^2 \frac{1}{d^2} \cdot F_2 \left(\frac{1}{500 - T_0} \right)^2 \left(\frac{1}{800 - T_0} \right)^2$$

$$E = \frac{U \cdot I}{v}$$

λ : Çeliklerde ısı iletim katsayısı J/s cm °C
 η : Kaynakta ısı il etkinlik (Verim)
 E : Özgül Isı Girdisi J/cm
 U : Ark gerilimi V
 I : Akım Şiddeti A
 v : Kaynak Hızı cm/s
 F_2 : Ağız Faktörü (Üç boyutlu ısı dağılımında)
 T_0 : Çalışma sıcaklığı °C
 d : Çeliğin özgül ağırlığı g/cm³
 e : Çeliklerin özgül ısı J/g °C
 d : Sac Kalınlığı
 F_2 : Ağız Faktörü (İki boyutlu ısı dağılımında)

Uygulamada, parça kalınlığı göz önünde bulundurularak saptanmış bir ön tav sıcaklığı ve özgül enerji girdisi yardımı ile çelik için uygun $t_{8/5}$ elde edilmiş olur.

Tablo 38- İki ve üç boyutlu ısı dağılımında ağız faktörü.

İnce taneli yapı çeliklerinin kaynağında ortam sıcaklığı 5°C'nin altında olduğu hallerde parçalara muhakkak bir öntav uygulanıp uygulanmama konusunda parça kalınlığı ve malzemenin akma sınırı bir kriter olarak kullanılır. Buna göre öntav ancak aşağıda belirtilmiş olan kalınlıkların üzerindeki kalınlıklardaki parçalara uygulanır.

Akma Sınırı/(N/mm ²)	Kalınlık (Azami)/(mm)
255 - 285	50
315 - 355	30
385 - 420	20
460 - 500	12
590 ve yukarısı	8

İnce taneli yapı çeliklerine ark kaynağı yöntemleri, öntav sıcaklığı, özgül enerji girdisi ve 800 ilâ 500°C arasındaki soğuma hızı ($t_{8/5}$) sınırlarına dikkat etmek koşulu ile kolaylıkla uygulanabilir. Günümüz endüstrisinde bu tür malzemelerden yapılmış kalın kesitli parçaların kaynağında tozaltı, ince kesitli

parçaların kaynağında ise gazaltı yöntemleri tercih edilmektedir.

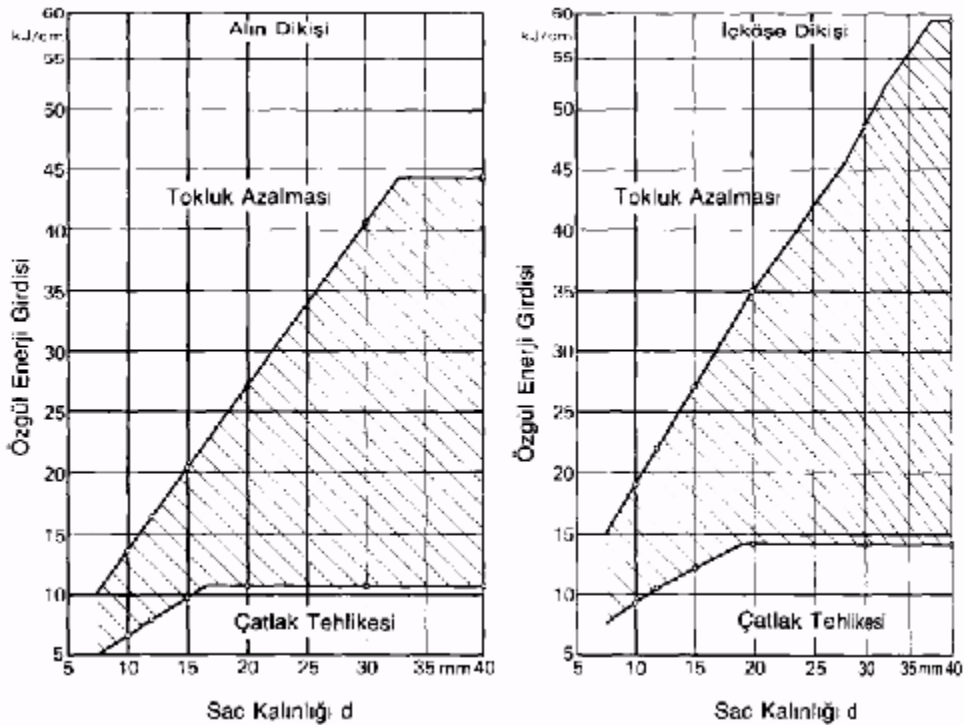
İnce taneli yapı çeliklerinin kaynağında, bazık karakterli örtülü elektrodlar da, günümüzde gittikçe azalan bir oranda da olsa, önemli bir uygulama alanına sahiptir. Bu tür çeliklere uygun örtülü elektrodların özellikleri DIN 8529'da ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Bu tür çeliklerin kaynağında kullanılan elektrodların örtülerinin bazık karakterli ve dolayısı ile de higroskopik olmaları nedeni ile bunların kullanılmadan önce muhakkak tavlانیp kurutulmaları gerekmektedir. Zira örtüdeki nemin, kaynak esnasında ayrışarak hidrojeninin kaynak metaline geçmesi sonucu çatlaklar oluşmaktadır. Akma sınırı 355 N/mm²'den küçük olanlar 250°C'de, daha büyük olanlar ise 350°C'de asgari iki saat süre ile tavlانarak kurutulmalıdır.

Örtülü elektrodlar ile yapılan ark kaynağında ark gerilimi ve akım şiddeti çok dar bir aralık içinde değiştiğinden, özgül enerji girdisi ancak kaynak hızının değiştirilmesi ile kontrol altında tutulabilir.

Kaynaklı konstrüksiyonlarda ekonomikliğın ve süratin ön plana çıkması sonucu son yıllarda ince taneli yapı çeliklerinin birleştirilmesinde MAG kaynağı büyük bir önem kazanmıştır.

Burada aktif bir gaz olan CO₂ kullanılabilirdiği gibi, iki üç komponentli karışım gazları da yaygın bir uygulama alanına sahiptir.

MAG kaynak yönteminde özgül enerji girdisi, tel çapı, tel sürme hızı, kaynak hızı ve ark gerilimi değiştirilerek kontrol altında tutulabilmektedir. Bu yöntemin otomasyona ve özellikle kaynak robotları tarafından kullanıma çok yatkın olması, uygulama alanının genişlemesine yardımcı olmaktadır.



Şekil 85 — ŞtE 460 çeliğinin kaynağında saç kalınlığı ve özgül enerji girdisi arasındaki ilişki.

($T_0, 150^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{ağz}} \text{ max} = 25\text{s}$; $t_{\text{BGE}} \text{ min} = 6\text{s}$)

İnce Taneli Yapı Çeliklerinin Kaynağında, Dikkat Edilmesi Gereklı Hususlar

İnce taneli yapı çeliklerinin kaynağında ağız hazırlanırken, ağız açısının mümkün olduğu kadar küçük seçilmesine dikkat edilmektedir; geniş ağız açıları yüksek açısız çarpılmaların ortaya çıkmasına ve çatlama tehlikesinin artmasına neden olur. Ayrıca fazla miktarda kaynak metali sarfiyatı dolayısı ile de geniş kaynak ağızları ekonomik değildir.

Kaynak ağızlarının termik kesme yöntemleri ile hazırlanması halinde ağız kenarlarında sertleşme ortaya çıkabilir; bu bölgeler kaynak esnasında yeniden dönüşüme uğrayacakları için büyük bir tehlike göstermezler. Termik kesme işlemi kaynak işlemi esnasında çeliğe uygulanacak olan öntav sıcaklığında gerçekleştirildiğinde, bu sertleşme ortadan kalkar. Kaynak işleminden önce, termik kesme sonucunda ağız yüzeylerinde görülen oksit tabakaları çok iyi bir biçimde temizlenmelidir.

Kaynak esnasında daima çok paso yöntemi uygulanmalıdır. Her sırada ilk paso ağız yan yüzüne çekilmeli ve bu şekilde bunun yanına çekilen pasonun ilk pasoya ve onun ITAB'ına bir temper etkisi yapması sağlanmalıdır.

Çelik		Tel Elektrod							
Tür	Çekme Muk. N/mm ²	SG 1	SG 2	SG 3	SG Mo	SG Ni 1	SG Ni 2.5	SG NiMo 1	SG NiCrMo 2.5
StE 26		•	•	•	•				
WSIE 26	360-480	•	•	•	•				
TTSIE 26			-40 ⁰ C		-40 ⁰ C	•	•		
StE 29		•	•	•	•				
WSIE 29	390-510	•	•	•	•				
TTSIE 29			-40 ⁰ C		-40 ⁰ C	•	•		
StE 32		•	•	•	•				
WSIE 32	440-560	•	•	•	•				
TTSIE 32			-40 ⁰ C		-40 ⁰ C	•	•		
StE 36		•	•	•	•				
WSIE 36	490-630	•	•	•	•				
TTSIE 36			-40 ⁰ C		-40 ⁰ C	•	•		
StE 39		•	•	•	•				
WSIE 39	500-650	•	•	•	•				
TTSIE 39			-40 ⁰ C		-40 ⁰ C	•	•		
StE 43		•	•	•	•				
WSIE 43	630-680	•	•	•	•				
TTSIE 43			-40 ⁰ C		-40 ⁰ C	•	•		
StE 47			•	•	•	•			
WSIE 47	560-730		•	•	•	•			
TTSIE 47			-40 ⁰ C		-40 ⁰ C	•	•		
StE 51				•	•	•			
WSIE 51	610-780				•	•			
TTSIE 51						•	•		
Akma Sınırı N/mm ²									
>580	690-840							•	•
>640	740-890							•	•
>690	790-940							•	•

Tablo 39 — İnce taneli yapı çeliklerinin kaynağı için uygun kaynak telleri.

Kaynak pasoları mümkün olduğu kadar özgül enerji girdisine ve $t_{8/5}$ 'e uygun olarak ince çekilmelidir. Kaynak bittikten sonra hemen, esas metale değmeyen sadece kaynak dikişini bir kapak gibi örten bir temper pasosunun çekilmesi ITAB'ın özelliklerini geliştirir. Bu kapak pasosu taşlama veya kaynak öntav sıcaklığında oksijenle rendeleme yöntemi ile sökülmalıdır. Bu işlem için karbon elektrod kullanılması önerilmez.

Yüksek zorlamalara maruz kaynak bağlantılarında yanma olukları taşla temizlenmeli ve uygun öntav

sıcaklığında kaynakla yeniden doldurulmalıdır.

8 mm'den daha kalın parçalara montaj yardımcı kaynakları en az 150°C'lik bir öntavdan sonra uygulanmalı ve montaj yardımcı parçaları sadece az karbonlu alaşımsız çeliklerden yapılmalıdır.

Montaj puntaları esas metal ile uyum gösteren bir elektrod kullanarak yapılmalı ve bu kısımlar çatlak oluşumuna karşı çok iyi kontrol edilmelidir. Puntaların sonradan temizlenmesinin arandığı hallerde, daha düşük mukavemetli, sünek elektrodlar kullanılabilir. Hatalı kaynak dikişlerinin veya çatlakların özellikle ITAB'de zımpara taşı ile temizlenmesinde yanma eğilimi göstermeyen taşlar kullanılmalı ve zımpara taşının fazla bastırılarak taşlanan kısmın aşırı derecede ısınmasına neden olunmalıdır.

Kaynak esnasında elektrod hiçbir zaman kaynak ağzının dışında tutuşturulma-malıdır.

Kaynak sonrası konstrüksiyona gerektiğinde gerilme giderme tavı uygulanır. Bu tür çeliklerde bazı hallerde işlem esnasında gerilme giderme tavı çatlakları diye adlandırılan bir çatlaklar ortaya çıkar.

Gerilme giderme tavı çatlakları bu tür çeliklerde, kaynak esnasında 1150°C'nin üzerindeki sıcaklık derecelerine kadar ısınarak tane irileşmesine uğramış bölgelerde, gerilme giderme tavı (450-680°C) esnasında ortaya çıkar.

Tane irileşmesine uğramış bölgede, alaşım elementlerinin oluşturduğu ve tane büyümesine mani olan nitrür ve karbo-nitrürler çözülür ve kaynak sonrası soğuma esnasında da demir karbür haricinde hiçbir çökecek zaman bulamaz. Gerilme giderme tavı esnasında yeniden oluşan karbür ve karbo-nitrürler bu iri tanelerin sınırlarına çökler ve çökme işlemi iç gerilemelerin yardımı ile hızlanır. Bu çökelmeler tane sınırlarında bir yumuşama oluştururlar.

Gerilme giderme ısı işlemi esnasında iç gerilmelerin oluşturduğu elastik şekil değişimi, sıcaklıktan ötürü düşen akma sınırının yardımı ile plastik şekil değişimine dönüşür. Bu şekil değişimi daha uygun bu yer olan tane sınırlarında gerçekleşir. İri tanelerde tane yüzeyi, ince taneli bölgelere nazaran daha ufak olduğundan buradaki şekil değişimi daha şiddetli olur ve bunun sonucunda taneler arası ufak yerel boşluklar ortaya çıkar ve zamanla bunlar büyüyerek tanelerin birbirlerinden ayrılmasına neden olurlar.

Gerilme giderme tavı çatlakları, sürünme çatlakları gibi taneler arası türden çatlaklardır; her doğrultuda oluşabilirlerse de genellikle en şiddetli gerilmeye dik yönde gelişirler.

Günümüz endüstrisinde ince taneli yapı çelikleri çok geniş bir uygulama alanına sahip olup özellikle buhar kazanlarından nükleer reaktörlerin basınçlı kaplarına kadar çok çeşitli yerlerde başarı ile kullanılmakta ve kurallarına dikkatle uyularak yapılan kaynaklı bağlantılarda hiçbir problem göstermemektedirler.

PASLANMAZ ÇELİKLERİN KAYNAĞI

Paslanmaz çeliklerin hemen hemen bütün türleri MIG yöntemi ile kolaylıkla kaynatılabilirler. 303, 416, 416Se, 430 ve 430FSe gibi yüksek miktarda kükürt ve selenyum içeren paslanmaz çelikler ile yüksek oranda karbon içeren 440 türü çeliğin kaynatılması oldukça zordur. Paslanmaz çelikleri diğer çeliklerden ayıran en önemli özellik krom içeriklerinin çok yüksek (% 12) olmasıdır. Çeliğin yüzeyini kaplayan refrakter ve tönas kromoksit tabakası çeliği korozyondan ve paslanmaktan korur. Ostenitik, ferritik ve

martenzitik olarak üç ana grupta toplanan paslanmaz çeliklerin kaynağında ortaya çıkan metalurjik olaylar, çeliğin bileşimi ve soğuma hızı ile ilgili olduğundan, kaynak yönteminin türü bu konuda büyük bir etkiye bulunmaz.

Paslanmaz çeliklerin MIG kaynağında, diğer çeliklere nazaran malzemenin ısı iletkenliğinin düşük, ısı genleşmesinin fazla ve erime sıcaklığının daha düşük olması nedeni ile yumuşak çeliklerden daha düşük akım şiddeti ile çalışılır. Paslanmaz çeliklerin kaynağında çeşitli ark türleri de kullanılabilir, bilhassa son yıllarda distorsiyon ve çarpılmayı azalttığından darbeli akım yöntemi çok geniş çapta uygulanmaktadır.

İnce saçların kaynatılmasında, zor pozisyonlarda ve geniş kök aralıklarında köprü kurmada kısa ark daha iyi sonuçlar vermektedir. ABD'de bu ark türü ile yapılan kaynakta % 90 Helyum, % 7.5 Argon ve % 2.5 CO₂ karışım gazı kullanılmaktadır.

Saf argon veya % 1 -2 O₂ içeren argon karışım gazları sprey ark ile kaynak yapmak için uygundur. Bu ark türü tek veya çok pasolu kaynakların yatay oluk pozisyonu için çok uygundur, bilhassa argon ve oksijen karışımı kullanılması halinde banyonun ıslanması ve arkın stabilitesi daha iyi sağlanmaktadır.

CO₂, kaynak metalinde silisyum ve mangan kaybına ve karbon miktarının yükselmesine neden olduğundan paslanmaz çeliklerin kaynağında koruyucu gaz olarak kullanılamaz.

Kaynak işleminde sol ve sağ kaynak yöntemleri uygulanabilir. Sol kaynak yöntemi banyo ve arkın daha rahat bir şekilde görülebilmesini sağlar, yalnız bu yöntem ancak yaygın biçimde dikişler gerekli olduğu zaman uygulanır. Sağ kaynak daha derin nüfuziyetli dikiş eldesine yardımcı olur ve acemi kaynakçılar bu yöntem ile daha başarılı sonuçlar alırlar.

Günümüz endüstrisinde çok yaygın olarak kullanılan paslanmaz çelikler genellikle üç grup altında incelenir.

- a) Martenzitik Kromlu Paslanmaz Çelikler
- b) Ferritik Kromlu Paslanmaz Çelikler
- c) Ostenitik Krom-Nikelli Paslanmaz Çelikler

Martenzitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı

Kromlu martenzitik paslanmaz çelikler, % 12-17 Cr ve % 0.1-1.2 C içerirler ve kritik soğuma hızları çok yavaş olduğundan sakin havada soğuma halinde bile yapılarında martenzit oluşur.

Bu çeliklerde ısının tesiri altında kalan bölgede ani soğumanın etkilerini yoketmek çok zor olduğundan kaynak kabiliyetleri çok zayıftır ve metalurjik yapılarından ötürü gerek elektrik ark gerekse de gazaltı kaynak yöntemleri ile birleştirilmelerinde ciddi sorunlar ortaya çıkar. Bu tür paslanmaz çeliklerin çok gereksinme duyulmadıkça kaynak edilmelerinden kaçınılır. Bu yüzden genellikle döküm yoluyla şekillendirilmeleri tercih edilir. Ancak ferritik kromlu ve ostenitik krom-nikelli paslanmaz çelikler çok tercih edilen ve çeşitli kaynak yöntemleriyle daha az problemlili kaynak edilen çeliklerdir. Yüksek korozyon dirençleri ve diğer özellikleri nedeni ile de kullanma amaçları daha uygundur. Bu çeliklerin MIG

kaynağı üzerinde durmak daha sağlıklı olacaktır.

Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı

Kromlu ferritik paslanmaz çelikler % 16-30 Cr ve % 0.05-0.25 C içerirler ve bu bileşimlerinden ötürü iç yapılarında ostenit oluşumu yok denebilecek kadar azdır ve soğuma esnasında ostenit-ferrit dönüşümü yoktur, dolayısı ile de su verme yolu ile sertleştirilemezler. Soğuma esnasında martenzit oluşumu tehlikesi bulunmadığından, kaynak kabiliyetleri martenzitik türe nazaran daha iyidir.

Ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağında en büyük sorun, malzemenin 1150°C'nin üzerinde tane büyümesine karşı olan eğilimidir. Kaynak esnasında ısının tesiri altında kalan bölgenin bir kısmı bu sıcaklığa erişir ve buralarda tane büyümesi başlar. Kromlu ferritik çelikler normal olarak ince taneli sünek bir yapıya sahiptirler, iri taneli hale geçince yapı gevrekleşir, çentik darbe mukavemeti düşer, geçiş sıcaklığı yükselir ve bu iri taneleri de ısıtma işlemleriyle tekrar ince hale getirmek mümkün değildir.

Ferritik paslanmaz çelikler muhakkak bir miktar karbon içerirler. Karbon, ferrit içinde çok az çözülebildiği için yapıda incecik dağılmış karbürler halinde bulunur. Kaynak esnasında yüksek sıcaklıktan ötürü bu karbürlerin bir kısmı, etrafındaki ferritle reaksiyona girer ve küçük yerel ostenit bölgeleri oluşturur ve ortaya çıkan ostenit, irileşen ferrit tanelerinin çevresinde bir ağ şeklinde yer alır. Bu çeliklerin kaynağında öyle bir kaynak yöntemi uygulanmalıdır ki ısının tesiri altındaki bölge 1150°C'yi aşan sıcaklıklarda mümkün merteye kısa süre kalmalıdır, bu ise ancak kaynağın çok kısa pasolarla yapılması ve hemen soğutulması ile mümkündür. İri taneli yapı teorik olarak sıcak döğme ile (örneğin sıcak olarak çekiçleme) düzeltilebilir. Fakat yüksek sıcaklıkta daima bu işlemi gerçekleştirmek mümkün değildir. Özellikle bu çekiçleme işlemi parça soğukken kesinlikle yapılmamalıdır. Kaynak metalinde tane büyümesinin neden olduğu gevreklik, ostenitik elektrod kullanılarak giderilebilir. % 0.1'-den fazla C içeren esas metal halinde ise, % 25 Cr ve % 20 Ni içeren elektrodlar tavsiye edilir.

Bu tür çeliklerde ortaya çıkabilecek bir diğer olay da sigma fazının oluşumudur. Ferrit ve ostenite nazaran çok kırılğan ve gevrek olan sigma fazı krom ve demirin metaller arası bileşimidir. Röntgen difraksiyonu ile yapılan araştırmalara göre, sigma fazı bileşiminde yaklaşık % 52 Cr ve % 48 Fe içermektedir. Sigma fazı anti-magnetik olup 700-800 Vickers sertliği civarındadır. Sigma fazı temper gevrekliğinde sorun yaratır. Temper gevrekliği ya da 475°C gevrekliği olarak tanımlanan olay, ferritik çeliklerin 450-525°C civarında ısıtılıp, bir müddet bekletilmesi sonucu ortaya çıkan sertleşme ve gevrekleşme olayıdır. Temper gevrekliği tanelerarası korozyonda da olumsuz etki yapmakta ve malzeme nitrik aside karşı direncini kaybetmektedir. Temper gevrekliğini ortadan kaldırmak için parçayı kısa süreli olarak 700-800°C'de tavlama ve bunun ardından suda soğutmak gereklidir.

Krom ve karbon oranı yüksek olan ferritik çeliklerin kaynağında 200°C'lik bir öntavlama uygulanabilir.

Ferritik kromlu paslanmaz çeliklerin MIG kaynağı normal koşullarda doğru akımda elektrod (tel) pozitif kutuba bağlanarak gerçekleştirilir. Bu tür paslanmaz çeliklerin kaynağında sprey ark kullanılması halinde Argon + % 1 Oksijen karışımı koruyucu gaz ve kısa ark için ise Helyum + Argon

+% 2 Karbondioksit koruyucu gaz karışımı tavsiye edilir. Uygulamada en iyi koruyucu gaz, arkta metal taşınımının biçimi kadar kaynak edilecek esas malzemeye de bağlıdır.

Kısa ark ile çalışma, düşük ark gerilimi ve düşük kaynak akımı ile küçük çaplı elektrod (tel) kullanılmasını gerektirir. İnce kesitlerin kaynağı için çok uygundur. Ferritik kromlu paslanmaz çeliklerin kaynağında kısa ark uygulamasının bir avantajı da ısının tesiri altındaki bölgeye (ITAB) düşük ısı girdisi verilmesi dolayısı ile tane irileşmesinin önlenmesidir. Ancak, düşük ısı girdisi kifayetsiz erimeye neden olabilir ve sonuç olarak da kısa arkın kullanımı kritik olmayan uygulamalarla sınırlıdır. Bu ark türü ferritik kromlu paslanmaz çelik için ostenitik ilave metal (tel) kullanıldığı zaman da avantajlıdır, zira düşük ısı girdisi ile % 10 ve daha düşük erime oranları elde edilir.

Sprey ark uygulamasında, ferritik kromlu paslanmaz çeliklerin ve farklı paslanmaz çeliklerin birleştirilmelerinde her zaman uygun ostenitik ilave metal (tel) mevcut olmayabilir, zira sprey ark genellikle büyük çaplı teller ve kısa ark halinden çok daha yüksek gerilim ve kaynak akımları gerektirir. Bu yöntem kısa arka çalışmaya nazaran nufuziyet azlığı ve kifayetsiz erimeye karşı daha emin sonuçlar verir; ancak yöntem normalde dikey ve yatay pozisyonlar için uygundur.

Darbeli ark uygulamasında daha büyük çaplı teller, bütün kaynak pozisyonlarında kullanılabilir ve kaynak banyosu daha iyi kontrol edilebilir. Bu uygulamada doldurma oranının sprey ark haline nazaran daha düşük olmasına karşın, daha az toplam ısı girdisi sayesinde bu tür paslanmaz çeliklerin kaynağında ortaya çıkan tane irileşmesi minimuma indirilmiş olur.

Krom-Nikelli Ostenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı

Bu tür paslanmaz çelikler bileşimlerinde % 12-25 karbon ve % 8-25 Nikel içerirler. Nikel kuvvetli bir ostenit yapıcı olduğundan, bu çeliklerde katılaşma esnasında ortaya çıkan ostenit oda sıcaklığının altındaki sıcaklık derecelerinde dahi dönüşmeden kalır. Soğuma esnasında ostenit ferrit dönüşümü olmadığından bu tür paslanmaz çelikler de su verme yoluyla sertleştirilemezler. Bu grup paslanmaz çelikler içinde en fazla tanınanı 18/8 çeliği diye isimlendirilen bileşiminde % 18 Krom ve % 8 Nikel içeren türdür. Antimagnetik olan bu tür paslanmaz çeliklere, ekseri hallerde korozyon mukavemetini arttırmak gayesi bir miktar da Molibden katılır. Bu çeliklerin kaynak kabiliyeti açısından en önemli özellikleri şunlardır:

- a.- Isı iletme katsayıları oda sıcaklığında az alaşımlı ve sade karbonlu çeliklerin 1/3'ü kadardır.
- b.- Isıl genleşme katsayıları sade karbonlu ve az alaşımlı çeliklerin takriben 1.5 mislidir, yani % 50 daha fazladır.
- c.- Alaşımsız karbonlu çelikler düşük bir elektrik iletme direncine sahiptirler, bu tür paslanmaz çeliklerde ise bu değer 5 ilâ 7 misli daha büyüktür.

Bu özellikler dolayısı ile krom nikelli çeliklerin kaynağında, sade karbonlu çeliklerin kaynağından daha fazla kendini çekme meydana gelir. Kaynak dikişinin soğuması esnasında büyük büzülmelerin ortaya çıkması sonucunda, bu bölgede oluşan şiddetli iç gerilmeler çatlama tehlikelerine yol açar. Bu tür

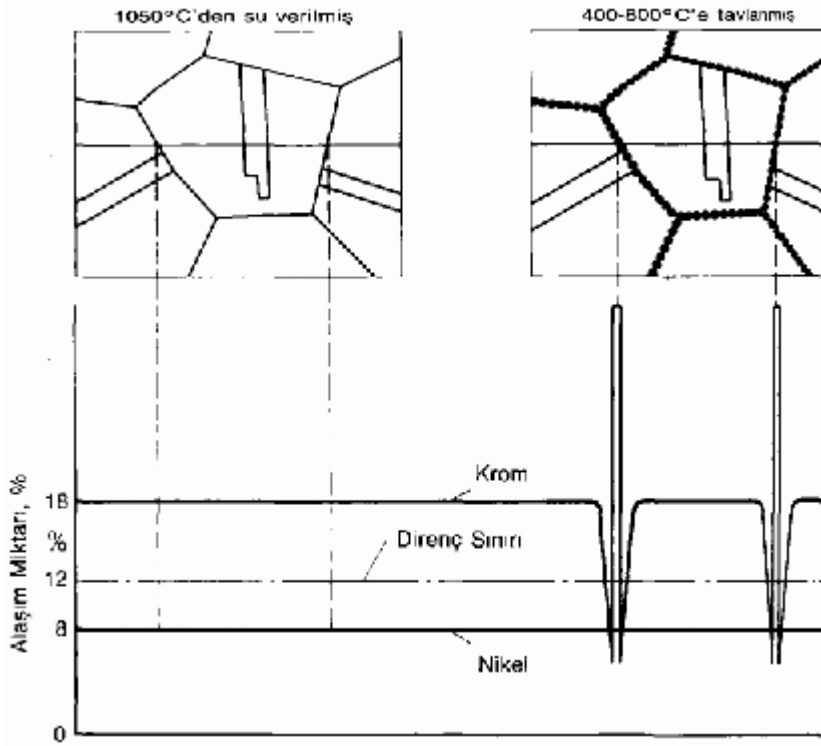
paslanmaz çeliklerin bilhassa çift taraflı içköşe dikişlerinde sıcak çatlakların oluşma olasılığı çok fazladır.

Bu fiziksel olayların yanısıra iki önemli metallürjik etken de krom nikelli ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynağını zorlaştırır. Bunlardan birincisi delta ferrit fazının oluşumu, diğeri ise karbür çökmesi olayıdır.

Krom nikelli ostenitik paslanmaz çelikler sıvı halden itibaren katılaşmaya başlayınca ostenit ve δ ferrit taneleri oluşur. Bu ferrit ostenitin dönüşümü sonucunda ortaya çıkan ferritten farklıdır. Katılaşma normal olarak endüstride ingota dökülen bir sıvı metalin katılaşmasında görülen bir hızla seyrettiği zaman bu tür çeliklerin yapısı ostenit taneleri arasına serpiştirilmiş δ ferrit taneciklerinden oluşur, ferrit bu malzemeyi sıcak dövme ve haddeme için uygun olmayan bir duruma sokar; sıcak şekil değiştirme esnasında malzemede çatlaklar oluşur. Bu olaya mani olabilmek için, katılaşan krom nikelli ostenitik paslanmaz çeliklerde soğumanın çok yavaş bir hızla seyretmesi gereklidir. Bir başka çözüm yolu da bu çeliğin uzun bir süre 1150°C'de tavlınması ve hızlı soğutulmasıdır. Ostenit yapıcı elementler olan nikel ve mangan miktarının çeliğin bileşiminde artması δ ferrit oluşum olasılığını zayıflatır.

Ostenitik krom nikelli paslanmaz çelikler oda sıcaklığında ve daha düşük sıcaklıklarda mutlak olarak içyapı bakımından kararlı değildirler. Bu çeliklerde aşırı soğuk şekil değiştirme, özellikle dövme sonucunda kısmen martenzitik bir yapı elde edilebilir.

Özellikle 18/8 türü gibi bazı krom nikelli ostenitik paslanmaz çelikler 450°C ilâ 850°C arasında bir sıcaklığa kadar ısıtılıp o sıcaklıkta tutulduklarında bir karbür çökmesi meyli kendini gösterir. Bu tür çelikler eldeleri sırasında krom ve karbonun ostenit içinde çözüldüğü 110°C sıcaklığından itibaren hızla soğutulurlar; bu şekilde bu elementlerin çökme tehlikesi ortadan kalkmış olur ve oda sıcaklığında da karbonun diffüzyon hızı çok düşük olduğundan, servis esnasında karbür ayrışmasının meydana gelme olasılığı yoktur. Sıcaklığın 450°C'm'n üzerine çıkması ile karbonun diffüzyon hızı, karbonu tane sınırlarından dışarı çıkartacak derecede artar. Tane sınırlarında biriken karbon, kroma karşı yüksek affinitesinden dolayı bu bölgede kromlu birleşerek krom karbür oluşturur. Krom karbürün ağırlık olarak % 90'ını krom meydana getirdiğinden çok az bir karbon dahi bulunsa, tane sınırlarında kromca bir zayıflama ortaya çıkar. Bunun sonucu olarak malzeme korozif bir ortamda bulunduğu zaman, kromca zayıflamış olan tane sınırlarında korozyon meydana gelir. Bu şekilde ortaya çıkan bu tanelerarası korozyon bütün malzemeyi çok kısa bir zaman zarfında kullanılamaz hale getirebilir; çeliğin karbon içeriği arttıkça da bu olay şiddetlenir.



Şekil 86 — Ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerde tane sınırlarında krom karbür çökelmesine bağlı olarak krom azalması (şematik).

Krom-nikelli ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynağı esnasında eriyen bölge çok kısa bir zamanda katılaşır ve hızla soğuduğundan ve elektrod olarak kullanılan alaşımların karbon içeriği de çok düşük olduğundan, kaynak metalinin için karbür çökelme olayı tehlikesi yoktur. Buna karşın ısının tesiri altında kalan bölge kaynak süresi kadar 500-900°C sıcaklıkları arasında tavlı olarak kalmakta ve aynı zamanda da burası esas metal olduğu için, karbon içeriğinin yüksek olması halinde, ostenit tane sınırlarında tanelararası korozyonun başlamasına neden olacak ve karbür çökelmesi olayı meydana gelecektir. Belli bir karbon içeriği için, karbür çökelmesi olayının şiddeti sıcaklık ve zamana bağlıdır. Çökelme başlamadan evvel sıcaklıkla değişen bir kuluçka periyodu vardır, sıcaklık ve çeliğin karbon içeriği arttıkça bu süre kısalır. Her karbon içeriği için, karbür çökelme olayının en kısa süre zarfında başladığı bir sıcaklık vardır ve buna kritik sıcaklık denir.

Karbon içeriği %	Kuluçka periyodu dakika	Kritik sıcaklık °C
0.03	11	650
0.05	7	650
0.06	2.5	670
0.08	0.3	750

Tablo 40- Çeşitli karbon içeriğindeki paslanmaz çelikler için kritik.

Tek paso ile yapılan elektrik ark kaynağında 650°C ilâ 750°C arasındaki sıcaklığa ısının tesiri altında kalan bölge bir dakikadan daha az bir süre maruz kalır, buna karşın çok pasolu kaynak halinde bu süre üç dakikanın üzerine çıkar ve dolayısı ile karbür çökeltme tehlikesi baş gösterir.

Karbür çökeltmesinin meydana gelebilmesi için karbonun belirli bir miktarın üzerinde olması lazımdır, yukarıda verilmiş tablodan da görüldüğü gibi karbon içeriğinin azalması, kuluçka periyodunu uzattığından bu tehlike ortadan kalkacaktır. Bu bakımdan kaynakla birleştirilmesi gereken krom-nikelli ostenitik paslanmaz çeliklerin karbon içeriği azami % 0.6, tercihan % 0.03 civarında olmalıdır.

Bu konuda uygulanan bir başka yöntem de çeliğin stabilizasyonudur. Bu da, karbonun kroma karşı affinitesinden daha yüksek bir affiniteye sahip bir elementin, çeliğin bileşimine katılması ile gerçekleştirilir; bu şekilde çeliğin bileşimindeki karbonla bu yeni element karbür oluşturur ve dolayısı ile icyapının bazı bölgelerinde ortaya çıkan krom azalması meydana gelmez. Stabilizasyon için ilave edilen elementler titanyum, niobyum ve tantal'dır. Bunların oluşturduğu karbürler, tane sınırları boyunca değil, ostenit taneleri içinde ince zerrecikler halinde dağılmış olduklarından, çeliğin mekanik davranışlarında da bir değişiklik görülmez. Bu stabilizasyonun gerçekleşebilmesi için ilave edilen titanyumun karbonun 4 misli, niobyumun 8 ilâ 10 misli, tantalın 16 misli miktarda olması gereklidir.

Çeliğin stabilizasyonu için genellikle, maliyet açısından titanyum tercih edilir, elektrodların stabilizasyonu için ise, titanyumun kaynak arkında büyük miktarda kaybindan ötürü niobyum kullanılır. Stabilize edilmiş çelikler için de, taneler arası korozyona karşı tam manası ile dayanıklıdır denilemez, zira niobyum, titanyum ve tantal karbür 1300°C'nin üzerinde çözülür ve karbon serbest kalarak krom karbür oluşturabilir. Bu sıcaklığa kadar erişen bölge çok dar olduğu için, erime çizgisine yakın bir yerde çok dar bir bölge korozyona karşı mukavemetini yitirir ve bu bölgede oluşan korozyona bıçak izi etkisi veya korozyonu denir.

Kaynak dikişinde ısının tesiri altında kalan bölgede veya esas metalde karbür çökeltmesinin meydana geldiği hallerde, şayet parçanın boyutları ve konstrüksiyonu uygun ise, bir tavlama yardımı ile de bu olayın olumsuz etkileri giderilebilir. Parça 1100°C'ye kadar tavlаныp, suya sokularak aniden soğutulursa, yüksek sıcaklıkta ostenit içinde çözülmüş bulunan karbürler hızlı soğuma esnasında yeniden oluşamazlar. Tane sınırlarına çökelen krom karbürün olumsuz etkilerini yok etmek bakımından bu yöntem çok iyi netice vermesine rağmen, uygulamada tercih edilmez, zira böyle bir ısı işlemin uygulanması pek pratik değildir.

Ferritik paslanmaz çelikler ile % 9'dan daha az nikel içeren ostenitik paslanmaz çeliklerde, kaynak bölgesinde sigma fazının meydana gelmesi, bu çeliklerin kaynak kabiliyetini olumsuz yönde etkiler. Sigma fazı çok sert (700-800 HV), antimagnetik ve gevrek metallere bir bileşiktir; bileşimi takriben % 52 Cr ve % 48 Fe'den ibarettir ve 550°C ilâ 925°C arasındaki sıcaklıklarda meydana gelir. Ostenitik çeliklerde bu fazın meydana gelebilmesi için, ostenitik yapı içinde bir miktar da ferrit olması lazımdır. Soğuk şekil değiştirme, niobyum, molibden, silisyum gibi elementlerin varlığı sigma fazı oluşumunu teşvik eder. Sigma fazı çelikte uzama, büzülme ve çentik darbe mukavemetini azalttığından varlığı istenmez. Karbür çökmesini yok etmek için uygulanan ısı işlemi sigma fazının da yok olmasını sağlar. Ostenitik paslanmaz çeliğe daha önceden bir homogenizasyon tavlama uygulanmış ve içindeki ferrit miktarı % 6.5'in altına düşürülmüş ise, kaynak bölgesinde oluşacak sigma fazı bu bölgenin özelliklerine olumsuz bir etkide bulunmaz.

Kaynak metali daima bir miktarda eriyen esas metali içerdiğinden, bileşimi elektrod bileşimi yardımı ile belirlenemez. Esas metalin ve elektrodun bileşimleri bilinirse, bunların kaynak esnasındaki karışımları yaklaşık olarak tahmin edilebilir ve Schaeffler diagramı yardımı ile de içyapıları tesbit edilebilir.

Paslanmaz çeliklerin yumuşak çeliklerle kaynakla birleştirilmesi endüstride çok sık rastlanılan bir olaydır. Bu gibi hallerde martenzitik yapının oluşmaması için evvela karbonlu çeliğin kaynak ağzı yüksek alaşımlı bir ostenitik elektrodla kaplanır (% 25Cr, % 20 Ni) ve sonra normal bir ostenitik elektrodla kaynak dikışı doldurulur.

Krom - nikelli paslanmaz çeliklere de bir gerilme giderme tavlama kaynaktan sonra zaman zaman uygulanır, tav sıcaklığı bu tür çeliklerde 800°C ilâ 925°C arasında seçilir, doğal olarak bu tav karbür çökme ve sigma fazı oluşumu tehlikesi olmayan tür ostenitik paslanmaz çeliklere uygulanır.

Ostenitik Krom-Nikelli Paslanmaz Çeliklerin MIG Kaynağı

Ostenitik Krom-Nikelli Paslanmaz Çeliklerin MIG kaynağında, yeterli asal gaz koruması altında ilâve metalin arkta taşınımı esnasında alaşım elementlerinin kaybı çok azdır ve titanyum gibi reaktif elementler dahi arkla kaynak banyosuna iletilebilir. Bu bakımdan bu yöntemde ostenitik krom-nikelli ve titanyum ile stabilize edilmiş kaynak ilave metallerinin kullanılması mümkündür. Argon gazı koruması altında, % 95'in üzerinde bir geçiş verimi sağlanır.

Doğru akımda, elektrod (tel) pozitif kutupta ve koruyucu gaz olarak argon kullanıldığında arkta metal taşınımı sprey ark ile gerçekleştirilebilir, bu ise 26-33 V arasında bir ark geriliminde uygun bir akım yoğunluğu ile sağlanır. Bu değerlerin altında çalışmada arkta metal taşınımı, büyük damlalar halindedir ve bu da aşırı sıçramalara ve ark dengesizliğine neden olur; dengeli bir sprey ark için akım değeri 1.6 mm. tel çapı için 300 A civarında seçilmelidir.

Ostenitik paslanmaz çeliklerin MIG kaynağı kısa ark ve darbeli ark kullanılarak da gerçekleştirilebilir. MIG kaynağının bu ark türleri düşük akımlarda ve 18-24 V arasındaki ark gerilimlerinde oluşur. Bu ark türleri çok ince (0.25 mm.) paslanmaz çelik saçların kaynağında dahi kullanılabilir. Bu tekniklerde ısı girdisi sprey ark halinden daha düşük olduğundan çarpımlar da minimum seviyede oluşur.

Ostenitik paslanmaz çeliklerin MIG kaynağında argon, argon-oksijen, argon + helyum ve argon + helyum + karbondioksit içeren koruyucu gazlar kullanılır. Argon-oksijen karışımları, kaynak banyosunda

biraz oksidasyona neden olmalarına rağmen saf argondan daha iyi ıslanma kabiliyeti ve ark stabilitesi sağlarlar. Argon + % 1 Oksijen, sprey ark için çok kullanılan bir karışım gazdır. % 2-3 Karbondioksit ilaveli Argon + Helyum karışımları kısa devreli ark halinde çok sık kullanılır. Sadece karbondioksit gazı kullanılması, silisyum ve mangan kaybına neden olur. Özellikle az karbonlu paslanmaz çeliklerde karbon miktarının artması kaynak bağlantısının korozyon direncini azaltabilir, dolayısı ile karbondioksit, ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin kaynağı için tavsiye edilmez.

Argona helyum ilavesi, kaynak dikişinin nüfuziyet formunu genişletir; saf argon alın birleştirmelerinde nüfuziyet azlığına neden olabilir; % 50 Argon + % 50 Helyum karışım gazı, nüfuziyeti daha iyi ayarlayarak bu problemi ortadan kaldırır.

ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ KAYNAĞI

Eriyen elektrod ile gazaltı kaynağının en yaygın olarak kullanıldığı alanlardan bir tanesi de alüminyum ve alaşımlarının kaynağıdır. Alüminyum alaşımlarının eldesinde kullanılan başlıca alaşım elementleri bakır, mangan, silisyum, magnezyum ve çinkodur. Alüminyum alaşımları içerdikleri alaşım elementlerinin türüne göre sınırlandırıldıkları gibi, ısı işlem sonucu mukavemet özelliklerinin değiştirilip değiştirilemeyeceğine göre de, sertleştirilebilir ve sertleştirilemeyen alüminyum alaşımları diye iki gruba ayrılırlar.

MIG yöntemi her kalınlıktaki alüminyum alaşımları için uygulanabilir olmasına rağmen genellikle 3 mm.den daha kalın parçaların kaynağında tercih edilen bir kaynak yöntemidir. Zira MIG yönteminde kaynak hızı ve erime gücü TIG yönteminden daha büyüktür, çok ince levhalar (0.8 mm.) ancak darbeli akım yöntemi uygulanarak kaynakla birleştirilirler.

Alüminyum ve alaşımlarının kaynağını, çeliklerin kaynağından farklı kılan hususlar şunlardır;

Sac Kalınlığı (mm.)	Birleştirme Şekli	Kaynak Teli (elektrod) çapı: (mm.)	Argon Sarfıyatı (lt./dak)	Paso Sayısı	Kaynak Hızı (m./dak)	Akım Şiddeti (Doğru akımda + kutuplar) (Amper)
3	Alın (altlıkli)	1,6	17	1	0,50	200-240
6	V-Alın	1,6	17	1-2	0,40	240-280
12	V-Alın	2,4	17	3-4	0,40	280-330
19	V-Alın	2,4	17	5-6	0,40	350-375
25	V-Alın	2,4	17	7-B	0,40	350-375

Tablo 41 — Ostenitik Krom-nikelli Paslanmaz Çeliklerin MIG-Kaynağına ait Kaynak Karakteristikleri

Alüminyum alaşımları 550-660°C arasındaki sıcaklık aralığında erimelerine rağmen ısı iletkenliklerinin çok yüksek olması nedeni ile kaynak için gerekli ısı girdisi eş kalınlıktaki çeliğin kaynağından daha fazla olmak zorundadır.

Alüminyum ve alaşımlarının ısı genleşme katsayılarının büyük olması, kaynak bölgesinde ısınma

ve soğuma dolayısı ile oluşan sıcaklık farkları şiddetli içgerilmeler ve büyük çaplı çarpılmalar ortaya çıkar.

Alüminyumun üzerinde hava ile teması sonucunda oluşan refrakter alüminyumoksit tabakası, alüminyum alaşımlarının kaynağını büyük çapta güçleştirir. Doğru akım, ters kutuplama (elektrod pozitif kutupta) ile yapılan kaynakta, banyo üzerinde yüzen oksit tabakası parçalanır ve ancak bu biçim kutuplama ile kaynak gerçekleştirilebilir. Doğal olarak kaynaktan önce, kaynak ağızları tel fırça ile iyice temizlenerek oksit tabakası mümkün olduğu kadar uzaklaştırılmalıdır.

Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında, malzemenin kalınlığı gözönüne alınmaksızın sprej ark ile kaynak yapmak daima tercih edilir. Sprej arkın yüksek ısı girdisine karşın alüminyumun yüksek ısı iletkenliği dolayısı ile kaynak banyosu oldukça çabuk katılaştığından bu şekilde her pozisyonda kaynak yapmak mümkün hale gelmektedir. Yalnız burada oksit tabakasının temizlenebilmesi için daima sola kaynak yöntemi uygulanmalı ve dik kaynak halinde de aşağıdan yukarıya doğru çalışılmalıdır. Bu şekilde hem kaynak ağızlarının oksit tabakası temizlenmiş olur ve hem de ağızların iyi bir şekilde eriyerek kaynağın sıhhatli bir şekilde yapılması sağlanmış olur. Sağa kaynak yöntemi ve dik pozisyonda da yukarıdan aşağıya çalışıldığı zaman gözenekli, kötü görünüşlü ve ağızların gerektiği gibi erimemiş olması nedeni ile de soğuk bölgeler içeren kaynak dikişleri elde edilir.

Kaynak dikişi düz olarak veya dar zigzaglar ile çekilmelidir. Geniş zigzaglar kaynak dikişinin aşırı oksitlenmesine neden olduğu için kullanılmamalıdır.

El ile yapılan yarı otomatik MIG yöntemi ile mekanize halde de ince parçaların kaynağında genellikle saf argon gazı kullanılır, kalın parçaların otomatik kaynağı için ise daha sıcak bir kaynak banyosu ve daha iyi bir nüfuziyet elde etmek için Helyum veya Helyum-Argon karışımları tercih edilir.

Alüminyum alaşımlarının ısı iletkenliğinin yüksek olması özellikle kalın parçalarda, kaynak bölgesinin şiddetle soğumasına neden olur, bu bakımdan kalın ve bilhassa döküm alüminyum parçalara kaynak öncesi bir öntav vermek gereklidir, genellikle 15 mm.den daha kalın parçalara uygulanan bu öntavın derecesi 200°C'yi aşmamalıdır. Dövme alüminyum alaşımlarında genel olarak ön ısıtma yerine daha yüksek akım şiddeti ve ark gerilimi ile daha yüksek ısı girdisi sağlayarak çalışma tercih edilir.

Soğuk şekil değiştirme veya ısı işlem ile sertleştirilmiş alüminyum parçaların kaynak bölgesinde, sonradan kazanılmış olan bu sertlikte bir azalma görülür, bu bakımdan ısı işlem ile sertleştirilmiş alüminyum alaşımlarına kaynak öncesi evvela bir çözeltiye alma tavı uygulanır ve kaynak sonrası tekrar ısı işlem uygulanarak sertleşme sağlanır.

İş Parçası Kalınlığı mm	Dikiş Biçimi	Pasö Sayısı	Kaynak Akımı			Kaynak Teli Çapı mm	Kaynak Hızı mm/dak.	Argon Sarfıyatı			Özellikler
			Oluk A	Dik ↑ A	Tavan A			Oluk lt/dak	Dik ↑ lt/dak	Tavan lt/dak	
3	Alın	1	140	-	-	1,6	800...1000	13	-	-	
	Bindirme	1	140	-	-	1,6		13	-	-	
	İç Köşe	1	140	-	-	1,6		13	-	-	
4	Alın	1	160...180	150...160	140...150	1,6	700...1000	14	20	20	
	Bindirme	1	160...180	150...160	150	1,6		14	20	20	
	İç Köşe	1	160...180	150...165	160	1,6		14	20	20	
5	Alın	1	200...220	160...180	150...170	1,6	600...900	15	20	20	
	Bindirme	1	200...220	160...180	165	1,6		15	20	20	
	İç Köşe	1	200...220	160...180	165	1,6		15	20	20	
8	Alın	2	280...300	200...230	200...220	2,4	700...900	17	25	25	150 - 180 °C
	Bindirme	1	280...320	220	220	2,4		17	25	25	Yerel öntav
	İç Köşe	1	300...320	220	220	2,4		17	25	25	
12	Alın	2	350...380	240	240	2,4	500...700	20	25	25	200 - 220 °C
	Bindirme	2	350...380	240	240	2,4		20	25	25	Yerel öntav
	İç Köşe	2	350...380	240	240	2,4		20	25	25	
20	Alın	2 veya 3	370...380	250	250	2,4	300...400	20	25	25	250 °C
	Bindirme	2 veya 3	380...400	240...270	240...270	2,4		20	25	25	Yerel öntav
	İç Köşe	2 veya 3	380...400	250...280	240...270	2,4		20	25	25	

Tablo 42 — Alüminyumun MIG Kaynağı için önerilen kaynak parametreleri. Malzeme: AL99,5; Akım Türü: Doğru; Koriyucu Gaz: Argon

Yöntem : MIG Kaynağı Uygulama : Yarı Otomatik		Malzeme : Alüminyum ve Alüminyum Alaşımını Tel (elektrod) : S-AlMg5 veya S-AlMg4,5 Mn										
Birleştirme Türü : Alın Kaynağı		Koruyucu Gaz : DIN 32526 - I1 (%: 100 Argon)										
		Kaynak Pozisyonu : Otuk										
Malz. Kalınlığı mm	Ağız Hazırlama			Ayarlar			Tüketim					
	Ağız Türü	Aralık mm	Kök Alın Yüksekliği mm	Paso Sayısı	Kaynak Gerilimi V	Kaynak Akımı A	Tel İleri Hızı m/dak	Tel Çapı mm	Koruyucu Gaz lt/dak	Kaynak Metal g/m	Koruyucu Gaz lt/m	Kaynak Süresi (t) dak/m
4	I- Alın	0		1	23	180	3,2	1,2	12	30	34	2,8
5	I- Alın	0		1	25	200	4,3	1,6	18	77	60	3,3
5	V- Alın (70°)	0	1,5	1	22	160	5,6	1,6	18	126	75	4,2
6	I- Alın	0		1	26	230	7,1	1,6	18	147	89	3,9
6	V- Alın (70°)	0	1,5	1	22	170	6,0	1,6	18	147	81	4,6
8	V- Alın (70°)	0	1,5	2	26	220	6,8	1,6	18	183	90	5,0
10	V- Alın (60°)	0	2	3:	26	220	6,2	1,6	20			1,8
				1	24	200	6,0	1,6	20			1,6
				G	26	230	7,2	1,6	20			1,9
12	V- Alın (60°)	0	1,5	3:	26	240	13,7	1,2	23			2,6
				1	26	220	12,2	1,2	23			3,0
				2	28	250	15,6	1,2	23			2,5
12	V- Alın (60°)	0	1,5	2:	27	260	3,6	2,4	25			4,0
				1	27	280	3,9	2,4	25			3,6
				2								7,6

Tablo 43 — Alüminyum ve Alüminyum Alaşımının MIG Kaynağı İçin Önerilen Parametreler.

BAKIR VE ALAŞIMLARININ KAYNAĞI

MIG Kaynağı, bu yöntemde arkın oluşturduğu yoğun ısı nedeni ile bakır ve alaşımlarının kaynağı için en uygun kaynak yöntemlerinden bir tanesidir.

Bakır alaşımlarında çinko (pirinçlerde), alüminyum (alüminyum bronzlarında), fosfor (fosfor bronzlarında), berilyum (berilyum bronzlarında), nikel (nikel-bakır alaşımlarında), kalay (kalay bronzlarında) alaşım elementi olarak kullanılır ve doğal olarak bazıları diğerlerine nazaran daha kolay olmak üzere bütün bu alaşımlar belirli koşullarda kaynak edilebilir. Genel olarak kaynak kabiliyeti zayıf olan bakır alaşımları çinko içerenlerdir, çinko kaynak bölgesinde gözenek oluşumuna neden olduğu gibi kırılğan kaynak dikişleri verir.

Berilyum içeren alaşımların kaynağında ortaya çıkan dumanlar ise kaynakçının sağlığı açısından çok tehlikelidir.

Bakır ve alaşımlarının kaynağında MIG yöntemi genellikle 3 mm.den kalın parçalara uygulanır, daha ince parçalar için TIG yöntemi bazı üstünlükler sunmaktadır.

Malzeme	Malzeme Kalınlığı mm	Dikiş Formu DIN 1912	Tel Çapı mm	Kaynak Akımı A	Argon Sarfıyat lt/min	Öneriler
Saf Bakır SD-Cu SF-Cu	{ ≤ 6 6...10 10...20 10	V V V V	1,6 1,6 2,4 2,4	250...300 250...300 360...420 400...420	18...20 18...20 18...20 18...20	Tel çapı 2,4 mm. ile kaynak halinde yerel öntav sıcaklığı: 300...600°C
Cu-Al-Alaşımları CuAl 5 CuAl 8	{ ≤ 6 6...10	V V	1,6 1,6	225...270 225...270	18...20 18...20	
Cu-Sn-Alaşımları CuSn 4 CuSn 8	{ < 6 6...10	V V	1,2 1,6	200...210 210...240	18...20 18...20	
Cu-Ni-Alaşımları CuNi 5 Fe CuNi 30 Fe	{ ≤ 5 6...12 > 12	II V, X V, X	1,2 1,6 1,6	190...210 210...300 210...300	18...20 18...20 18...20	
Cu-Zn-Alaşımları CuZn 40 Cu Zn 39 Pb	{ ≤ 6 12...30	II V, X	1,2 1,6	200...210 210...300	18...20 18...20	
Cu-Sn-Alaşımları CuSi 2 Mn	{ ≤ 6 6...12 20	II V X	1,6 1,6 1,6 2,4	280...320 300...350 320...360 400...460	18...20 18...20 18...20 18...20	

Tablo 44 — Bakır ve bakır Alaşımlarının MIG-kaynağı için önerilen parametreler.

Bakırın ısı iletkenliğinin yüksek olması nedeni ile yoğun bir ark enerjisine gerektirir. Bu bakımdan bakır halinde daha yüksek bir akım şiddeti ile (alüminyuma nazaran % 50-75 daha yüksek) çalışılır. Argon kullanılması halinde de spreylenmiş ark oluşturulmalıdır. Kalın parçaların kaynağında helyum da koruyucu gaz olarak kullanılmaktadır, burada arkta globular metal transferi oluşmasına rağmen yüksek derecede sıçrama ortaya çıkar. Genel olarak argonun ark stabilitesini ve helyumun derin nüfuziyetini bir arada elde edebilmek

gayesi ile argon-helyum karışım gazları tercih edilir.

Bakırın aşırı ısı iletkenliği nedeni ile kalın parçaların kaynağında 250-400°C arasında bir ön ısıtma uygulanır.

İyi bir kaynak dikişi elde etmek için sol kaynak yöntemi uygulanır ve genellikle bakır alaşımları için yatay oluk pozisyonu tercih edilir, diğer pozisyonlarda kaynak yapmak gerektiği hallerde, MIG yöntemi diğer bütün kaynak yöntemlerine tercih edilir. Dik ve korniş pozisyonlarında ince çaplı elektrod, düşük akım şiddeti ve kısa ark yöntemi ile çok akışkan olmayan alüminyum bronzları ve silikon bronzu ve bakır-nikel alaşımı teller kullanılır.

Elektrod seçiminde genel olarak esas metalin bileşimi göz önünde tutulur ve esas metalin bileşimine en yakın bileşimdeki tel kullanılır. Bazı hallerde ise kaynak dikişinin mukavemetinin esas metalden daha yüksek olması arzu edilir, bu gibi durumlarda esas metalden farklı bileşimde elektrod kullanılır.

MAGNEZYUM ALAŞIMLARININ KAYNAĞI

Magnezyum alaşımlarının kaynağı için en uygun kaynak yöntemlerinin başında MIG kaynağı gelmektedir. Magnezyum alaşımlarında alaşım elementleri olarak alüminyum, çinko ve toryum bulunur ve bütün bu alaşımlar bu yöntem ile kaynak edilebilir, doğal olarak her alaşımın kaynak kabiliyetine etkisi farklıdır. % 10'u aşan alüminyum içeriği, tane yapısını incelttiğinden kaynak kabiliyetine olumlu yönde etki eder, % 1'den fazla çinko bulunması sıcak çatlama hassasiyetini artırır, toryumlu alaşımlar genellikle çok iyi bir kaynak kabiliyetine sahiptirler.

Alaşımın yüzeyini kaplayan magnezyumoksit de refrakter bir karaktere sahip olup, aynen alüminyum halindeki alüminyumoksitin yaptığı gibi kaynak işlemini güçleştirir. Yüksek kaynak hızı ve erime gücü dolayısı ile MIG kaynağı magnezyum alaşımlarında bilhassa 10 mm.den kalın parçalar halinde rakipsiz bir yöntemdir.

Kaynak için yatay oluk pozisyonu tercih edilir, gereken hallerde aşağıdan yukarı olmak koşulu ile dik kaynak dahi yapılabilir.

Koruyucu gaz olarak genellikle argon kullanılır, derin nüfuziyetin gerekli olduğu hallerde ise argon-helyum alaşımları tercih edilir. Saf helyum globular metal geçişi ve fazla sıçrama yaptığı için tercih edilmez. Magnezyum ve alaşımlarının kaynağında darbeli akım (pulsed arc), sprej ark ve kısa ark yöntemleri uygulanır.

İnce parçalar ve sıkı bağlanmış ankastre konstrüksiyonlarda çatlamaı önlemek açısından bir öntav gereklidir, kalın parçalar halinde ankastre bir durum yoksa öntav gerekmez. Kaynak dikişlerinde çatlamaı önlemek açısından genellikle seçilen kaynak metali esas metalden daha düşük bir erime sıcaklığına ve daha geniş bir erime aralığına sahiptir, bu şekilde uygun bir elektrod ile MIG kaynağı yapılmış bağlantılar esas metalden daha dayanıklı kaynak dikişleri verir.

NİKEL VE ALAŞIMLARININ KAYNAĞI

Demir, krom, bakır, mobilden ve silisyum nikel alaşımlarına katılan başlıca elementlerdir. Nikel alaşımları genellikle ticari isimleri ile tanınırlar (Örneğin; monel, inconel gibi).

Gerek katı eriyik oluşturan nikel alaşımları ve gerekse de çökeltme sertleşmesi gösteren nikel alaşımları bu yöntem ile kaynatılabilirlerse de çökeltme sertleşmesi gösterenler için TIG yöntemi daha uygun sonuçlar vermektedir. Birçok döküm nikel alaşımlarının, özellikle silisyum içerenlerin kaynakla birleştirilmeleri oldukça zordur.

Nikel alaşımlarının kaynağında en önemli husus alaşımın saflık derecesidir, az miktarda dahi kükürt, fosfor ve kurşun içeren alaşımlar kaynak esnasında çatlamaya çok meyyalıdır. Bu bakımdan kaynak öncesi iş parçası çok iyi temizlenmeli, yüzeyinde yağ, gres, boya ve pislik kalıntıları bulunmamalıdır. Bu alaşımların kaynağında karşılaşılan diğer bir önemli olay da kaynak banyosunun çok akıcı bir hale gelememesidir.

Bu bakımdan kaynak bölgesinde tam bir erime sağlamak çok zordur.

Bu alaşımların kaynağında sprej ark, kısa ark ve globular transfer yöntemleri gereken ısı girdisine ve parça kalınlığına bağlı olarak uygulanabilir. Gereken yerlerde, darbeli akım da kullanılabilir. Sprej ark ve darbeli akım halinde argon, diğer hallerde ise argon-helyum karışımları koruyucu gaz olarak seçilir. Bu alaşımların kaynağında genel olarak esas metale uygun bileşimde fakat sıcak çatlamaya mani olacak biçimde alaşımlandırılmış kaynak telleri kullanılır.

KAYNAK AĞIZLARININ HAZIRLANMASI

Eriyen elektrod ile gazaltı kaynağında, kaynak ağzını şekillendirmede kaynaklı parçanın şekli, kaynatılan malzemenin türü ile ilgili metalurjik hususlar ve konudaki standartlar gözönünde bulundurulur. Kaynak ağzı hazırlamada en önemli husus gereken mukavemette en iyi kalitede kaynak dikişinin gerçekleşmesini en ekonomik şekilde gerçekleştirir.

Kaynaklı bağlantının gerek kalitesini ve gerekse de maliyetini çok önemli bir biçimde etkilediği için ağız dizaynı kaynak teknolojisinde önemli bir konuma sahiptir. Eriyen elektrod ile gazaltı kaynağı diğer ark kaynak yöntemlerinden ötürü, kaynak ağız dizaynında bu özeliğinde göz önünde bulundurulması gereklidir. Bu açıdan en önemli konu kaynak yaparken kaynakçının kaynak dikişine rahat bir şekilde erişebilmesi ve kaynak yaparken de torçunu rahat bir şekilde hareket ettirebilmesidir. Bu konuda diğer önemli bir husus da gaz lülesi ile dikişin kökü arasındaki mesafedir. Dikişin kök kısmına lülenin gerektiği kadar yaklaşmaması hem kök nüfuziyetini ve hem de kaynak banyosunu koruyan gaz örtüsünün kaynak banyosunu koruma derecesini etkiler.

Kaynak ağız dizaynını etkileyen en önemli faktör bağlantıdan beklenen mukavemettir. Bu değer kaynak ağzında nüfuziyet miktarını belirler. Yüksek mukavemetin gerekli olduğu veya dinamik zorlamaların etkin olduğu hallerde parça tüm kesiti boyunca kaynatılmak zorundadır ve dikiş tam bir nüfuziyete sahip olmak zorundadır. Buna karşın statik zorlanmalar halinde ancak kaynak dikişinden beklenen mukavemetin gerektirdiği kadar bir kesit kaynatılır ve bu gibi hallerde tam nüfuziyet gerekmez.

Kaynaklı bağlantıda, kaynaklanan kesitin tümünün veya bir kısmının kaynaklanması, ağız formunu, kök aralığı ve kök alın yüksekliğini etkiler. Kesitin ancak bir kısmının kaynatılmasının gerekli olduğu hallerde, kök açıklığına gerek yoktur ve yüksek bir kök alını da bırakılabilir. Eriyen elektrod ile gazaltı kaynağında diğer açık ark yöntemlerine (örtülü elektrod, TIG) göre daha ince çaplı bir elektrod kullanılması nedeni ile ark daha yoğundur ve aynı akım şiddeti için nüfuziyet daha derindir. Bu bakımdan diğer yöntemlere göre daha yüksek bir kök alını ve daha dar bir kök aralığı kullanılır. Doğal olarak bu husus düşük akım şiddetlerinin kullanıldığı kısa devre ark yöntemi için geçerli değildir.

Elektrod çapının diğer yöntemlere göre daha küçük olması kaynak ağız açılarının daha dar tutulmasına olanak sağlar.

Kaynak ağız şekil seçimini etkileyen faktörlerden bir tanesi de kaynak pozisyonudur. Örneğin oluk pozisyonunda ağız açısının dar tutulabilmesine karşın dik pozisyonda daha geniş ağız açısına gerek vardır. Dik ve tavan pozisyonlarında akım şiddetinin alt sınırları kullanıldığından kök aralığı daha büyük ve kökte alın yüksekliği daha az olmak zorundadır. Ayrıca korniş kaynaklarında, asimetrik V ağzı banyonun akmasına mani olduğundan simetrik V ağzına tercih edilir.

Kaynak ağzı dizaynında en önemli etkenlerden bir tanesi de parça kalınlığıdır. MIG-MAG yönteminde iki taraftan kaynak yapmanın mümkün olduğu hallerde, uygun kök aralığı bırakmak ve akım şiddetini üst sınırlarda seçmek koşulu ile 10 mm kalınlığındaki parçalar dahi küt alın ağız ile kaynatılabilirler. Kalın

parçalar için V ve X ağızları kullanılır, parça kalınlığının daha da artması hazırlanması zor olan U ağızını daha ekonomik hale getirir, zira kalın parça halinde (15 mm'den kalın) daha az kaynak metali gerektirmesinden ötürü U ağızı daha ekonomik olmaktadır.

Kaynak ağız dizaynını etkileyen diğer önemli bir husus da kaynatılan malzemenin türüdür. Örneğin alüminyumun ısı iletkenliği çok yüksek ve erime sıcaklığı düşüktür, buna karşın paslanmaz çeliğin ısı iletkenliği daha düşüktür, bu bakımdan alüminyum halinde küt alın ağızı ile kaynatılabilecek azami parça kalınlığı paslanmaz çelikten daha küçük olacaktır, zira ısı kaynak bölgesini hızla terketmekte ve kaynak banyosunun derinleşmesine olanak sağlamaktadır.

Nikel halinde, kaynak banyosunun tam akıcı hale gelmemesi nedeni ile uygun bir erimeyi sağlamak için torç manipülasyonuna olanak verebilmek için daha geniş bir ağız açısına gerek vardır.

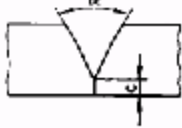

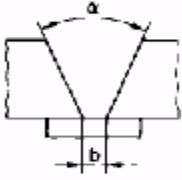

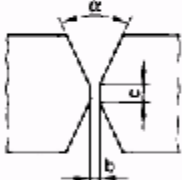
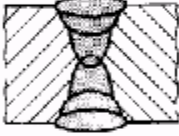
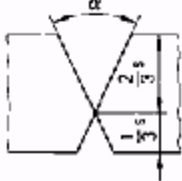

Tek taraftan yapılan kaynak dikişlerinde, kök nüfuziyetini kontrol altında tutmak ve akmayı önlemek için zaman zaman çeşitli altlık türleri de kullanılır.

Yukarıda belirtilmiş olan bu önemli faktörler de göz önüne alınarak dizayn edilen kaynak ağızlarının hazırlanmasına gereken itina gösterilmelidir. Uygun olmayan bir dizayn ve kötü hazırlanmış kaynak ağızları, hatalı dikişlerin ortaya çıkmasına neden olur.

MIG-MAG kaynağı için önerilen kaynak ağızı formları Şekil'87-88-89-90'da gösterilmiştir.

			b mm	c mm	α
<2			---	---	---
<2			---	---	---
<2			2,5 s	---	---
<1,5			---	---	---
<4			0,5 s...1 s	---	---
<10			0...0,5 s	---	---
>4			2,5...4	1	<50°

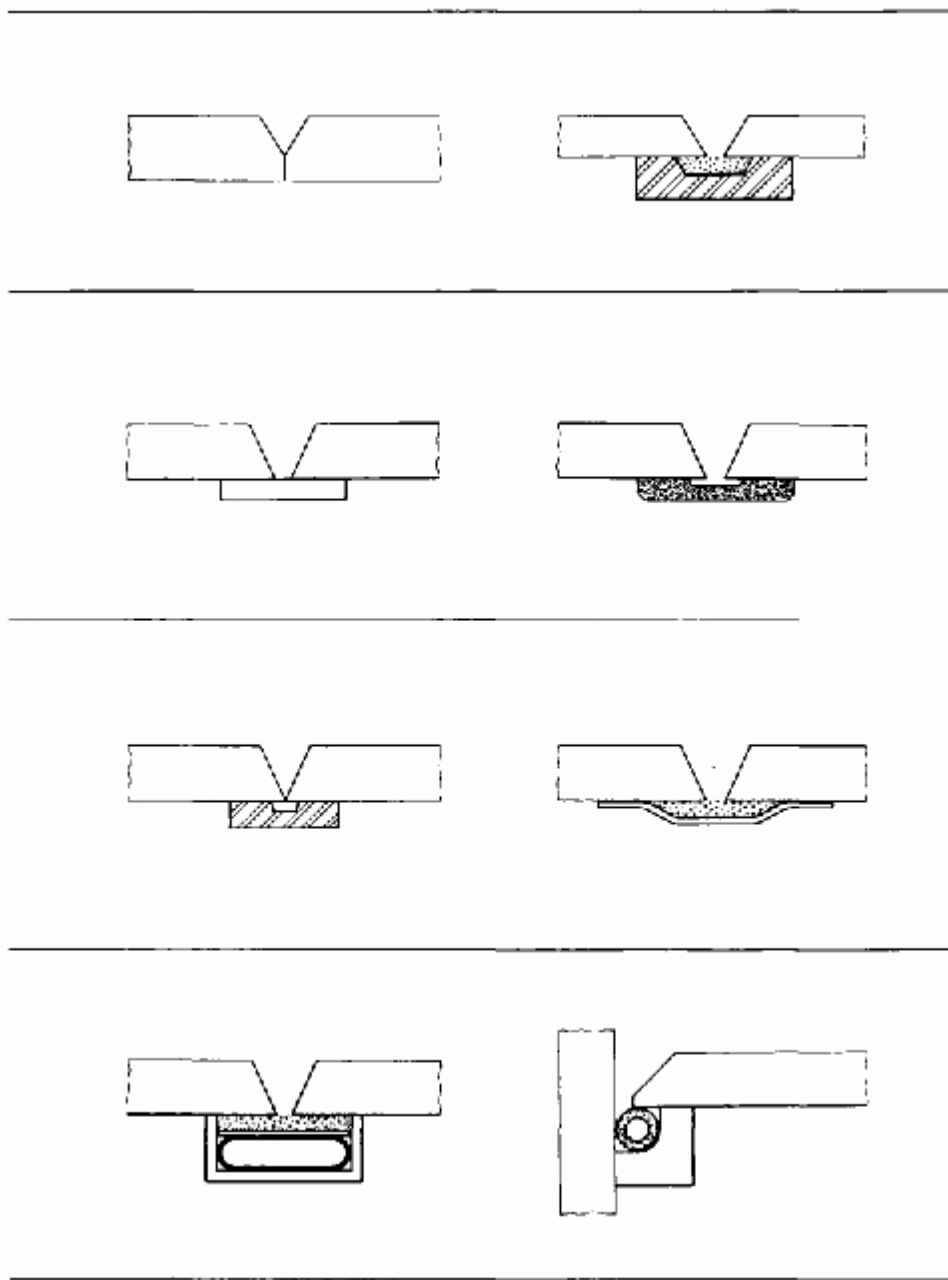
Şekil 87a — MAG kaynağında kullanılan ağız biçimleri.

mm		mm	mm	α	
>3			—	2...4	<50°
>6			>6	—	<50°
>10			0...4	2...4	<50°
>10			—	—	<50°

Şekil 87b — MAG kaynağında kullanılan alın ağız biçimleri.

		mm	mm	α
		3...4	2	40°
		0...4	0...3	40°

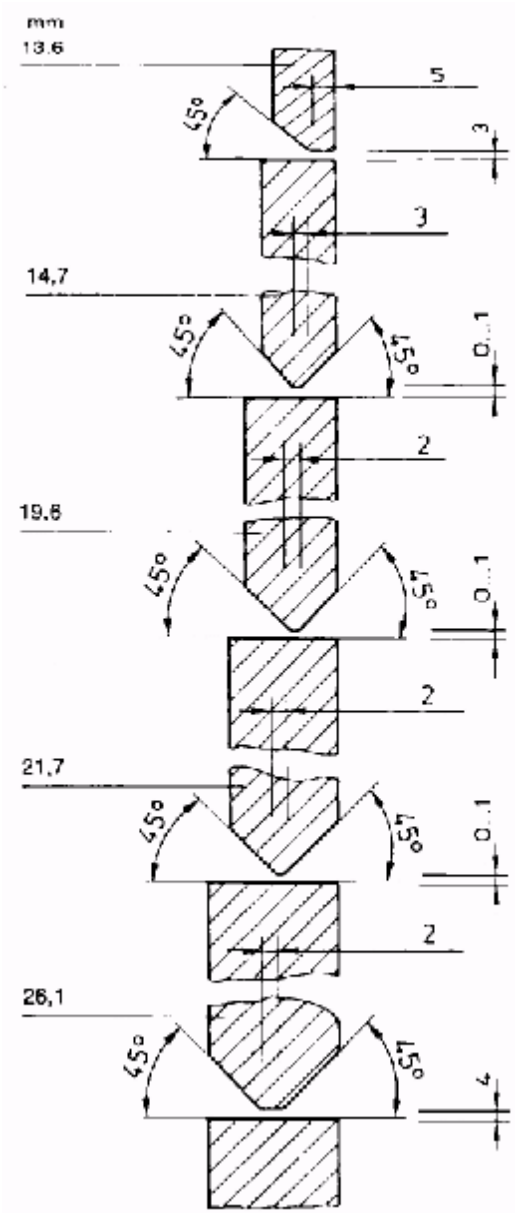
Şekil 87c — MAG kaynağında kullanılan köse ağız biçimleri.



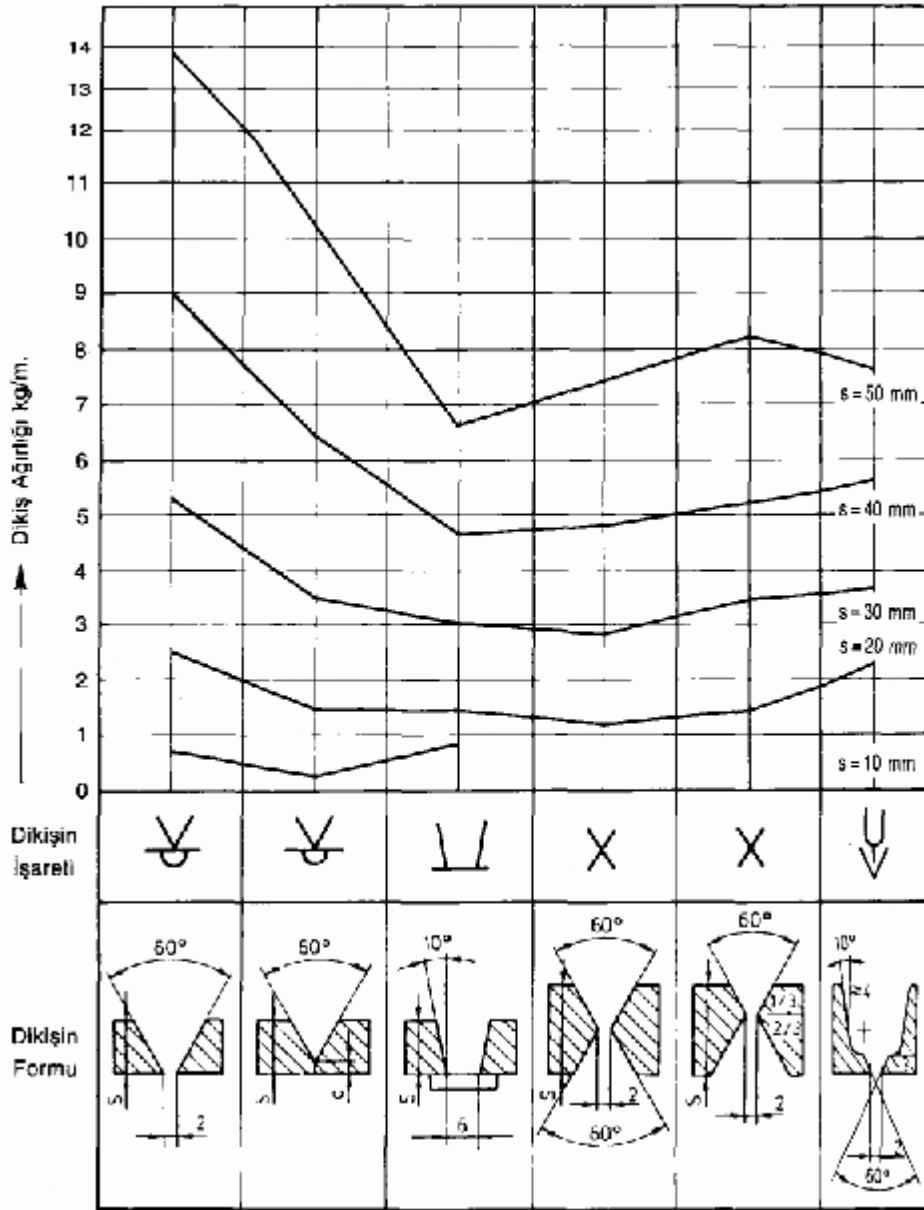
Şekil 88 — MAG kaynağı için tavsiye edilen altlıklar.

s mm			b mm	c mm	α
1...4			$0...0,25 s$	—	—
5...10			$<1,0$	—	—
5...12			$<1,0$	2,5	90°
5...20			$<1,0$	2,5	60°
>10			$<1,0$	2,5	90°
>10			$<1,0$	3	60°
>6			5...10	2	40°
>18			5...7	5	70°
>30			—	—	90°

Şekil 89 — MIG kaynağında kullanılan kaynak ağızı şekilleri (Alüminyum için).



Şekil 90 — Silindirik stasyonær tanklarda çevre dikişleri için kaynak ağızları (korniş kaynak pozisyonu).



Şekil 91 — 10-50 mm. kalınlığındaki saclarda kaynak dikiş formunun dikiş ağırlığına etkisi.

KAYNAK HATALARI

Tüm kaynak yöntemlerinde olduğu gibi eriyen elektrod ile gazaltı kaynağında da kaynak parametrelerinin uygun seçilmemesi, uygun olmayan ilave metal ve kötü bir kaynak tekniğinin uygulanması sonucu bir takım kaynak hataları ile karşılaşılır. Tüm kaynak hataları kaynak dikişinde bir zayıflama ve süreksizlik oluşturduklarından bağlantının servis esnasında kırılmasına ve bazı hallerde de telafisi olanaksız kazalara neden olduklarından kaynaklı bağlantıların hatasız olması gereklidir.

Bu bakımdan kaynaklı konstrüksiyonlarda, kaynak dikişlerinin kontrolü son derece önemlidir. Kaynak dikişlerinde iki ana grup hata ile karşılaşılır. Birinci gruba giren hatalar dış hatalar diye adlandırılır ve çıplak göz veya büyülteçle saptanabilir. İkinci gruba giren hatalar ise göz kontrolü ile saptanması olanaksız iç hatalardır; bunlar ancak (X) ışınları veya ultrason ile belirlenebilirler. Kaynaklı bağlantılarda belirlenmiş hataların tamiri oldukça güç ve pahalı olduğundan, mümkün olduğu kadar hataya olanak vermeyen bir biçimde çalışılmalıdır.

Eriyen elektrod ile yapılan gazaltı kaynağında en çok karşılaşılan hata türleri ve bunların nedenleri aşağıda açıklanmıştır:

NÜFUZİYET AZLIĞI

Kaynak anında, erimenin bütün malzeme kalınlığına olmaması sonucunda, bağlantının alt kısımlarında kırılmaya neden olabilecek oyuk ve çentikler oluşur. MIG-MAG kaynağında nüfuziyet azlığının oluşmasına aşağıdaki nedenler yol açar.

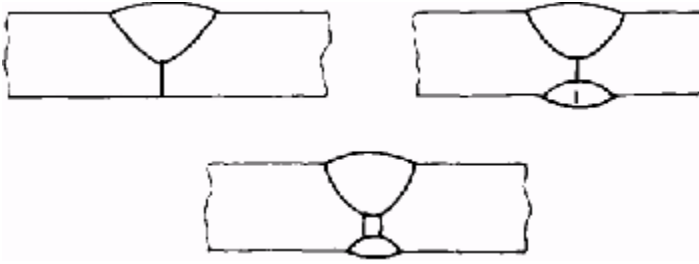
- a- Birleştirme yerinin geometrisine uygun bir elektrod çapının seçilmemesi,
- b- Akım şiddetinin uygun seçilmemesi,
- c- Uygun bir kaynak ağzının açılmaması,
- d- Kök pasosunun fena çekilmesi.

Küt alın birleştirmelerde, tam bir nüfuziyet elde etmek için birleştirmenin altı (yani diğer yüzü) bir keski veya oksijen rendesi ile temizlenip bir paso kaynak ile doldurulmalıdır.

Nüfuziyet azlığı hatasının oluşmaması için alın birleştirmelerinde ağızların titizlikle hazırlanması ve iki parça arasında uygun bir aralığın bırakılması gereklidir.

MIG-MAG kaynağı ile yapılan köşe birleştirmelerinde, düşük akım şiddeti ile çalışılması veya gereğinden kalın bir elektrodun kullanılması, dipte bir nüfuziyet azlığına neden olabilir. Ancak, daha ince çaplı bir elektrodun kullanılması da her zaman bu hatayı ortadan kaldırmaz; parçanın kütesine ve ısı iletme yeteneğine göre uygun çapta bir elektrodun kullanılması gereklidir. Genel olarak köşe kaynaklarının oluk durumunda kaynak edilmesi önemli önerilen bir konudur.

Nüfuziyet azlığının neden olduğu hataların giderilmemeleri halinde; özellikle dikişin yorulma dayanımı ciddi bir şekilde düşer ve dikiş bükülmeye zorlandığında dipteki oyuk ve çentikler kırılma eğilimini artırır ve birleştirme bu kısımdan çatlayarak kolayca kırılır.



Şekil 92 — Nüfuziyet azlığı.

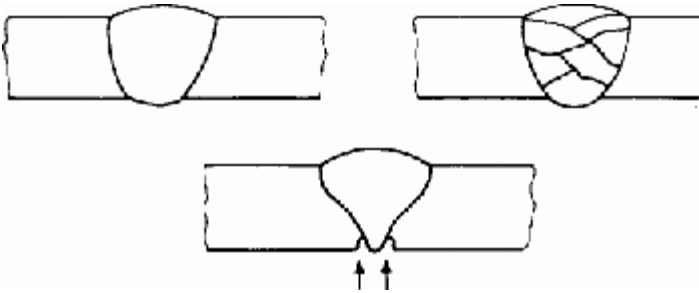
BİRLEŞTİRME AZLIĞI (YETERSİZ ERİME)

Kaynak metali ile esas metal veya üstüste yığılan kaynak metaline ait pasolar arasında birleşmeyen kısımların bulunması sonucunda bu hata ortaya çıkar. Birleşme azlığına genellikle cüruf, oksit, kav veya diğer demir olmayan yabancı maddelerin varlığı neden olur. Bu maddeler, esas metal veya ilave metalin tamamen erimesine engel olduğundan yetersiz bir birleşme ortaya çıkar.

Birleştirme azlığından oluşan hatalar, genellikle çekilen pasoların dikkatlice temizlenmesi ile giderilebilir. Özlü elektrod ile MIG-MAG kaynağında, bir sonraki paso çekilmeden önce, cüruf iyice temizlenmeli, gerektiğinde taşlanman ve keskinlenmelidir.

Bu hatanın oluşmasının kaynak anında önlenmesi için, uygun akım şiddeti ve kısa ark boyu ile çalışmak çok önemlidir. Fazla düşük akım şiddeti yetersiz bir birleşme oluşturmakta; buna karşın, çok yüksek akım şiddeti de elektrodun çabuk erimesi dolayısı ile aynı olaya neden olabilmektedir. Elektrod çok çabuk eriyince, kaynakçı daha hızlı kaynak yapma hevesine kapılmakta ve eriyen kaynak metali esas metal, erime derecesine yükselmeden (daha doğrusu zaman buna elvermediğinden) üstüste yığılmaktadır.

Kaynak kesitindeki birleşme azlığı, hem statik ve hem de dinamik zorlamalarda bağlantının dayanımını büyük çapta düşürür. Bu hatayı gidermek için kaynak dikişinin hatalı kısımlarının tamamen sökülüp yeniden kaynak edilmesi gereklidir.



Şekil 93 — Yetersiz erime (şematik).

YANMA OLUKLARI VEYA ÇENTİKLER

Bu hata, kaynaktan sonra esas malzemede ve dikişin kenarındaki oyuk veya çentik şeklinde gözükür; oluklar dikiş boyunca sürekli veya kesintili olarak devam eder. Bütün ark kaynak yöntemlerinde karşılaşılan yanma oluklarının esas nedenleri kaynak parametrelerinin uygun seçilmemesi ve hatalı manipülasyonlardır. Yanma olukları kaynak dikiş kesitini zayıflattıklarından ve

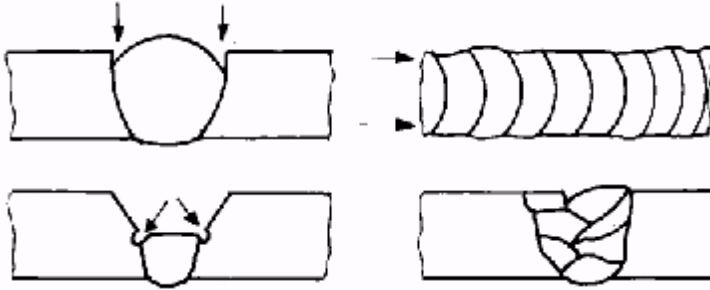
kertik etkisi yaptıklarından özellikle dinamik zorlamalara maruz bağlantılarda varlıkları arzu edilmez.

Yanma oluklarının oluşmasının nedenleri şunlardır:

- a- Akım şiddetinin yüksek seçilmesi,
- b- Kaynakçının aşırı hızla çalışması,
- c- Elektrodun fazla zikzak hareketler yapması,
- d- Kaynak anında elektrodun yanlış bir açıyla tutulması,
- e- Esas metalin aşırı derecede paslı olması.

Çentikli kaynak dikişlerinin dinamik zorlamalara karşı dayanımı çok zayıftır, bu neden ile en ufak bir çentik ve oluğun bulunmasına izin verilmemelidir.

Yanma nedeniyle oluşabilecek çentik veya oluklar (iyice temizlendikten sonra) yeni bir paso kaynak ile doldurularak, tamir edilebilirler.



Şekil 94 — Yanma olukları.

BİNDİRME DİKİŞLERDE LEVHA KENARLARININ ERİMESİ

Bu hata, üste bindirilen sacın serbest kenarlarının kaynak anında erimesi sonucu ortaya çıkmaktadır. MIG-MAG kaynağında levha kenarlarının erimesine, yanlış el hareketi, yetersiz bindirme, uygun olmayan bir elektrod çapı veya sac kalınlığının seçilmesi neden olmaktadır.

Bindirilen kenarın kaynak anında erimesi, dikiş yüksekliğini ve dolayısı ile dikişin statik ve dinamik dayanımlarını azaltır; bu hata tekrar kaynakla doldurularak ortadan kaldırılabilir.

KALINTILAR

Eriyen elektrod ile gazaltı kaynağında iki tür kalıntı ile karşılaşılır; bunlar cüruf ve oksit kalıntılarıdır. Kalıntılar gerek kaynak kesitini zayıflatmaları ve gerekse de çatlak başlangıcına neden olduklarından varlıkları arzu edilmezler.

MIG-MAG kaynak yönteminde cüruf kalıntısı problemi örtülü elektrod halinde olduğu gibi büyük bir sorun değildir, zira kaynak banyosu cüruf örtüsü yerine bir koruyucu gaz atmosferi tarafından korunmaktadır. Yalnız özellikle çeliklerin kaynağında kullanılan bazı tür elektrodlar dikiş üzerinde çok az miktarda camsı bir cüruf oluştururlar; çok pasolu kaynakta bir sonraki pasoya başlamadan önce bunların temizlenmesi özellikle önerilen bir konudur.

Alüminyum, magnezyum ve alaşımları ile paslanmaz çeliklerin kaynağında, özellikle kaynak hızının

yüksek seçilmesi halinde, esas metalin yüzeyini kaplayan oksit tabakası banyo içinde hapsolür ve dikiş içinde oksit kalıntıları da bağlantının zayıflamasına neden olur. Bu olaya kaynak hızını azaltıp ark gerilimini yükselterek mani olunabilir.



Şekil 95 — Dikiş içinde kalıntılar (şematik).

ÇATLAKLAR

Kaynak hataları arasında en tehlikelileri çatlaklardır; çatlak içeren bir kaynaklı bağlantının gerek dinamik ve gerekse statik zorlanmasına izin verilmez.

Genellikle, bu çatlaklara dikişteki bölgesel gerilmeler neden olmaktadır. Kaynak anındaki çarpılma ve çekmelere karşı koyan kuvvetler, iç gerilmelerin dağılmasında önemli rol oynar. Bu bakımdan parçaların olabildiğince serbest hareket edebilecek konumda olmaları istenir. Kaynak yerinin bir hava akımı ile çabuk soğutulması veya düşük ortam sıcaklıkları çatlama meylini artırır. Birbirine tam uymayan parçalarda ve düzgün olmayan kaynak ağızlarında görülen nüfuziyet azlığı, kötü birleşme veya cüruf kalıntıları gibi hatalar zamanla kılcal çatlakların oluşmasına neden olur.

Yumuşak çeliklerin kükürt içeriği malzemenin kaynak kabiliyetini etkilediği gibi, esas veya ilave metalde fazla miktarda kükürt bulunması kaynak yerinin çatlmasına neden olur. Böyle bir durum ortaya çıktığında, hemen basit bir kükürt analizinin yaptırılması gereklidir. Kükürt gibi diğer bazı alaşım elementlerinin fazlalığının da çatlama neden olabileceğini hatırdan çıkarmamak lazımdır.

Kaynaklı bağlantılarda karşılaşılan çatlaklar kaynak metalinde ve esas metalde oluşanlar olmak üzere yer bakımından iki ana gruba ayrılır. Kaynak metalinde görülen çatlaklar, şekil bakımından enlemesine, boylamasına ve krater çatlakları (yıldız çatlaklar) diye sınıflandırılabilir.

Boylamasına çatlaklar genellikle kök pasolarda oluşurlar. Eğer bu kök pasolar tamamen sökülüp yeniden kaynak yapılmaz ise, çatlak sonraki pasolarda da kendini gösterir. Boylamasına çatlaklar bazen dikişlerde krater çatlaklarının devamı olarak da oluşabilirler.

Enine çatlaklar, kaynak anında hareket olanağı en az olan dikişlerde ortaya çıkarlar. Oluşum zamanına göre de çatlaklar sıcak ve soğuk çatlaklar olmak üzere iki ana gruba ayrılabilirler. Sıcak çatlaklar, kaynak banyosu katılaşmaya başladığı anda oluşan, soğuk çatlaklar ise kaynak metali katılaştıktan sonra (hatta haftalar sonra da ortaya çıkabilir) ortaya çıkan çatlaklardır. Sıcak çatlaklara çelikler halinde esas metalin fazla miktarda kükürt, fosfor ve kurşun, demir dışı metallerde ise kükürt ve çinko içermesi sonucu karşılaşılr. Ayrıca kaynak dikiş kesitinin esas metalin kalınlığı yanında çok küçük olması da bu çatlaklara neden olur.

Sıcak çatlakların oluşumuna aşağıda belirtilmiş olan önlemler alınarak mani olunabilir:

- 1.- Sıcak çatlak oluşumunu teşvik eden elementler içermeyen esas metal kullanmak,
- 2.- Çelikler halinde yüksek manganezli kaynak elektrodu kullanmak,
- 3.- Kaynak dikişinde oluşan gerilmeleri azaltmak gayesi ile öntav uygulamak,
- 4.- Temiz koruyucu gaz kullanmak,
- 5.- Kaynak dikişinin boyutlarını arttırmak (kök pasonun),
- 6.- Kaynak ağız geometrisini, dikiş formunu değiştirmek.

Krater çatlakları da bu gruba giren çatlaklardandır ve krater oluşumuna mani olunarak bu çatlakların ortaya çıkması önlenir.

ESAS METALDE OLUŞAN ÇATLAKLAR

Esas metalde oluşan çatlaklara sade karbonlu ve az alaşımlı yumuşak çeliklerde nadiren, yüksek karbonlu ve alaşımlı, yüksek mukavemetli çeliklerde daha sık olarak rastlanır; bu olaya kaynaktan sonra ısının tesiri altında kalan bölgenin sertleşmesi neden olmaktadır. Esas metalin bileşimi, soğuma hızı ve çekme gerilmeleri bu tür çatlakların başlıca nedenleridir; bu etmenlerden en şiddetlilerinden birisi olan soğuma hızı, parça kalınlığına, kaynak anında parçaya uygulanan ısı girdisine ve parçanın sıcaklığına bağlı olarak değişir.

Çeliklerin sertleşme eğilimlerini bileşimleri tayin eder; sertleşme eğilimine sahip bir çelikte ısının tesiri altında kalan bölgenin hızlı soğuması, sertleşmeye neden olur. Özellikle kalın parçalarda ısı çabuk dağıldığından, parça kalınlığı arttıkça çatlak oluşma olasılığı da artar. Isının tesiri altında kalan bölgenin sertleşmesini önlemek için soğuma hızını olabildiğince yavaşlatmak gereklidir; soğuma hızı ancak aşağıda sıralanmış kurallara uyularak yavaşlatılabilir:

- a- Kaynak edilecek parçalara kaynaktan önce ve sonra tav uygulanmalıdır.
- b- Parçaya verilen ısı miktarı artırılmalıdır. Örneğin: yüksek akım şiddeti ile geniş pasolar çekilmelidir.
- c- Çok pasolu kaynaklarda, parçaya verilen ısının çabuk dağılması önlenmelidir. Yani sıcaklık olanaklar ölçüsünde sabit tutulmalıdır. Bu da pasoların birbirinin arkasından, soğumaya meydan vermeden çekilmesiyle sağlanır.
- d- Sertleşme meyli fazla çeliklerin kaynağında, önceden tavlama işlemi uygulanmadığı durumlarda, puntalamadan ve arkı, kaynak ağızının dışında oluşturmaktan kaçınılmalıdır. Zira böyle bir işlem, sert bölgelerin ve dolayısıyla yüzeysel çatlakların oluşmalarına neden olur.
- e- Hava sıcaklığının sıfır veya sıfırın altında bulunduğu zamanlarda yapı çeliklerinin kaynağında dahi hafif bir öntava gerek vardır. Bazı durumlarda da ostenitik kaynak metali kullanılması yarar sağlamaktadır.

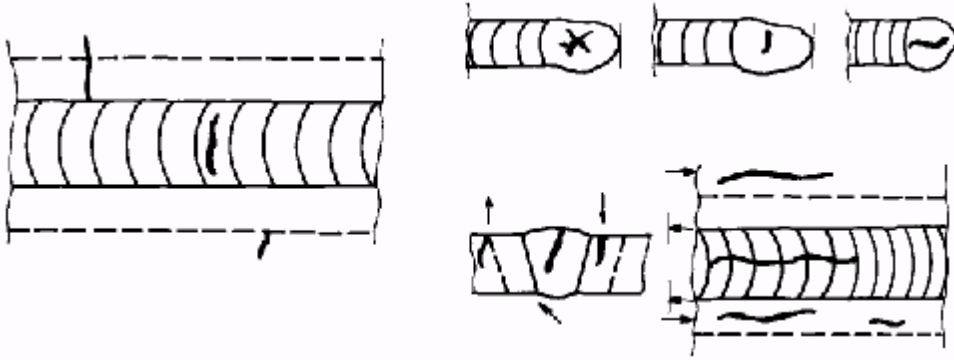
Gerek kaynak metalinde gerekse esas metalde oluşan çatlakların tek onarım şekli hatalı yeri sökülüp çıkartarak yeniden kaynak yapmaktır. Bu işlemi yaparken bütün çatlakların tamamen çıkarılması, özellikle dikkat edilmeli ve yeniden kaynak yapılacak yer çok iyi temizlenmelidir. Bazen aynı hatanın tekrarını önlemek amacıyla yeniden kaynak yapıldığında değişik bir yöntemin uygulanması da

gerekebilir.

Dış zorlamanın şekli ne olursa olsun, çatlaklar daima bağlantının dayanım değerini düşürür. Bu bakımdan, hiçbir kaynak yönteminde çatlak oluşumuna izin verilmez.

Kaynak dikişi tamamen katılaştıktan sonra ortaya çıkan soğuk çatlakların oluşumuna hidrojen gevrekliği, aşırı zorlanma ve çabuk soğuma neden olur. Kaynak dikişinin ortasında boylamasına olarak ortaya çıkan ve bu bakımdan bazı yazarlarca merkez hattı çatlakları diye de adlandırılan bu tür çatlaklara mani olabilmek için şu önlemler alınmalıdır:

- 1.- Kaynak dikiş boyutları büyütülmeli,
- 2.- Kök açıklığı azaltılmalı,
- 3.- Öntav uygulanmalı,
- 4.- Krater oluşumuna mani olunmalıdır.



Şekil 96 — Çeşitli tip çatlaklar.

KAYNAK DİKİŞİNİN TAŞMASI

Kaynak metalinin, esas metal üzerine birleşme olmadan, taşması halidir. Bu taşma ya tek tek noktalar halinde; ya da bütün dikiş boyunca ortaya çıkmaktadır. Genellikle, köşe kaynaklarında oluşan bu taşma olayı, dikişin gereğinden fazla kabarması şeklinde kendini gösterir. MIG-MAG kaynağında yanlış manipülasyon da taşmaya neden olur. Özellikle, yatay ve düşey düzlemdeki, yatay dikişlerin (korniş) kaynağında, torçun tutuş açısına ve el hareketine dikkat etmek gereklidir. Gereğinden fazla kalın elektrod kullanmaktan kaçınılmalıdır. Taşmanın önlenmesinde, akım şiddetinin uygun seçilmesi ve kısa ark boyu ile çalışılmasının da önemli etkisi vardır; akım şiddeti yükselince veya ark boyu artınca taşma olayı kendini gösterir.

Taşmalar özellikle dinamik zorlamalarda, tehlikelidir, çünkü bu noktalarda bir gerilme yığılması oluşmaktadır. Kaynak kesitinde bir daralma yoksa, taşmalar statik yüklemde önemli bir hata olarak görülmez. Taşmaların neden olduğu hatalar, bir keski veya taşla giderilebilir; ancak, bunu yaparken, dikiş veya esas metalin üzerinde derin iz bırakmamaya dikkat edilmelidir.

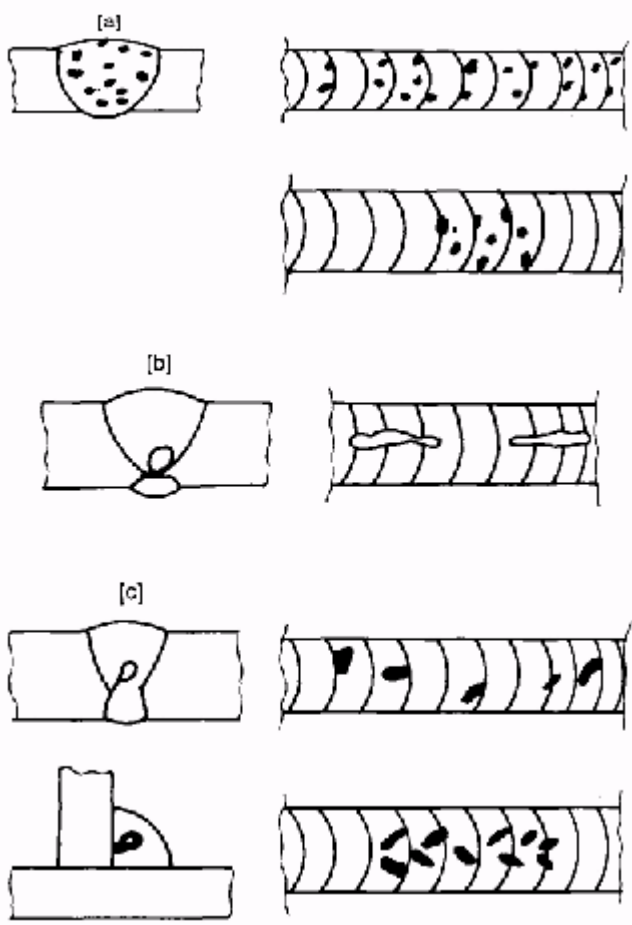


Şekil 97 — Kaynak dikişinde taşma (şematik).

GÖZENEKLER

Eriyen elektrod ile gazaltı kaynak yönteminde en sık karşılaşılan kaynak hatası gözeneklerdir. Çok çeşitli oluşum nedeni olan gözenekler kaynak banyosunda sıkışıp kalan gazların oluşturduğu boşluklardır. Bunlar gaz kabarcığı denilen tek tek yuvarlak veya gaz kanalı diye adlandırılan uzunlamasına boşluklar halinde dikiş içinde yer alırlar. Gözeneklerin oluşum nedenleri çok çeşitlidir ve Şekil 98'de bunlar etraflıca açıklanmıştır.

Bir kaynak dikişinin içerisinde bulunan gözenekler, dikişin taşıyıcı kesitini azalttığından dayanım değerlerini düşürür ve aynı zamanda yerel gerilme birikmelerine neden olur. Bu durum bağlantının mekanik özelliklerini kötüleştirir. Gözenekler özellikle yorulma dayanımını azaltan bir etki yaparlar. Ancak, dağılmış gayet küçük gözenekler, birleştirmenin statik dayanım değerlerini fazla etkilemezler. Yüksek dinamik dayanım istenen konstrüksiyonlarda fazla gözenek içeren dikişler sökülerek yeniden kaynak yapılır.

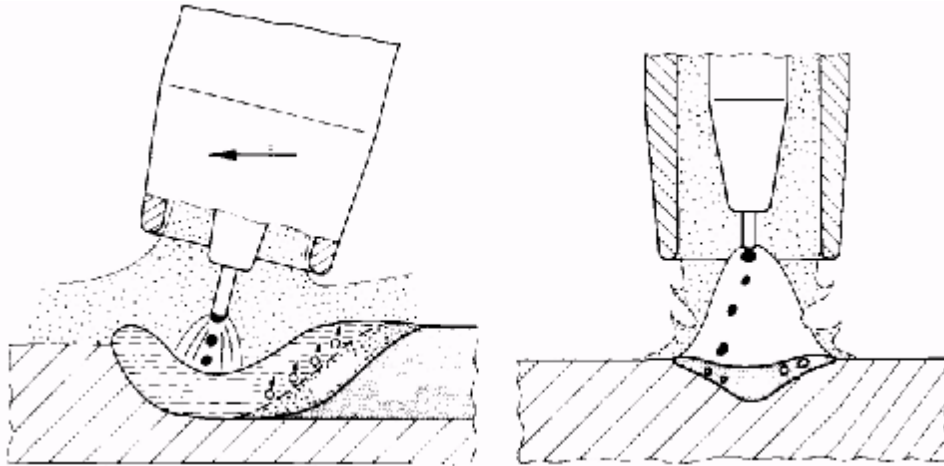


a- Yuvarlak gözenekler

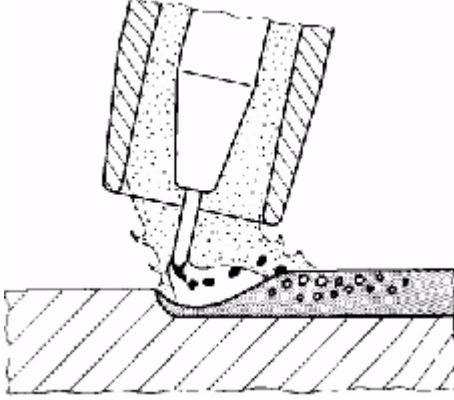
b- Boylamasına gözenekler

c- Gözenek kanalları

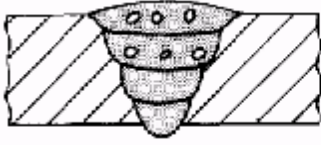
Şekil 98 — Kaynak dikişlerinde karşılaşılan çeşitli gözenek tiplerinden örnekler.



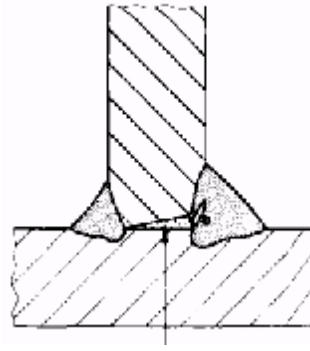
Kaynak banyosunda gözenek oluşumu



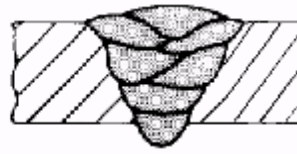
Ark üfleminin neden olduğu gözenekler



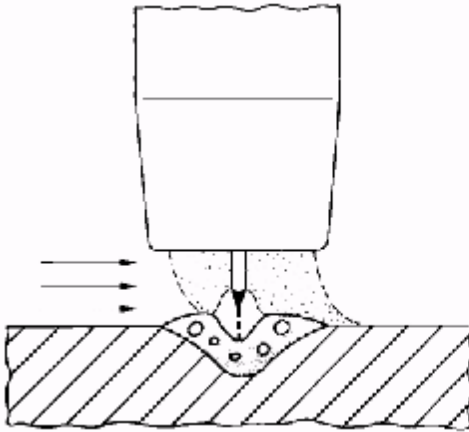
Uygun olmayan gaztel kombinasyonu nedeni ile segregasyon bölgesinde gözenek oluşumu



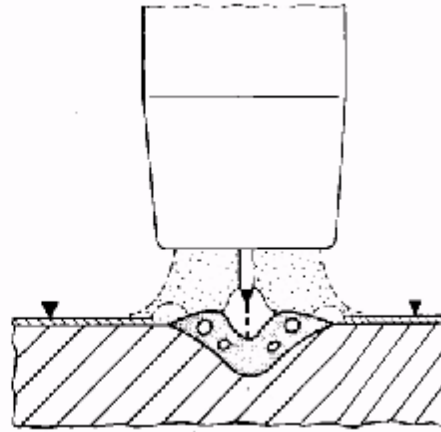
İç kısımda hapsolmuş gazın neden olduğu gözenekler



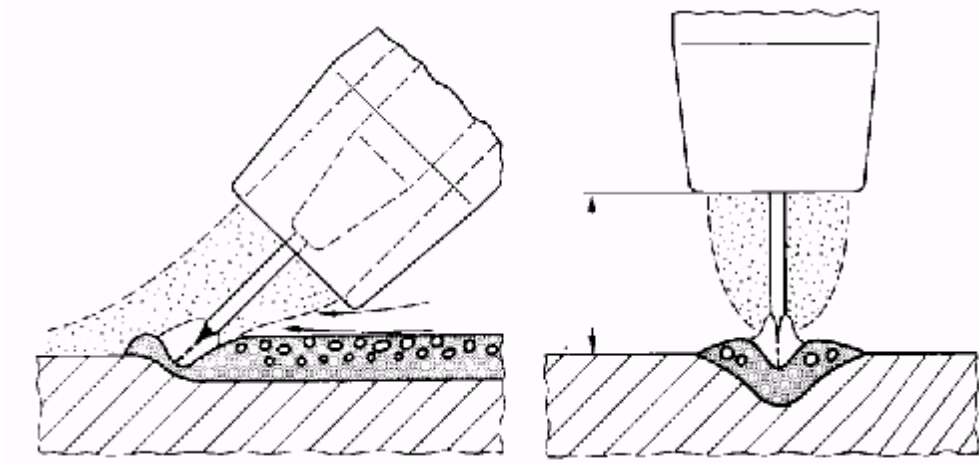
Hatalı paso şeklinin neden olduğu gözenekler



Hava akımının neden olduğu gözenekler.

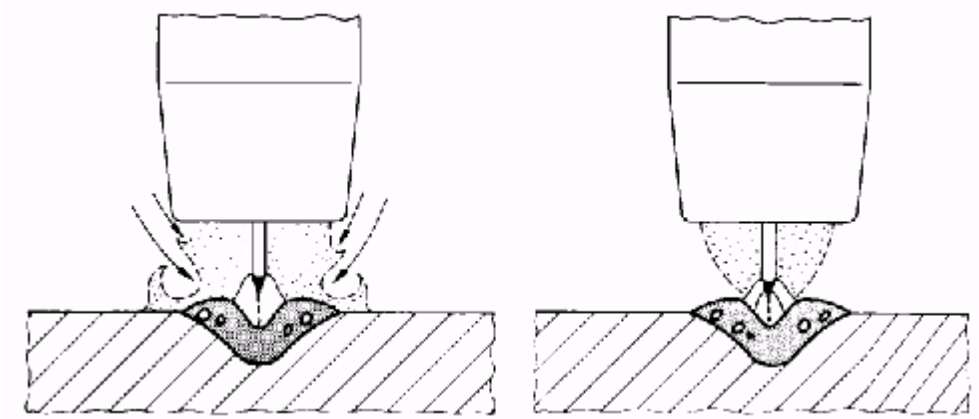


Parça yüzeyindeki kir ve yağın neden olduğu gözenekler



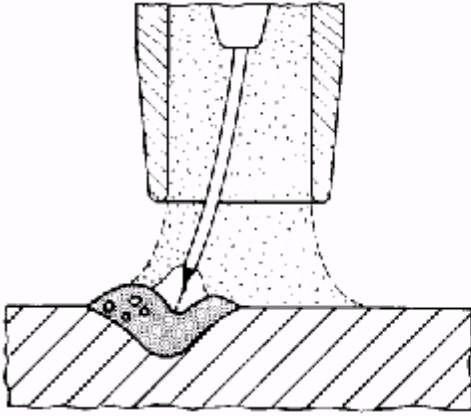
Hamlacın fazla eğik tutulmasının
ne'den olduğu gözenekler

Uzun serbest tel boyunun neden
olduğu gözenekler

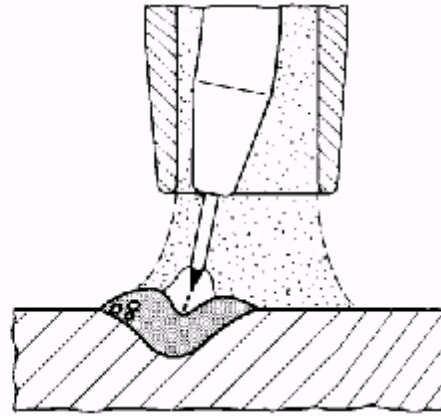


Koruyucu gaz fazla

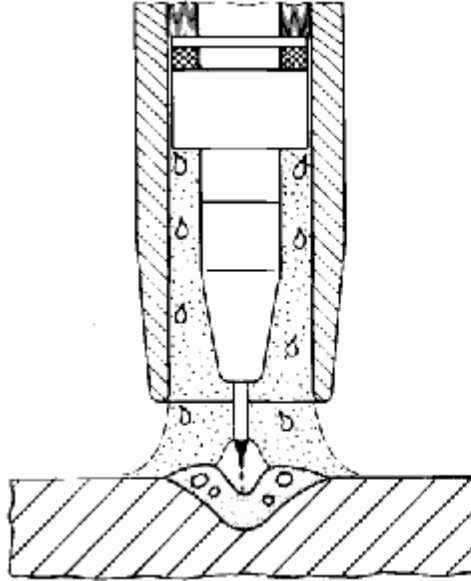
Koruyucu gaz az



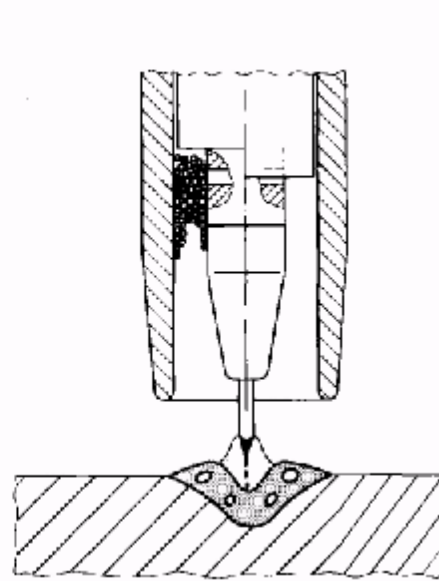
Serbest tel uzunluğu fazla



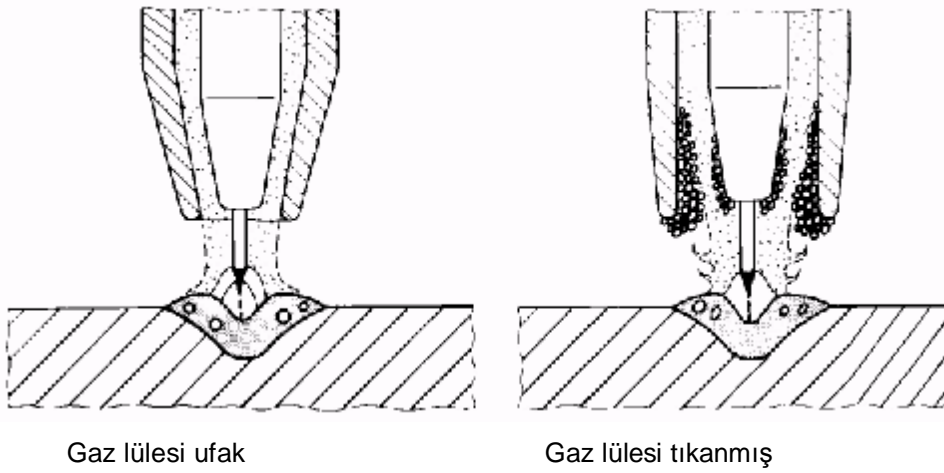
Kontak borusu eğrilmiş



Soğutma suyu koruyucu gaza karışıyor



Lüle kısmen tıkanmış veya izolasyon ringi hatalı monte edilmiş



Şekil 99 — Yanlış kaynak parametrelerinin seçilmesi veya hatalı hamlaç hareketinin neden olduğu gözenekler.

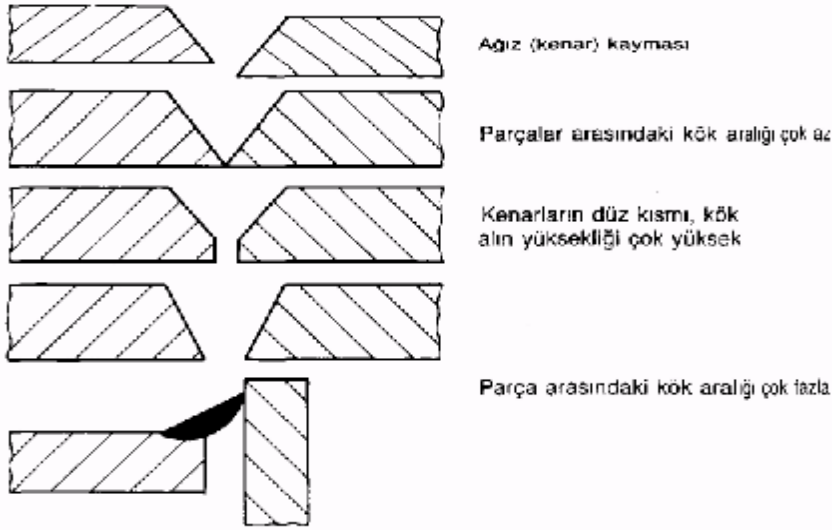
HATALI KAYNAK ŞEKLİ VE BOYUTU

Genellikle, diğer bakımlardan hatasız, fakat dikişin şekli ve boyutu bakımından farklı kaynaklar bu gruba girer. Bu kaynaklarda, dikiş istenen şekil ve ölçülere uymaz. Bu hatalar, fazla içbükey veya dışbükey, yüzey bozukluğu, kalınlık azlığı ve eşit olmayan dikiş uzunluğu şekillerinde olabilmektedir. Hatalı kaynak boyut ve şekillerinin oluşumlarının başlıca nedenleri yanlış kaynak tekniklerinin uygulanmasıdır. Örneğin, köşe birleştirmelerindeki düşük akım şiddeti dışbükeylik ve yüksek akım şiddeti de içbükeylik oluşturmaktadır. Bunlara, kaynak anında torçun tutuluş şekli de önemli derecede etkimektedir.

Yukarıdan aşağıya veya yatay pozisyonlarda yapılan içköşe kaynaklarında düzgün olmayan boyutların oluşması el hareketlerine bağlıdır. Korniş pozisyonundaki kaynaklarda geniş pasoların çekilmesi zordur. 6 ilâ 8 mm'den yüksek içköşe dikişlerinde, oluk durumunda kaynak yapma olanağı yoksa çok pasolu kaynak yöntemi uygulanmalıdır.

MIG-MAG kaynağında, alın birleştirmelerinde dikiş kalınlığının az veya fazla olmasına aşağıdaki faktörler etki ederler:

- a- Yanlış bir çalışma tekniği,
- b- Kaynak ağızlarının iyi hazırlanmaması,
- c- Elektrod çapının uygun seçilmemesi,
- d- Uygulanan akım şiddeti,
- e- Çekilen pasoların sayısı,
- f- Kaynak hızı.



Şekil 100 — Kaynak ağzlarının iyi hazırlanmaması sonucu ortaya çıkan hatalar.

Fazla içbükey ve düzgün olmayan içköşe dikişleri, kaynak yerinin kalınlığını azalttığından, bağlantının dayanımını düşürür. Aşırı dışbükey ve düzgün olmayan içköşe dikişleri de kaynak yüksekliğine ve dolayısı ile bağlantının dayanımına etki eder. Çok fazla dışbükey dikişlerde de, genel olarak yetersiz nüfuziyet ve birleşme azlığı gibi hatalar da bulunmaktadır. Ayrıca, fazla dışbükeylik, dikişlerde taşmalara da neden olur. Bu taşmalar da, bölgesel çentik etkisi oluşturduğundan, buralarda gerilme birikmesi görülür. Dolayısıyla bağlantının yorulma dayanımı azalır. Alın birleştirmelerindeki fazla yükseklik de birleştirmenin, yorulma dayanımını azaltmaktadır. Kalınlık azlığı ise kesiti küçülteceğinden, bağlantının statik dayanımını düşürür.

Aşırı içbükeylik veya kalınlık azlığı, yeniden bir paso kaynak yapmakla ortadan kaldırılır. Aşırı dışbükey dikişlerdeki fazlalıklar ise keski veya taşlama ile kaldırılır. Yeniden kaynak yaparken özellikle temizliğe ve arada cüruf kalmamasına çok dikkat edilmelidir.

SIÇRAMALAR

Kaynak anında çeşitli nedenlerle meydana gelen patlamaların, etkisiyle oluşan, küçük metal parçacıkların etrafa sıçramasıdır. Bunlar gerek kaynak dikişinin gerekse esas metalin yüzeyinde istenmeyen ve mutlaka temizlenmesi gereken küresel kabarcıklar oluştururlar. Aşırı sıçrama kaynak dikişinin görünüşünü bozduğu gibi gereksiz elektrod sarfına da neden olur. Sıçramalar, üzerine kaynak metali yığıldığında, arada kalarak yapışmamaya da neden olduğundan, özellikle çok pasolu kaynak halinde bu konuya dikkat etmek gereklidir. MIG-MAG kaynağında ayrıca sıçrayan metal damlacıkları torçun gaz lülesine yapışarak tıkanmasına veya koruyucu gaz akımının türbülansına neden olur. Ark gerilimin yükselmesi, akım şiddetinin artması ve tel serbest ucunun büyük olması sıçramaları artırır. Genel olarak karbondioksitin koruyucu gaz olarak kullanılması halinde diğer *gazlara* nazaran daha fazla sıçrama görülür. Sıçramanın en önemli sakıncaları, metal kaybı ve temizlenmek için harcanan

zamandır. Bu hatanın, bağlantının dayanımı yönünden görünür bir etkisi yoktur. Sıçramayı yok etmek için, kaynak yerini veya esas metali bir keski yahut fırça ile temizlemek gerekir.

DİKİŞ YÜZEYİNİN FENA GÖRÜNÜŞÜ

Bu hata, dikişin yüzeyinde gözenek, cüruf kalıntısı, düzgün olmayan tırtıl oluşumu, dikişin tekrar başladığı noktalarda fena birleşme ve kraterler içermesidir.

Düzgün olmayan dikiş yüzeyinin ve yüzey çıkıntılarının oluşması, MIG-MAG kaynak yönteminde yanlış kaynak tekniklerinin uygulanmasına bağlıdır. Kaynağın, dış görünüşü hakkında bir karara varmadan önce, kaynak pozisyonu değerlendirilerek, birleştirilecek yerlerin daima kaynakçının elektrodu kolayca hareket ettirebileceği bir duruma getirilmesi sağlanmalıdır.

Kaynak dikişinin fena bir görünüşe sahip olması, bağlantının yorulma dayanımına etki eder. Yüzeydeki hatalar bölgesel gerilme alanlarına, bunlar da yorulma çatlaklarının oluşmasına yol açarlar. Statik yüklemde dikişin dış yüzeyindeki hatalar, bağlantının dayanımını pek etkilemezler. Yüzeydeki bu kusurlu kısımlar türlü şekillerde ortadan kaldırılıp, yeniden kaynak yaparak onarılır.

MIG-MAG KAYNAĞINDA İŞ GÜVENLİĞİ

Kaynak işlemleri esnasında üzerinde dikkatle durulması gereken en önemli hususlardan bir tanesi de iş güvenliği ve işçi sağlığı konusudur. Ülkemizde gün geçtikçe daha yaygın bir biçimde kullanılmakta olan MIG-MAG kaynağı uygun bir düzen içinde uygulandığında kaza olasılığı çok düşük olan bir kaynak yöntemidir; iyi düzenlenmiş, iyi aydınlatılmış bir atölye, bakımlı ve kusursuz kaynak makine ve donanımları, iyi eğitilmiş personel güvenli çalışmanın başlıca unsurlarıdır.

MIG-MAG kaynak yönteminde karşılaşılan tehlikeler şu şekilde sıralanabilir:

a.- Elektrik şoku,

b.- Ark ışınımı,

c.- Hava kirlenmesi,

d.- Basıncılı gaz tüpleri,

e.- Yangın ve yanık tehlikesi,

f.- Kaynak işlemi öncesi parça hazırlamada ve kaynak sonrası temizleme işlemi esnasında ortaya çıkan tehlikeler.

ELEKTRİK ŞOKU (ELEKTRİK ÇARPMASI)

Elektrik şokunun tehlike derecesi insan vücudundan geçen akımın şiddeti ile gerilimine bağlıdır. MIG-MAG kaynağında kaynak akımı olarak doğru akım kullanılması ve boşta çalışma geriliminin 70 Voltun altında olması elektrik şoku tehlikesini azaltmakta, buna karşın kaynakçının vücudunun terli veya ıslak olması ise bu tehlikeyi arttırmaktadır.

MIG-MAG kaynak yönteminde elektrik şokundan korunmak için şu hususlara dikkat etmek gereklidir:

Kaynak torç'unun kaynakçı ile temas eden kısımları iyi bir biçimde izole edilmiştir; yalnız elektrod ve onunla direk temas eden kısımlar akım yüklüdür, bu bakımdan elektrodun kesilmesi, temizlenmesi ve çıkarılıp takılması esnasında, izole edilmemiş kısımlar ile temas edileceğinden bu tür işlemlerden önce akımın kesilmesi gereklidir. Akımı kesmeden bu tür işlere kalkmak elektrik şokuna neden olur.

Aşırı yüklenen kaynak kablolarında şiddetli bir ısınma oluşur ve bunun sonucu kablonun izolasyonu yumuşar ve hatta yanabilir. Bu gibi hallerde kablonun hemen değiştirilmesi gerekir, aksi takdirde izolasyon ortadan kalktığı için bu kısımla temas elektrik şokuna neden olur. Kablolar başlangıçta takılırken maksimum elektrik akımı gözönüne alınarak seçilmelidir.

Suyu nakleden hortum bağlantılarının da sızdırmayacak bir biçimde sıkıştırılması gerekir. İyi sıkıştırılmayan bir hortumun yanında elektrik akımı ile yüklü bir iletken var ise, su sızması büyük tehlikeye neden olur.

Kumanda kutusu, kaynak makinası ve diğer parçaların topraklanması gereklidir. Topraklamanın yeterli ve iyi bir şekilde yapılmasına bilhassa dikkat edilmelidir.

ARK IŞINIMI

Açık kaynak arkının toplam enerjisinin % 15'inin ışın halinde çevreye yayıldığı öteden beri bilinmektedir. Bu enerjinin % 10'u ultraviyole, % 30'u parlak veya görünen ışınlar geri kalanı ise enfraruj ışınlarıdır.

Parlak veya görünen ışınlar gözleri kamaştırarak geçici görme bozukluklarına neden olurlar, bu olayın sürekli tekrarı ise doğal olarak gözün görme kabiliyetinin azalmasına neden olur.

Ultraviyole ve enfraruj ışınları insan gözü tarafından görülmediklerinden, bu ışınlar yalnız olarak etkilediklerinde insan refleksi ile göz kapağını kapatıp koruma yoluna gitmez. Ultraviyole ışınları göz tarafından absorbe edildiğinde, gözlerde bir yanma, sulanma, ışığa karşı aşırı bir duyarlık şeklinde ortaya çıkan bir rahatsızlığa neden olur; gözler 4 ilâ 8 saat sonra kanlanır, gerekli tedavi uygulanırsa 24 saatte iyileşme başlar ve kalıcı bir kusurun oluşması önlenmiş olur; bu olayın da sık sık tekrarı kalıcı görme bozukluklarının ortaya çıkmasına neden olur. Gözleri görünen ışınlardan koruyan renkli maske camlarının kaliteli türleri gözleri bu ışınlardan da korur.

Enfraruj ışınları dalga boylarına göre gözün ön ve arka kısımlarında tahribat yapar. Kısa dalga boylu enfraruj ışınları gözde ağ tabakasının yanmasına neden olur ve bu da sonuçta körlüğe kadar gider. Uzun dalga boylu enfraruj ışınları ise göz merceğinin saydamlığını yitirmesine ve sonuçta da katarakt diye adlandırılan bir göz hastalığının gelişmesine neden olur. Bu hastalık ameliyat ile tedavi edilebilirse de kişi görme yeteneğinin büyük bir kısmını yitirmesine neden olur.

MIG-MAG kaynağında ark etrafında duman bulunmadığından ve akım yoğunluğu da yüksek olduğundan aynı akım şiddetinde örtülü elektrod ile yapılan ark kaynağına nazaran gözlerin daha koyu bir maske ile korunması gereklidir. Bütün kaynak yöntemlerinde gözlerin korunması için kullanılan maske camları DIN 4647'de sınıflandırılmıştır.

Kaynakta ortaya çıkan ışınlar gözler için olduğu gibi cilt içinde tehlikelidir. Enfraruj ışınları ciltte yanma hissi yapar, aşırı biçimde bu ışınlar maruz kalındığında ciltte ateş yanığına benzer yanıklar oluşur. Ultraviyole ışınları ise ciltte güneş yanığını andıran oldukça ızdırap verici yüzeysel yanıkların oluşmasına neden olur. Bazı hallerde, kaynak atölyesinde direkt olarak kaynak yapmayan kişiler sıvalı kollar ile çalışırlar, böyle durumlarda hemen bunların kolları yanar; birden fazla kaynakçının birbirleri ile sırt sırta çalışması halinde kaynakçı el maskesi kullanırsa ensesinde yanıklar ortaya çıkar. Açık ark ile kaynak yapılması halinde kaynakçılar muhakkak miğfer giymelidirler; el maskesi sadece puntalama için uygundur.

		Akım Şiddeti A									
		50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
TIG		9	10	11	12	13	14 →				
MIG	Çelik	10	11	12			13			14	
	Alüminyum	10	11	12	13	14		15			
MAG		10	11	12	13		14		15		

Uzun süre kullanım halinde bir üst numara seçilir.

Şekil 101- MIG-MAG kaynağında DIN 4647 göre gözler için önerilen maske camları.

Ultraviyole ışınları tüm organik maddelerde tahribata neden olur, bilhassa normal elbiseler kaynak yapılan yerlerde kısa bir süre sonunda sertleşir ve parçalanır, bu bakımdan kaynakçılar deri elbise giymelidirler.

HAVA KİRLENMESİ

Kaynak yaparken oluşan gaz, duman ve buharlardan solunum sisteminin korunması insan sağlığı açısından en önemli hususlardan bir tanesidir. Kaynakçılar gerek yüzey hazırlama ve gerekse de kaynak anında toz duman ve buharların etkisinde kalırlar.

MIG-MAG kaynağında daha çok çıplak tel elektrod kullanıldığında, havadaki mineral parçacık bakımından örtülü elektrod haline nazaran daha az bir kirlenme vardır ama buna karşın kaynak yapılan yerin uygun bir şekilde havalandırılması gereklidir, zira asal gazların yanı sıra, karbondioksit, karbonmonoksit ve ozon gibi gazların kaynakçı tarafından solunulması tehlikelidir. Kaynak işlemi dar aralıklarda küçük kapların içinde yapıldığında, kaynakçı miğferi içine taze hava gönderen özel bir tertibat kullanılmalı ve kaynakçının yanında daima ikinci bir kişi bulunmalıdır. Karbondioksitin koruyucu gaz olarak kullanılması halinde ark bölgesindeki ayrışma sonucu ortaya çıkan karbonmonoksitin kaynakçının sağlığı için tehlike oluşturup oluşturmadığı uzun yıllar tartışma konusu olmuştur. Yapılan çalışmalar, bu konuda yapılan araştırmalar, karbonmonoksitin büyük bir kısmının kaynak bölgesinde tekrar karbondioksite dönüştüğünü ve kalan kısmının da normal çalışma koşullarında tehlike yaratmadığını ortaya koymuştur.

Kaynak işlemi hiçbir zaman yağ giderme ve kimyasal temizleme işlemlerinin yapıldığı yerlerin yakınında yapılmamalıdır, zira buralarda kullanılan klorlu solventlerin buharları arkta fosgen adı verilen zehirli bir gaza dönüşür. Kurşun, bakır, berilyum-bakır alaşımları, kadmiyum ve çinko gibi metal ve alaşımların kaynak edildiği atölyelerde muhakkak özel bir havalandırma sistemine gerek vardır, zira bu metal ve alaşımların buharlarının solunulması insan sağlığı açısından çok tehlikelidir.

sürekli olarak sekiz saat soluması sonucunda, sağlığında bir bozulma meydana getirmeyen sınır değer olarak tanımlanır.

BASINÇLI GAZ TÜPLERİ

MIG-MAG kaynağında kullanılan koruyucu gazlar basınçlı tüplerde depolanmış olduklarından, bunların kullanılmasında bir olaya neden vermemek için gereken itina gösterilmelidir. Kullanma esnasında tüpler devrilmeyecek bir biçimde duvara veya özel taşıma tertibatına bağlanmalıdır. Bunlar kullanılmadıkları sürece ve taşınmaları esnasında muhakkak koruyucu başlıkları takılmalıdır.

Kullanma esnasında, basınç düşürücü vana ve regülatör tüpe takıldıktan sonra, tüp vanası yavaş yavaş açılmalı ve bu esnada kaynakçı, basınç düşürme tertibatının yüz kısmından kendini uzak tutmalıdır. Valf kötü takılma veya uygun kullanma sonucu yerinden çıkarsa gaz tüpü bir roket gibi yerinden fırlar ve kazaya neden olur.

Tüpler hiçbir zaman (bilhassa CO₂ tüpleri) yerde yatık vaziyette kullanılmamalı ve direkt güneş ışınlarına maruz kalmamalıdır.

Boş veya dolu tüplere taşınmaları esnasında gereken itina gösterilmeli ve oradan buraya atılıp savrulmamalıdır.

YANGIN TEHLİKESİ

Arktan sıçrayan kıvılcıklar (kızgın metal zerrecikleri)ve kaynak işleminin sıcaklığı çevrede yanıcı maddeler varsa yangına neden olabilirler. Kaynak yapılan mahallerde aşağıda belirtilmiş olan önlemler yardımı ile yangın tehlikesi minimum düzeye indirilmiş olur:

1.- Kaynak yapılan yerin zemini beton gibi yanmayan türden yapılmış olmalıdır; ahşap zeminler asbest levhalar gibi yanmayan türden bir malzeme ile kaplanmalıdır. Saclar ve ıslak kum elektrik iletkenlikleri dolayısı ile zemin malzemesi olarak tavsiye edilmezler.

2.- Kaynak işlemi hiçbir zaman yanıcı ve parlayıcı maddelere yakın yerlerde yapılmamalıdır. Eğer çok özel hallerde böyle bir işlem gerekirse ancak ilgili kişilere haber verilerek, gerekli bütün önlemler alındıktan sonra kaynak işlemine başlanmalıdır.

3.- Kaynak kabloları ve elektrik bağlantıları maksimum akım şiddetinde dahi aşırı derecede ısınmayacak bir kesitte seçilmelidir. Eski, izolasyonları aşınmış veya zedelenmiş kabloların herhangi bir kısa devre veya yangına neden olmamaları için kullanılmamalıdır.

4.- Önceden içerisinde alkol, benzin, aseton, katran ve yağ gibi ateşle teması sonucunda tehlike yaratan sıvıların bulunduğu, boş kabloların kaynağında çok dikkatli davranmak gereklidir. Bu kablarda daima patlayıcı gaz karışımı oluşturabilecek kadar bir artıktır. Bu gibi kablolar diğer bütün kaynak yöntemlerinde olduğu gibi, gerekli temizleme işlemi yapıp, içleri su ile doldurulduktan sonra kaynak edilmelidirler.

5.- Özellikle yerinde yapılmış tamir işlerinde kaynak bitiminden 30 dakika sonraya kadar kaynak yapılan yer gözetim altında tutulmalıdır.

6.- Kaynak atölyelerinde ve diğer yerlerde gereken miktarda yangın söndürme aleti

bulundurulmalıdır.

MIG-MAG KAYNAK YÖNTEMİNİN ENDÜSTRİYEL UYGULAMALARI

Endüstriyel uygulamalarda özellikle el ile yapılan kaynaklarda MIG-MAG yöntemi arzettiği yüksek erime gücü ve kaynak hızı ile son yıllarda rakipsiz hale gelmiştir. Yöntemin hem demir esaslı hem de demir dışı malzemelere her pozisyonda uygulanabilirliği, kullanma alanını genişletmektedir.

Yöntemin otomasyona yatkınlığı ve robotlar ile kullanılabilirliği hem kaynak dikişi kalitesinin yükselmesine ve hem de hızın artmasına yardımcı olmaktadır. Yüksek kaynak hızlarının ve erime gücünün gerekli olduğu yerlerde MIG-MAG yöntemi günümüzde en sık başvurulan kaynak yöntemi olmuştur.

MIG-MAG kaynak donanımlarının diğer sürekli tel elektrod kullanan kaynak yöntemlerinden daha hafif olması taşınabilirliğini kolaylaştırmakta ve bu da uygulama alanının özellikle şantiyelere kadar yayılmasına neden olmaktadır. Günümüzde MIG-MAG yöntemi şantiyelerde özellikle boru kaynaklarında ve pipe-line döşeme işlerinde gittikçe artan bir biçimde kullanılmaktadır.

MIG-MAG kaynak yönteminin özellikle uygulama alanı bulunduğu endüstri dalları şu şekilde sıralanabilir.

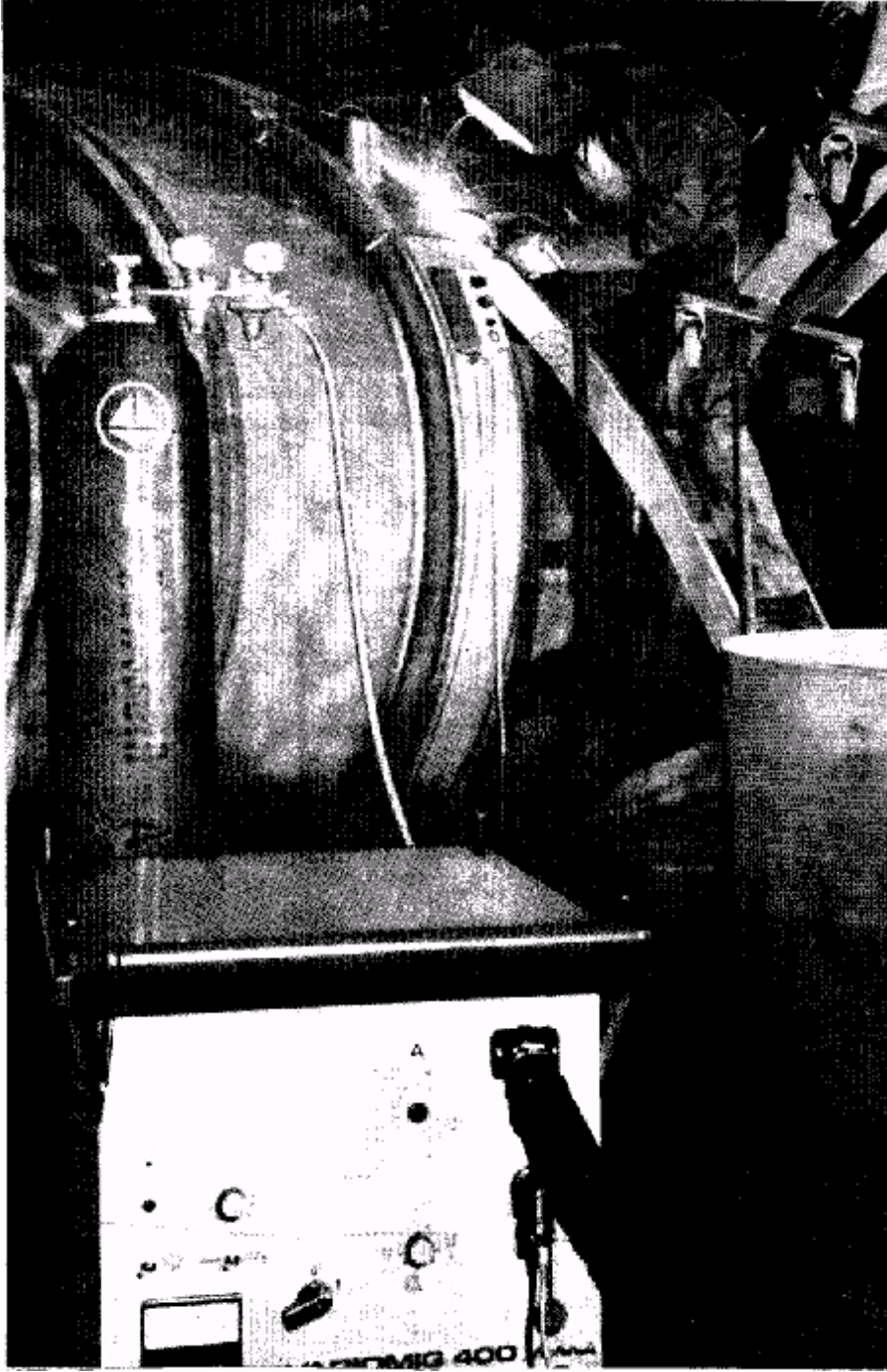
BASINÇLI KAP ÜRETİMİ

MIG-MAG kaynak yöntemi günümüzde basınçlı kap üretiminde en yaygın uygulama alanı bulan kaynak yöntemlerinden bir tanesidir. Sade karbonlu, az alaşımlı ve paslanmaz çelik basınçlı kapların kaynağında olduğu gibi demir dışı metal ve alaşımlardan yapılan basınçlı kapların üretimi için de çok uygun bir yöntemdir.

Basınçlı kap üretiminde düşük ısı girdisi pek çok halde arzu edilen bir husustur ve MIG-MAG yönteminde hızlı ve ince pasolar çekerek ısı girdisini en aza indirmek mümkün olmaktadır, darbeli akım yöntemi ile ısı girdisi daha da sıkı bir biçimde kontrol altında tutulabilmektedir; ayrıca çok iyi bilindiği gibi çok pasolu kaynak, tek paso ile yapılmış kaynak bağlantılarına nazaran daha tok bir davranış göstermektedir. MIG-MAG yöntemi bu bakımdan gerek örtülü elektrod ve gerekse de tozaltı yöntemine göre çok büyük bir avantaj sunmaktadır; ayrıca her pozisyonda uygulanabilirliği tozaltı yöntemine göre en önemli üstünlüğüdür. Özellikle kalın cidarlı kapların üretiminde MIG-MAG yöntemi kök pasosu için uygulanmakta, doldurma ve kapak pasoları tozaltı yöntemi ile yapılmaktadır.



Şekil 102- Bir soğutma tesisi basınçlı kabının MIG-MAG yöntemi ile kaynatılması.



Şekil 103- Kimya endüstrisi için bir reaktörün MIG-MAG yöntemi ile kaynatılması.

ENDÜSTRİYEL BORU TESİSATI

MIG-MAG yöntemi endüstriyel boru tesisatı döşenmesinde de geniş bir uygulama alanına sahiptir. Bu yöntem özellikle, karbonlu ve alaşımlı çelik, paslanmaz çelik, alüminyum, bakır ve nikel boruların kaynatılmasında yüksek erime gücü nedeni ile örtülü elektroda göre büyük bir üstünlük sunmaktadır.

Bu uygulamada genellikle ince çaplı tel elektrod ile kısa ark boyu kullanılır. Puntalama işleminde gereken teknik ve uygun kaynak parametrelerinin seçilmesi halinde gereken nufuziyet sağlanamaz. Özellikle kalın kesitli borularda ve kritik parçalarda iyi yetişmiş usta kaynakçılar kullanılmalı ve iyi nufuziyet sağlamayan dikişler muhakkak sökülmelidir.

Karbonlu çelik boruların kaynağında Co_2 ve argon karışımları, diğerlerinde ise yerine göre saf argon veya argon esaslı karışım gazlar kullanılmalıdır. Aralarında kök aralığı bırakılmış olan yatay pozisyondaki boruların kök pasoları yukarıdan aşağıya doğru çekilmelidir; doldurma ve kapak pasoları ise yukarıdan aşağı veya aşağıdan yukarı olarak çekilebilir.

MIG-MAG yöntemi yüksek erime gücü nedeni ile pek çok halde de kök pasosu TIG yöntemi ile çekilmiş kaynak bağlantılarının doldurma ve kapak pasolarının yapımında kullanılmaktadır.

BORU HATLARI (PIPE-LİNE)

MIG-MAG kaynağı kırsal bölgelerden geçen gaz, petrol borularının kaynağında geniş çapta kullanılmaktadır. Arazideki kaynaklı birleştirmeler için elektrik akımı dizel veya benzin motoru tahrikli üreteçler tarafından sağlanmaktadır.



Şekil 104-1200 mm. bir borunun kök pasosunun MIG-MAG yöntemi ile yapılması

Hemen hemen bütün boru hatları karbonlu çeliklerden yapıldıklarından kaynakta koruyucu gaz olarak Co_2 ve Co_2 - Ar karışımları kullanılır ve uygulamada çok sık zor kaynak pozisyonları ile karşılaşıldığından ince teller tercih edilir.

MIG-MAG yöntemi boru hatlarının kaynağında çok değişik biçimlerde uygulanır, bazı hallerde kaynak dikişinin tümü bu yöntem ile diğer bazı durumlarda ise kök paso örtülü elektrod, dolgu ve kapak pasoları ise MIG-MAG yöntemiyle yapılır. Bu iş için özel olarak A.B.D.'de hem yatay hem düşey karakteristikli kaynak akımı üreten dizel tahrikli generatörler geliştirilmiştir.

Arazide gerçekleştirilen bu kaynak işlemlerinde en önemli sorun kaynak bölgesinin rüzgârdan

korunmasıdır, zira rüzgâr koruyucu gazın uzaklaşmasına neden olur ve kaynak banyosu korumasız kalır; arazi çalışmalarında özel olarak yapılmış rüzgâr siperleri kullanılır.

Boru hatlarının kaynağında prodüktiviteyi arttırabilmek için otomatik donanımlar da geliştirilmiştir; bunlar arazide kolaylıkla nakledilebilecek büyüklüktedirler. Böyle bir otomatik donanımın kullanılması halinde boruların birbirlerine uydurulması ve birbirlerini ağızlaması daha hassas bir biçimde yapılmalıdır.



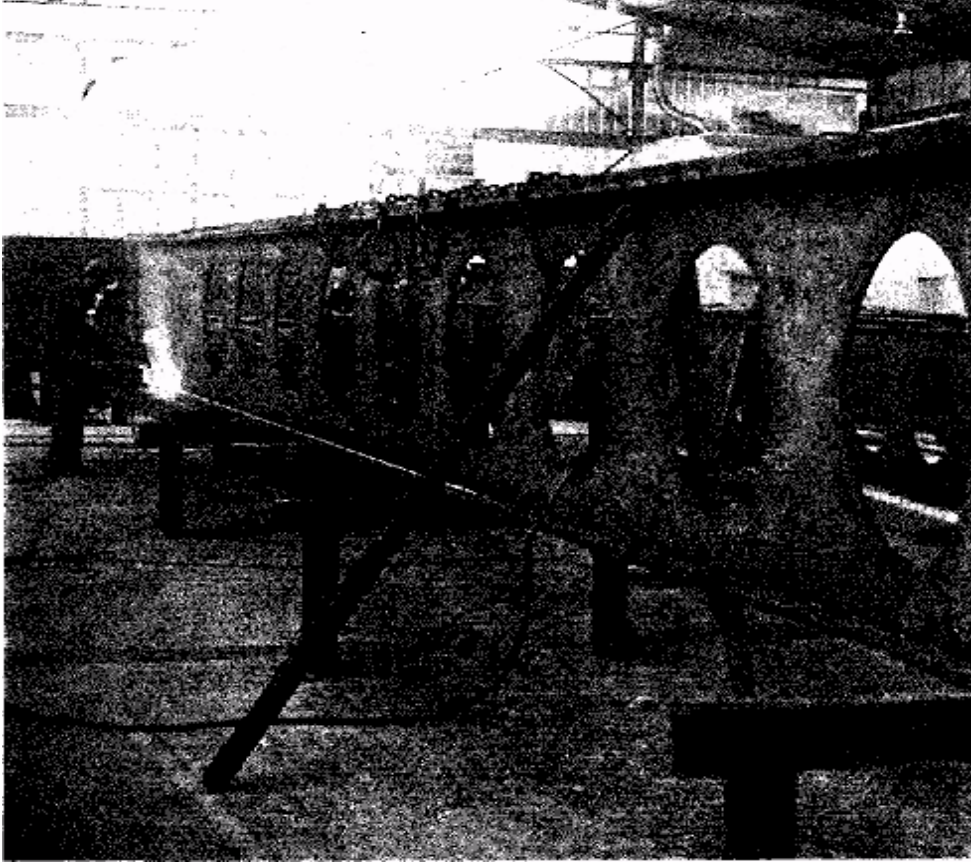
Şekil 105- Küçük çaplı bir boru hattının arazide MIG-MAG yöntemi ile kaynatılması

NÜKLEER ENDÜSTRİ

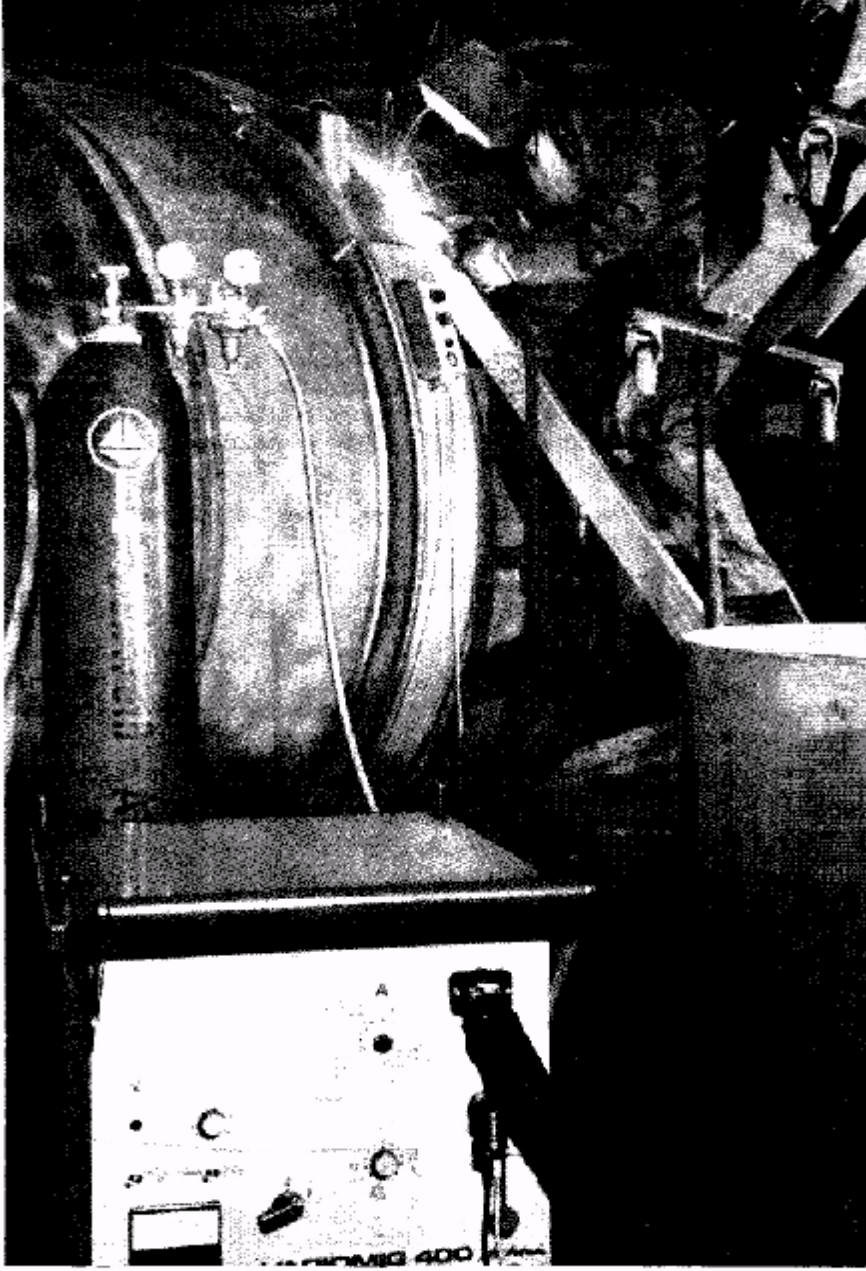
MIG-MAG yöntemi nükleer endüstride sınırlı bir uygulama alanına sahiptir; reaktörün esas kısımları dışında bulunan filtrasyon sistemi vb. ikincil kısımların kaynatılmasında kullanılmaktadır.

METAL YAPILAR

Metal yapılar endüstrisi çelik ve alüminyum konstrüksiyonlu binalar, çelik köprüler ve kreynleri kapsar. MIG-MAG kaynak yöntemi bu endüstri dalında örtülü elektroda nazaran yüksek erime gücü nedeni ile tercih edilmektedir. Uzun mesafelere tel sevkedeabilen tel sürme tertibatlarının geliştirilmesi bu yöntemin, bu sahada da geniş uygulama alanı bulmasına yardımcı olmuştur.



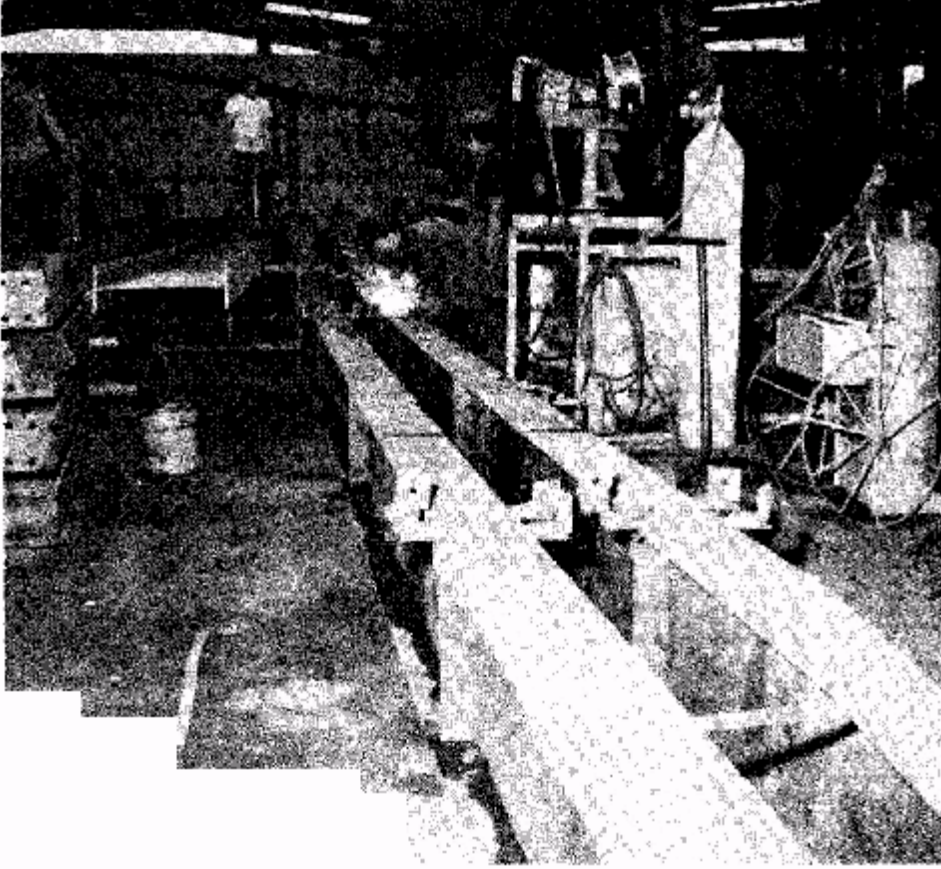
Şekil 106- Bir kirişin MIG-MAG yöntemi ile kaynatılması



Şekil 107- Bir alüminyum çatı konstrüksiyonunda MIG uygulaması.

Montaj yerlerinde daha ziyade dizel veya benzin motoru ile tahrik edilen jeneratörler kullanılır. Uygulama da çok çeşitli kesitler ile kaynak ağızları kullanıldığından burada her çapta tel kullanılır.

Alüminyum ve diğer demir dışı metallerden gerçekleştirilen konstrüksiyonlarda MIG yöntemi rakipsizdir. Sahada yapılan uygulamalarda gaz sarfiyatını azaltmak ve kaynak banyosunun korunması için uygun dizayn edilmiş rüzgâr siperlerine gerek vardır. Özellikle son yıllarda geliştirilmiş darbeli akım yöntemi, montajlarda en zor pozisyonlardaki dikişlerin dahi bu yöntemle yapılmasına olanak sağlamıştır.



Şekil 108- Bir kirişe, braketlerin MIG-MAG yöntemi ile kaynatılması.

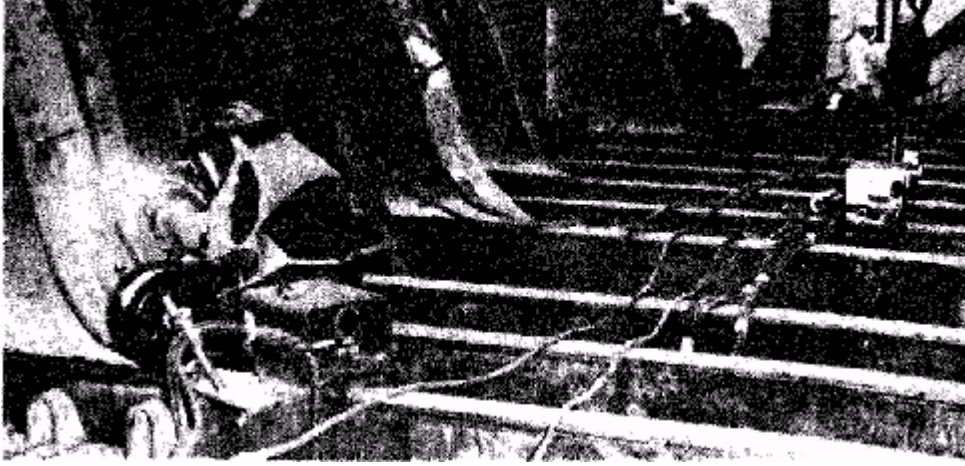
GEMİ YAPIMI

Hemen hemen bütün eritme kaynak yöntemlerinin uygulama alanı bulduğu gemi inşa endüstrisinde de MIG-MAG yöntemi günümüzde önemli bir yere sahiptir. Zira örtülü elektroda nazaran daha yüksek bir erime gücüne, diğer tel sürme tertibatlı yöntemlere nazaran da her pozisyonda uygulanabilme özelliğine sahiptir. Orta büyüklükteki bir gemide dahi kilometrelerce kaynak dikişinin varlığı bu iki özeliğin, bu endüstri dalında ne derece önemli olduğunu ortaya koymaktadır.

Özellikle demir dışı metal ve alaşımlarından imal edilmiş gemiler için MIG yöntemi rakipsizdir. Son yıllarda geliştirilmiş olan taşınabilir tel sürme tertibatları sayesinde kaynakçı gemi içerisinde daha kolay hareket ederek, en zor pozisyonlardaki kaynakları dahi MIG-MAG yöntemi ile yapabilmektedir.

Özellikle tersanelerde gemi gövdesinin yan dikmelerinin saclara dik pozisyonda kaynağında 1.1 ve 1.2 mm.lik tel kullanılarak MAG yöntemi ile örtülü elektroda nazaran üç kere daha hızlı kaynak yapabilme olanağı doğmuştur.

Gemi inşaatında kaynakta en önemli sorunlardan birisi olan çarpılma ve kendini çekme tehlikesi, minimum ısı girdisi ile maksimum kaynak metali yığılabildiğinden, bu yöntem sayesinde asgariye indirilmiştir.



Şekil 109- Gemi dikmelerinin yan saclara MIG-MAG yöntemi ile dik pozisyonda kaynatılması.

DEMİRYOLU TAŞITLARI

Demiryolu taşıtları yapımında da, MIG-MAG yöntemi geniş bir uygulama alanına sahiptir. Günümüzde lokomotif ve vagonların yapımında malzeme olarak büyük çapta az karbonlu çelik, paslanmaz çelik ve alüminyum kullanılmaktadır. Bu endüstri dalında bu malzemeler gerek tür ve gerekse de konstrüksiyon olarak MIG-MAG yöntemiyle kaynatılmaya çok uygundur. Özellikle MIG ve Elektrik direnç kaynağı yöntemleri alüminyum vagon yapımında rakipsizdir.

Şase ve vagon karkaslarının yapımında kullanılan çelik profiller genellikle kaynar dökülmüş çelikten (gazı giderilmemiş) yapıldıklarından bunların kaynağında fazla miktarda dezoksidan içeren kaynak telleri (örneğin; SG3) tercih edilmelidir.

Demir esaslı ve demir dışı metallerin kaynağına uygunluğu, yüksek erime gücü ve kaynak hızının yanı sıra ısı girdisinin de kontrol edilebilirliği sayesinde, MIG-MAG yöntemi demiryolu taşıt endüstrisinde geniş bir uygulama alanı bulmuştur.



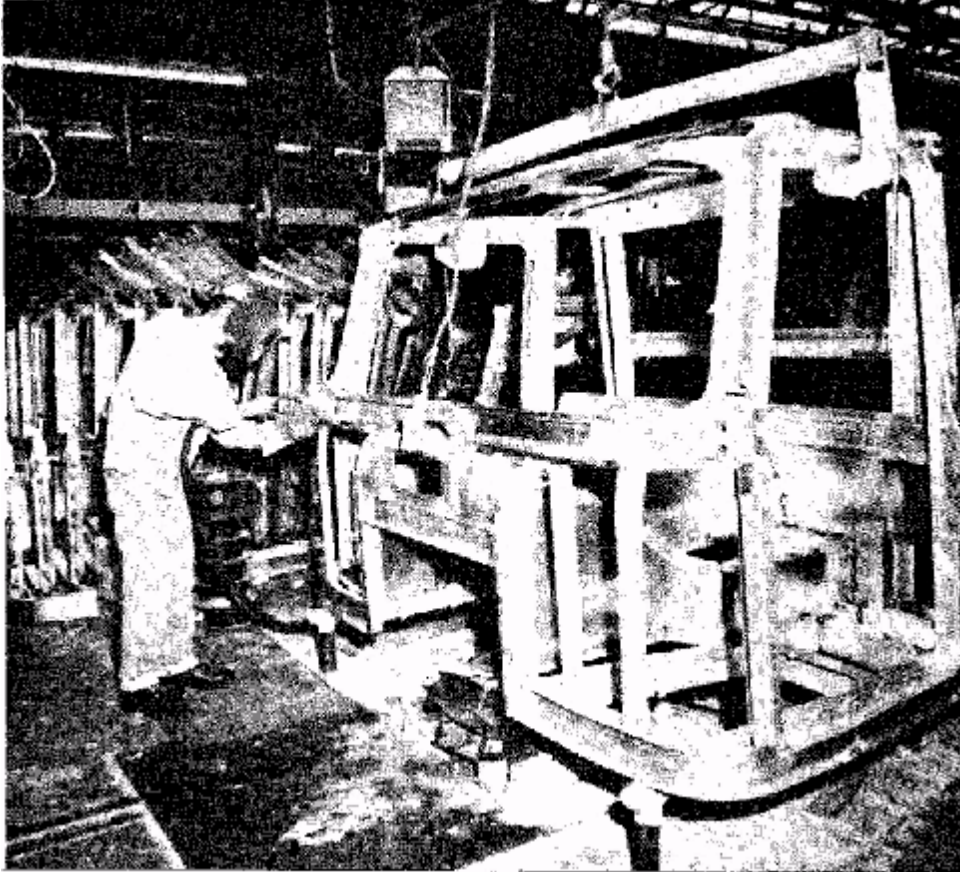
Şekil 110- Vagon yapımında MIG-MAG uygulaması.

OTOMOTİV ENDÜSTRİSİ

Otomobil ve kamyon üretiminde otomatik ve yarı otomatik MIG-MAG yöntemi geniş çapta uygulanmaktadır. Şasi parçalarının birleştirilmesi, diferansiyel muhafazaları, jantlar ve diğer büyük gövde parçalarının kaynağı bu yöntemle yapılmaktadır. Bu yöntem otomotiv endüstrisinin yüksek üretim hızına uygun bir şekilde işleri gerçekleştirdiğinden bu endüstrideki birçok işlerde örtülü elektrod ve tozaltı kaynak

yönteminin yerini almıştır. Karoseri parçalarının birleştirilmesinde özellikle kısa ark boyu ile çalışarak çok iyi sonuçlar alınmaktadır. Bu yöntemde düşük ısı girdisi nedeni ile bu tür parçalardaki çarpılmalar asgariye indirilmiş olmaktadır.

Bu endüstri dalında kullanılan kaynak makinalarının tel sürme tertibatları itme çekme sistemi diye de adlandırılan planet tertibinde olmalıdır. Zira çalışma koşullarının gereği torç hortum paketi uzun olmak zorundadır.

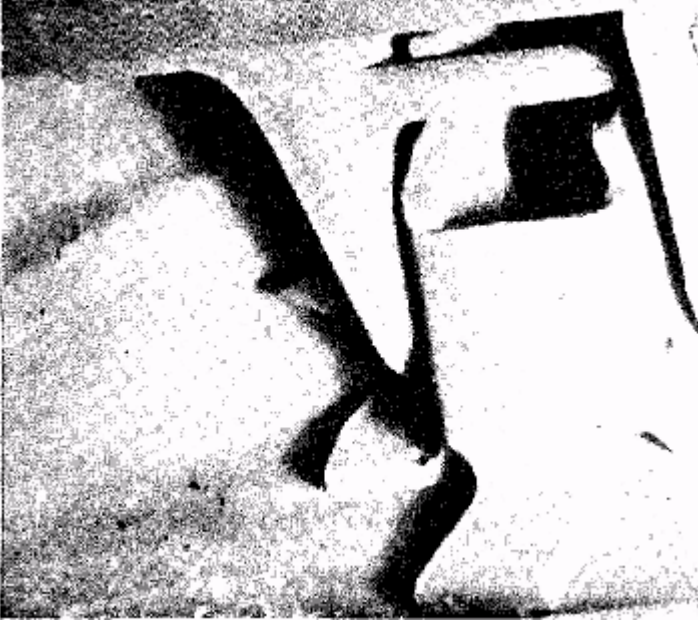


Şekil 111- Alüminyumdan yapılmış kamyon şoför mahallinin MIG-MAG yöntemi ile kaynağı

Otomotiv endüstrisinde karoseri üretiminde yöntemin bir değişik uygulaması olan gaz metal ark nokta kaynağı (MIG-MAG nokta kaynağı büyük çapta kullanılmaktadır. Bu yöntem elektrik direnç kaynağının aksine parçanın tek tarafından uygulanmaktadır ve dolayısı ile direnç kaynağının erişemediği yerlerde ancak bu yöntemle kaynak yapılabilir. Buna ilaveten MIG-MAG nokta kaynağı yönteminde kullanılan tertibatlar gayet basit olup kullanılması da büyük bir tecrübe ve maharet gerektirmemektedir.



Şekil 112- Üretim hattında bir diferansiyel kutusunun MIG-MAG yöntemi ile kaynatılması.



Şekil 113- MIG-MAG nokta yöntemi ile gövdeye kaynatılmış kapı menteşesi

UÇAK ENDÜSTRİSİ

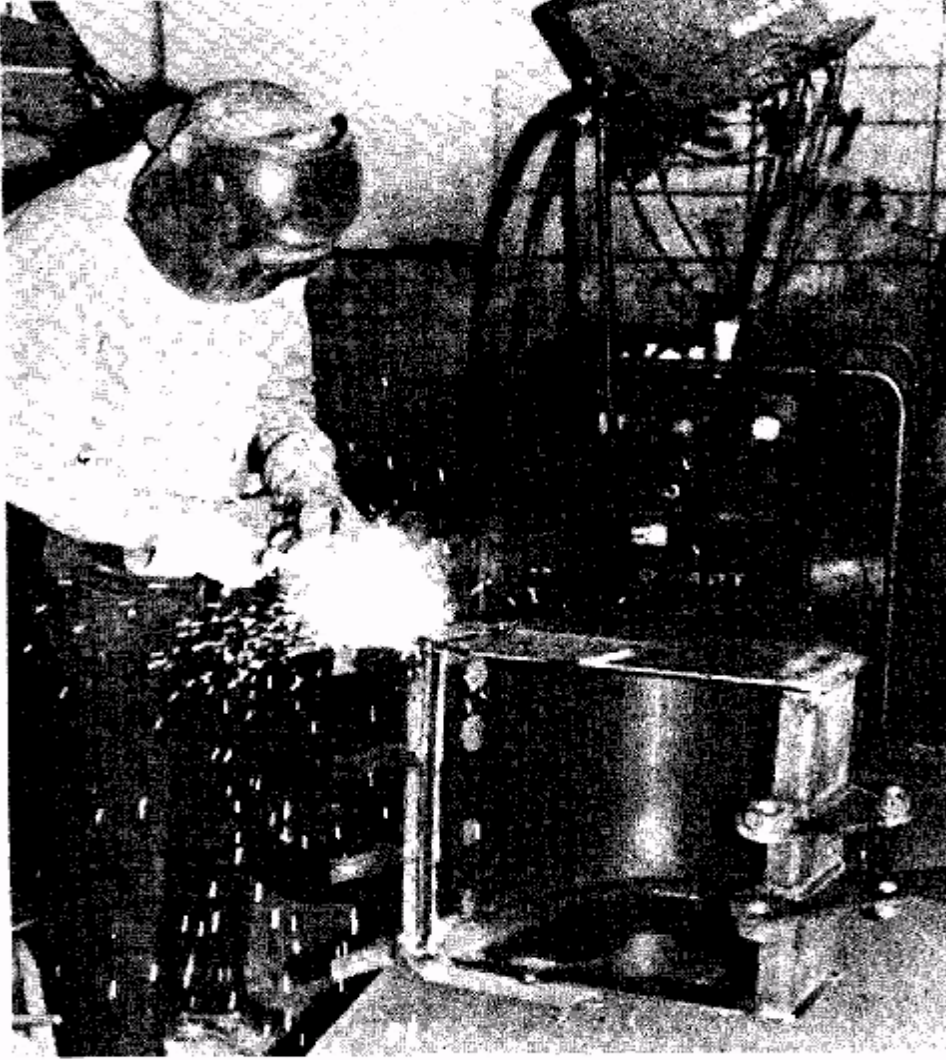
Eriyen elektrodla gazaltı kaynağı uçak endüstrisinde özellikle kalın kesitli çelik ve alüminyum esaslı malzemelerin kaynağında uygulama alanı bulmuştur. Bununla beraber bu endüstri dalında MIG-MAG yöntemi TIG yöntemi kadar yaygın değildir. Otomatize edilmiş MIG-MAG yöntemi uçak endüstrisinde özellikle yakıt tanklarının üretiminde rakipsizdir. Yarı otomatik MIG-MAG yöntemi uçak gövdesinde ana karkasın yapımında ve diğer yardımcı parçaların kaynatılmasında kullanılmaktadır.



Şekil 114- Boru karkaslı bir uçak gövdesinin MIG-MAG yöntemi ile kaynaklanması

AĞIR TEÇHİZAT ENDÜSTRİSİ

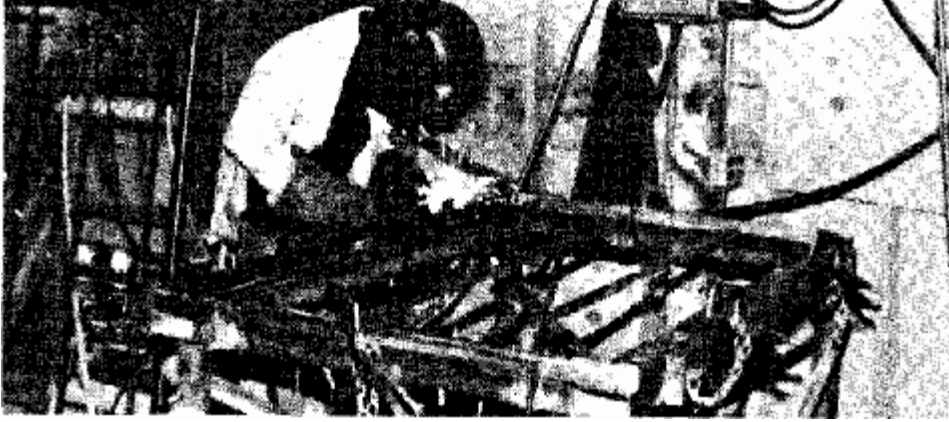
Ağır teçhizat endüstrisinde az alaşımli ve az karbonlu çeliklerin büyük çapta kullanılması, bu yöntemin bu endüstri dalında da uygulama alanı bulmasına yardımcı olmuştur. Özellikle az kalın ve ince kesitli komponentlerin üretim kaynağında ve diğer kalın parçalarında montaj kaynağında büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Son yıllarda geliştirilmiş olan oldukça uzak mesafeleri kadar (azami 30 m) tel sevkedeabilen tel sürme tertibatları sayesinde yöntem birçok sahada tozaltı ve özlü elektrod yöntemlerine göre avantajlı duruma geçmiştir.



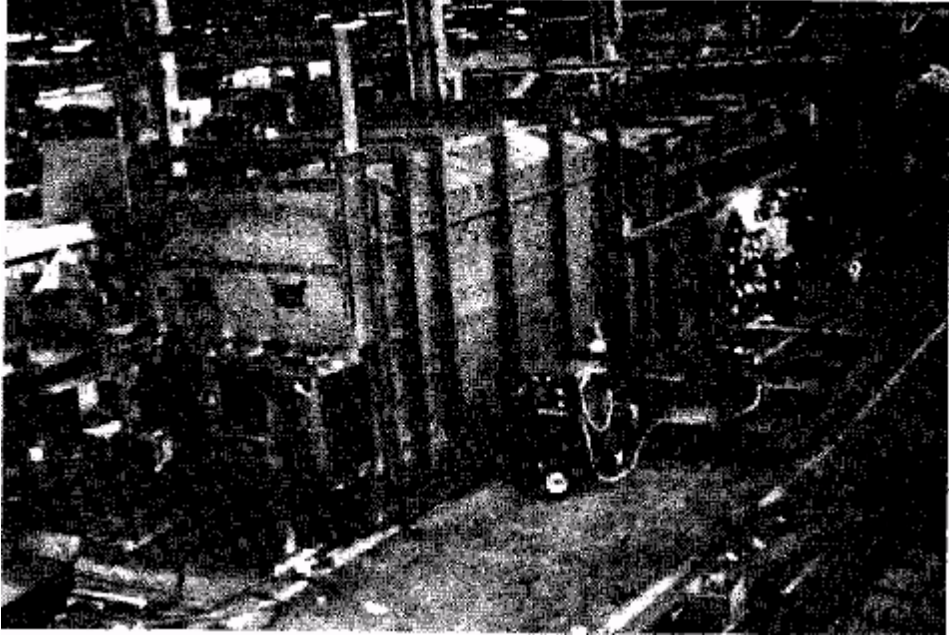
Şekil 115- Bir ziraat makinasında kullanılan bir baggerin MIG-MAG yöntemi ile kaynaklı üretimi

Gerek yüksek erime gücü ve gerekse yöntemin her pozisyonda kaynağa elverişliliği birçok üretim tesisinde tek kaynak yöntemi olarak benimsenmesini getirmiştir.

Özellikle ziraat makinaları için ekipman üreten fabrikalar, bu yöntemi gerek kullandıkları malzemenin kalınlığına uygunluğu ve gerekse de kaynak donanımında bir değiştirme yapmadan demir dışı alaşımları kaynatabilmeleri nedeniyle tercih etmektedirler.



Şekil 116- Bir ziraat arabası şasesinin MIG-MAG yöntemi ile yapılması



Şekil 117- Büyük bir endüstriyel tav fırınının montajında MIG-MAG yöntemi uygulaması.

DOLDURMA VE TAMİR KAYNAĞI

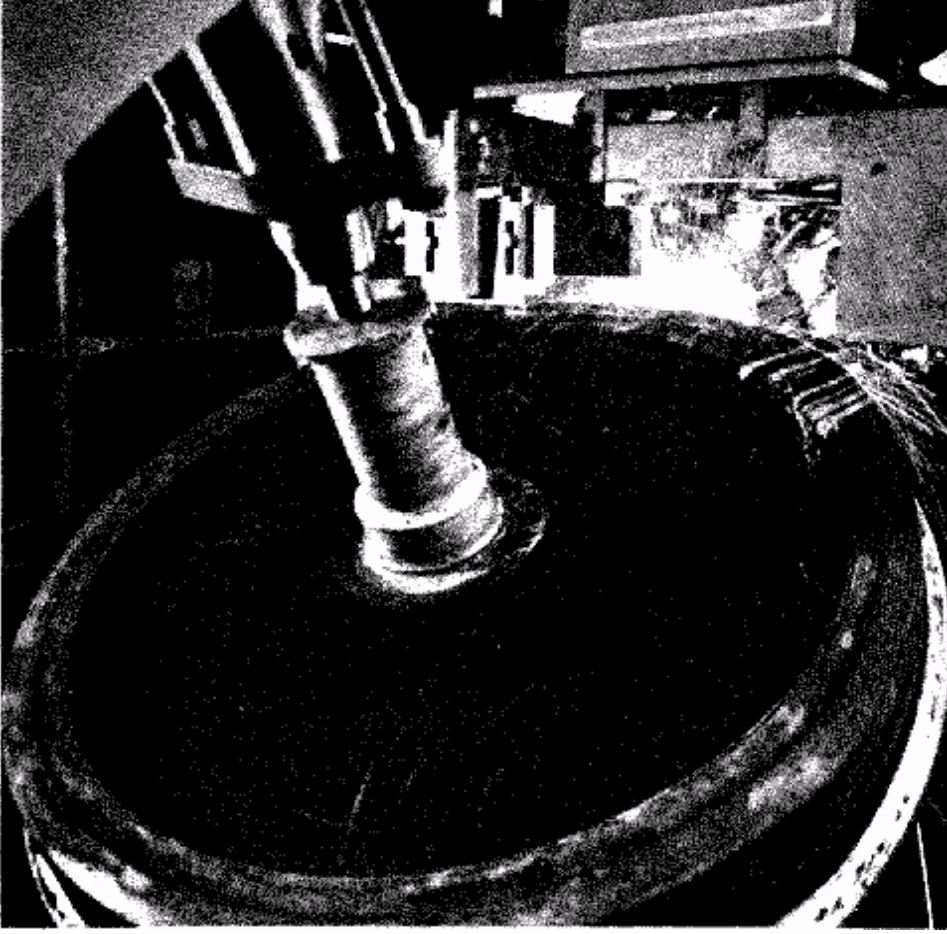
Günümüz endüstrisinde kırılan parçaların kaynakla tamiri, aşınmış parçaların kaynakla doldurulması konusu büyük bir öneme sahiptir. Aşman fonksiyonel ölçülerini kaybeden veya kırılarak kullanılamaz hale gelen parçaların kaynak ile tamiri ve doldurulmasının sağladığı üstünlükleri şu şekilde sıralayabiliriz.

—Tamir işlemi yeni parça ile kıyaslanamayacak derecede ucuza mal olmakta ve tamirat çok kısa bir zaman süresinde gerçekleştirilebilmektedir.

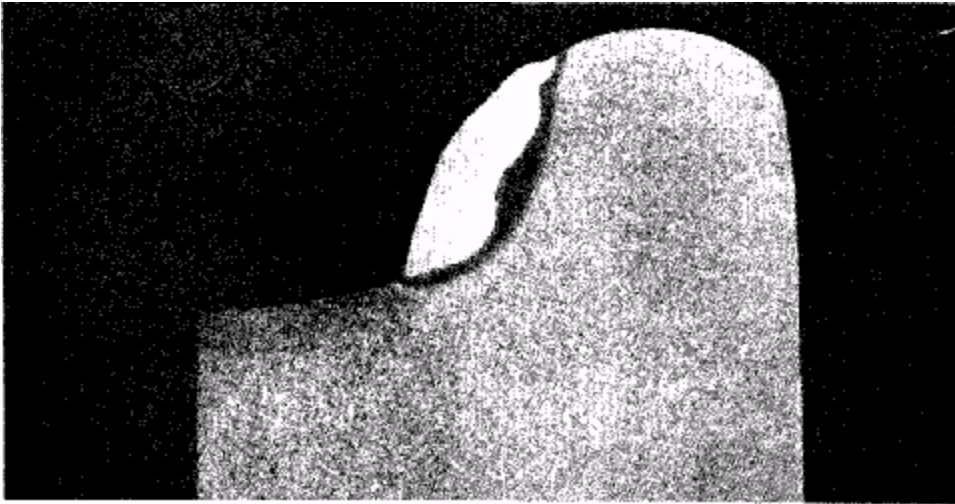
—Bu tamir olanağı, yedek parça stoklarını asgariye indirdiğinden kullanıcı kuruluşlara büyük bir finans kolaylığı sağlamaktadır.

—Birçok halde parçanın kaynak ile tamiri, büyük bir demontaj gerektirmeden yerinde

yapılabilmektedir.



Şekil 118- Aşınmış bir kreyn tekerleğinin MIG-MAG yöntemi ile doldurulması.



Şekil 118 a- Bir kreyn tekerliğinin MIG-MAG yöntemi ile doldurulmuş kısmın dağlanmış

kesiti.

—Aşınmış kısımlar uygun bir kaynak metali ile doldurularak parçanın ömrü orijinal parçadan daha uzun hale getirilebilmektedir.

MIG-MAG yöntemi yüksek erime gücü nedeni ile doldurma işlemlerinde büyük bir öneme sahiptir. Önceleri doldurma malzemesi olarak sadece dolu tellerin kullanılması, yöntemin uygulamalarını sınırlandırmış ise de, son yıllarda çok çeşitli türlerde üretilen özlü teller uygulama alanını genişletmiş ve sert dolguların dahi bu yöntem ile yapılabilmesine olanak sağlamıştır.

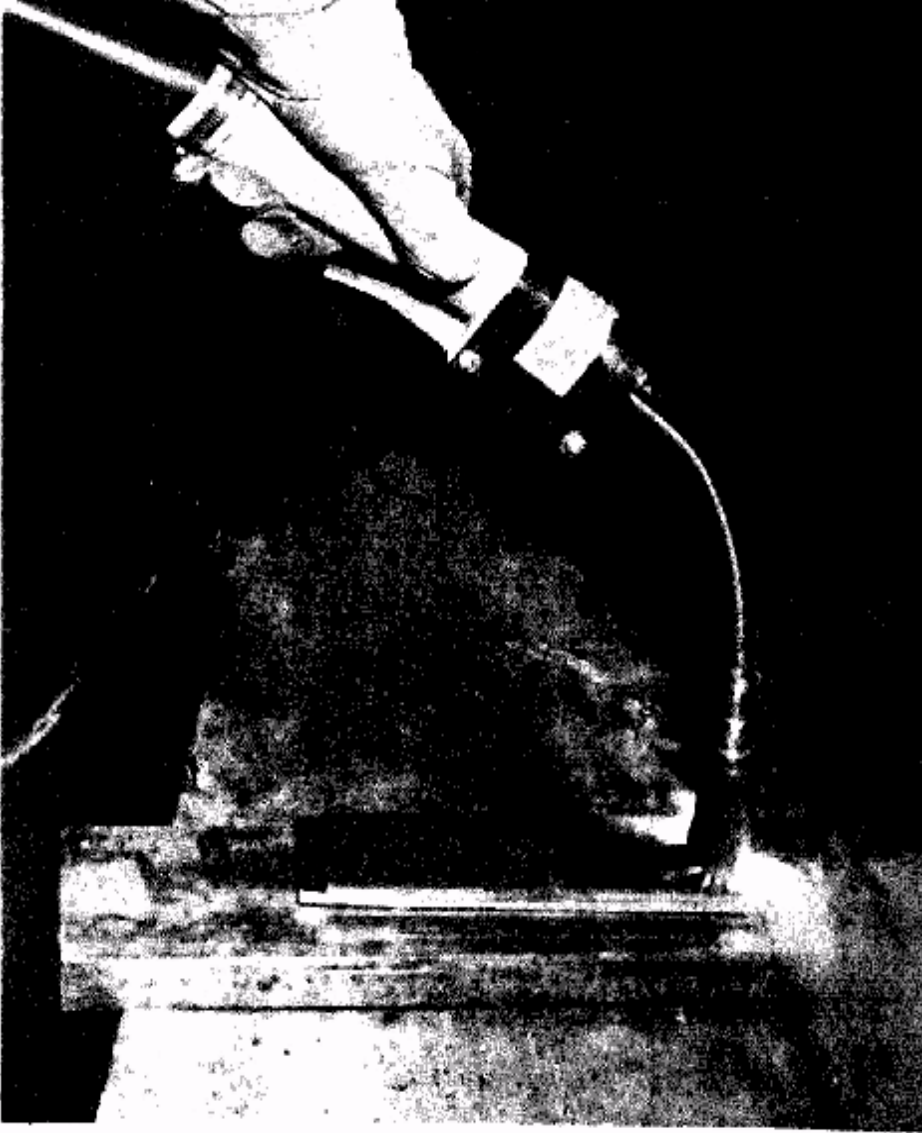
Darbeli akım yöntemi ile iş parçasının ısı girdisinin azaltılması, esas metalin sınırlı miktarda erimesine neden olduğundan, yığılan kaynak metalinin özelliklerinin fazla değişmemesine olanak sağlamıştır. Özellikle kimya endüstrisinde kullanılan reaktörlerin içlerinin paslanmaz veya korozyona dayanıklı çelikler ile kaplanmasında MIG yöntemi diğer yöntemlere göre büyük üstünlükler sunmaktadır.

MIG - MAG KAYNAK YÖNTEMİNİN DEĞİŞİK UYGULAMALARI**MIG-MAG NOKTA KAYNAĞI**

MIG-MAG yöntemi ile küçük yerel erime yaparak bir sacı diğerine nokta kaynağı şeklinde birleştirmek mümkündür. Bu yöntemin normal MIG-MAG yönteminden yegâne farkı, torcun hareket etmemesi ve işlemin sadece birkaç saniye sürmesidir. MIG-MAG nokta kaynağı donanımı torca takılan özel bir lüle ile ark süresini ayarlayan ve standart yarı otomatik kaynak donanımına takılan bir zaman rölesinden ibarettir. MIG-MAG nokta kaynağı az alaşımlı çelik, paslanmaz çelik, alüminyum gibi bu yöntem ile kaynatılabilen bütün metal ve alaşımlarına uygulanabilir.

Özellikle çelik halinde Co_2 kullanılarak çok iyi bir nüfuziyet elde edilebilir.

Bu yöntemin alışılmış elektrik direnç kaynağına göre en büyük avantajı torcun elektrodla nazaran manipülasyonunun çok kolay olması, kaynağın tek yüzden uygulanması ve parçaların birbirlerine uygunluğunun fazla önemli olmamasıdır. En önemli dezavantajı ise kaynak boyutunun dolayısı ile mukavemetinin elektrik direnç kaynağında olduğu kadar hassas bir şekilde ayarlanamamasıdır.



Şekil 119- İki sac parçanın MIG-MAG nokta kaynağı ile birleştirilmesi.

Uygulamada kaynak yapılacak yere özel lüleli torç temas ettirilir ve sonra tetiğe basılarak önce koruyucu gaz akımı ve sonra ark oluşumu ve tel ilerlemesi sağlanır, ayarlanmış kaynak süresi sonunda otomatik olarak önce tel ilerlemesi sonra kaynak akımı ve daha sonra da gaz akımı kesilir. Kaynak süresinin uzamasına bağlı olarak da nüfuziyet artar, diğer kaynak parametreleri kaynaklı noktanın şekil ve büyüklüğüne etkide bulunur. Bu yöntem ile tavan ve dik pozisyonda da nokta kaynakları yapılabilir yalnız bu halde kısa ark boyu uygulanmalıdır. Farklı kalınlıktaki parçalar halinde en iyi sonuç ince parça ark tarafında olduğu zaman elde edilir. Kalın parçanın ark tarafında olduğu hallerde nüfuziyeti tam olarak gerçekleştirebilmek için bir bakır altlık kullanılması faydalıdır. Bu yöntemin alışılmış direnç kaynağına nazaran en önemli üstünlüklerinden birisi de kaynağın kalitesinin göz ile muayene sonucunda belirlenebilmesidir.

DAR ARALIK KAYNAĞI

Dar aralık kaynağı MIG-MAG yönteminin dikdörtgen veya çok dar ağız açısına sahip V ağızı ile kalın kesitli parçaların kaynağında uygulanan bir türüdür. Burada kök açıklığı 6-10 mm. arasında değişir. Bu yöntem zaman zaman kalın kesitli alüminyum parçalara uygulanma da genel olarak özel olarak dizayn edilmiş torçlarla demir esaslı malzemelere uygulanır. Bu yöntemde iki ince çaplı elektrod yan yana tek veya iki ayrı kontak lülesinden geçer ve oluşturdukları kaynak banyosu ağızın her iki yan yüzlerine doğrudur. Su ile soğutulan özel dizayn edilmiş torç, parçanın yüzeyinden koruyucu gazı sevk ederek kaynak banyosunun korunmasını sağlar. Bu yöntemde yüksek kaynak hızı ve genellikle sprej ark kullanılır, bazı özel durumlarda darbeli akım da kullanılabilir. Yüksek kaynak hızı sonucunda az bir ısı girdisi ve oldukça küçük bir kaynak banyosu elde edilir ki bu da kaynağın her pozisyonda yapılabilmesine olanak sağladığı gibi oldukça dar bir ITAB oluşturur.

Bu yöntemde karşılaşılan en önemli sorun kalın kesitli metale düşük ısı girdisi uygulanması nedeniyle kifayetsiz erime problemi ile karşılaşılmasıdır. Elektrodların iyi yönlendirilmesi ve pasolar arası cürufun iyi temizlenmesi bu tür sorunları da ortadan kaldırmaktadır. Bu yöntem özellikle 50 mm.den daha kalın parçaların kaynağında diğer yöntemlere nazaran çok avantajlı bir duruma sahiptir.

Bu yöntemin sağladığı avantajlar şu şekilde sıralanabilir;

- 1) Az kaynak metali kullanılması nedeniyle toplam kaynak maliyetinde büyük bir azalma görülür.
- 2) Kaynak sonrası ortaya çıkan iç gerilmeler azdır ve dolayısı ile çarpılmalar daha düşük seviyededir.
- 3) Kaynak sonrası kaynak bölgesinin mekanik özellikleri diğer yöntemlere göre daha iyidir.

Bu yöntemin önemli dezavantajları ise şunlardır;

- 1) Kaynak hatalarına daha hassastır.
- 2) Hatalı dikişleri sökmek daha zordur.
- 3) Parçaların kaynak öncesi birbirlerini ağızlamaları çok hassas bir şekilde yapılmalıdır.
- 4) Kaynak torcunun pozisyonu, kaynak ağızı içinde hassas bir şekilde ayarlanmalıdır.

ÖZLÜ TEL İLE MIG-MAG UYGULAMALARI

MIG-MAG kaynağında kaynak teli bileşimi esas metalin bileşimine uygun bir kaynak metali verecek şekilde ayarlanmıştır. Kaynak teli bileşiminde koruyucu gaz olarak karışım gaz veya karbondioksit kullanılması halinde, ark bölgesinde CO₂'in ayrışması sonucu ortaya çıkan oksijenin etkisini ortadan kaldırmak, kaynak banyosunu dezokside etmek ve kaynak banyosundaki oksitlerin karbon tarafından redüklenmesini önlemek, esas metalden gelen kükürt ve fosforun olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak için de bir takım alaşım elementleri içermek zorundadır.

Bu nedenlerden ötürü bazı metal ve alaşımların kaynağı için istem azlığı bu tellerin üretimini ekonomik kılmamaktadır. Bazı metal ve alaşımların ise sertlik ve gevreklikleri nedeni ile tel haline getirilmeleri teknolojik olarak mümkün olamamaktadır.

Örtülü elektrod ve MIG-MAG yöntemlerinin en avantajlı özelliklerini bünyesinde toplayan bir yöntem

arayışı sonucu 1950'li yılların ortalarına doğru ilk tel şeklinde özlü elektrod ile kaynak gerçekleştirilmiş ve 1960'lı yıllarda bu yöntem önce ABD'-de sonra da Avrupa'da uygulanan hale gelmiştir. Özlü elektrod ile kaynak çok geniş bir uygulama alanı bulmuştur ve sahip olduğu avantajlar nedeni ile de birçok sahada MIG-MAG yöntemi ile rekabete girmiştir.

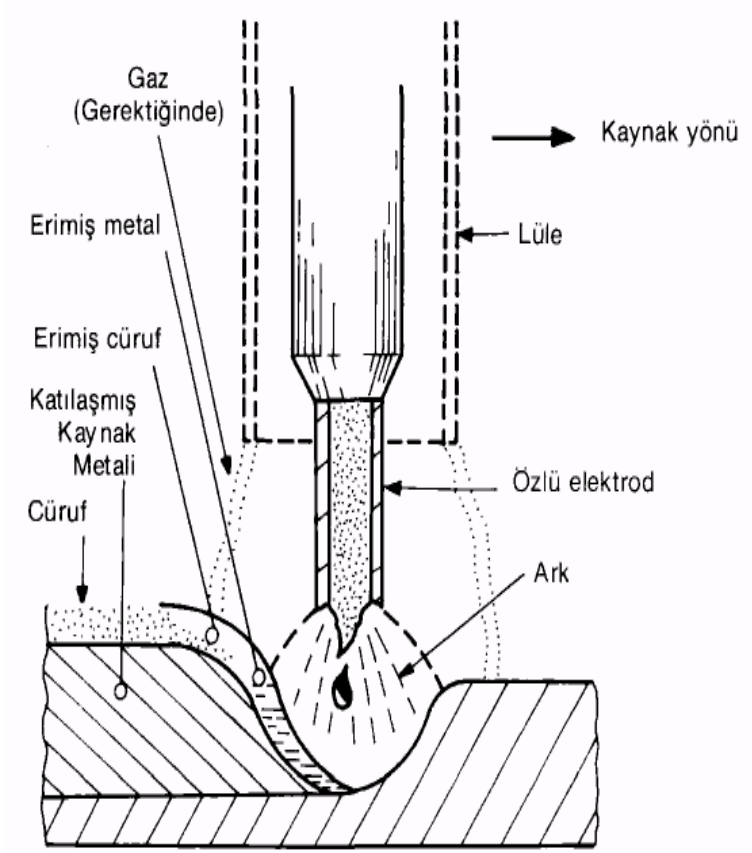
Özlü tel elektrod ile kaynak yöntemi esas olarak MIG-MAG kaynağında olduğu gibi dolu tel yerine içi öz diye adlandırılan ve örtülü elektrodların örtüsü görevini gören bir madde ile doldurulmuş boru şeklinde elektrod kullanan bir kaynak yöntemidir.

Özlü tel elektrodlar, gazaltı kaynağı (MIG-MAG) ile gaz kullanmadan çıplak olarak ve tozaltı yönteminde de kullanılmaktadır. Bu elektrodların sağladıkları üstünlükler şunlardır.

- Yüksek bir erime hızına sahiptirler, dolayısı ile daha yüksek kaynak hızlarında kullanılabilirler,
- İnce çaplı elektrodlar kullanarak her pozisyonda kaynak yapılabilir,
- Bazı tür özlü elektrodlar koruyucu gaz gerektirmezler, bu da tesisatın basitleşmesine olanak sağlar,
- Örtülü elektrodların bütün avantajlarına sahiptir buna karşın, koçan kaybı elektrod değiştirme zaman kaybı gibi dezavantajları yoktur.

Özlü elektrod ile kaynak uygulamalarında, boru şeklinde eriyen elektrod ile iş parçası arasında oluşturulan ark, kaynak için gerekli ısıyı sağlar, ionize olmuş gaz ortamını kateden elektrik akımı ark oluşturur; gerilim altında gaz molekülleri ayrışır ve atomlar elektron kaybederek ionlaşır. Bu şekilde pozitif gaz ionları, pozitif kutuptan eksi kutba elektronlar da negatif kutuptan pozitif kutba doğru hızla hareket eder. Ark ısısının % 95'i elektronlar % 5'i ionlar tarafından taşınır ve arkın sıcaklığı gerek elektrodun ve gerekse de iş parçasının erimesini sağlar.

Kaynak bölgesinde erimiş metal ya dışarıdan uygulanan bir koruyucu gaz örtüsü, ya da özün dekompozisyonu sonucu ortaya çıkan bir koruyucu gaz atmosferi tarafından korunur; görüldüğü gibi buradan öz, aynen örtülü elektrodaki örtünün görevini üstlenmektedir. Erimiş elektrod metali ark tarafından kaynak banyosuna taşınır ve katılaştıran banyo üzerinde de kolaylıkla temizlenebilen bir cüruf tabakası oluşur (Şekil 1).



Şekil 120- özlü tel elektrod ile kaynakta ark bölgesi (şematik).

Özlü elektrod ile ark kaynağında doğru akım kullanılır ve kaynak akım üretici yatay (Sabit Gerilimli) veya düşey (Sabit Akımlı) karakteristikli olabilmektedir. Genel olarak ince çaplı özlü elektrodlar halinde MIG-MAG yönteminde olduğu gibi yatay karakteristikli akım üreteçleri kullanılır.

Düşey karakteristikli akım üreteçlerinde ark boyunu sabit tutabilmek için bazı tozaltı kaynak makinalarında uygulanan sistem kullanılır. Burada akım şiddeti sabittir, ark boyu ark geriliminden aldığı komutla tel ilerleme hızını ayarlayan bir tertibat tarafından kontrol altında tutulur. Bu sistem çok daha pahalıdır ve ancak kalın çaplı elektrodların kullanıldığı hallerde iyi sonuç vermektedir.

Doğru akımın kullanıldığı özlü elektrod ile kaynak yönteminde ters ve düz kutuplama uygulanabilir, koruyucu gazla kullanılan türdeki elektrodlar genellikle ters kutuplama ile kullanılırlar, ters kutuplama (elektrod pozitif kutupta) halinde daha derin nüfuziyet elde edilmektedir.

Özlü elektrod ile kaynak donanımı prensip olarak bir MIG-MAG Donanımını andırır. Yalnız burada koruyucu gaz ünitesi ancak gerektiğinde kullanılmaktadır. Özlü elektrodlar ile kaynakta koruyucu gaz kullanılması halinde asal, aktif veya karışım gazlar kullanılmaktadır.

Koruyucu gaz seçiminde göz önünde bulundurulmuş hususlar şunlardır.

- Kaynak yapılan metalin türü,
- Ark karakteristiği ve arka metal taşınım türü,

- Tedarik kolaylığı,
- Gazın fiatı,
- Bağlantıdan beklenen mekanik özellikler,
- Nüfuziyet ve kaynak dikişinin biçimi.

Aktif koruyucu gaz olarak özlü elektrod ile kaynakta CO₂ kullanılır. Kaynak arkında CO₂ → CO + 1/2O₂ şeklinde ayrışma gösterir ve oksitleyici bir karaktere sahip olan bu gazın etkisi, öze katılmış olan dezoksidasyon elementlerince karşılanır ve oluşan oksitler banyonun yüzeyinde toplanarak cürufa geçer. Kaynak banyosunun karbon içeriği % 0.05'ten az ise dikişte bir karbon yükselmesi % 0.10'dan fazla ise bir karbon azalması ile karşılaşılır. CO₂'in koruyucu gaz olarak kullanılması halinde, elektrodun kaynak banyosuna kaynak metali iletimi damlalar halinde olur.

Argon-CO₂ karışımlarının kullanılması ile sıçrama asgariyeye iner ve elektrodların iş parçasına kaynak metali iletimi de daha ince damlalar halinde olur. Özlü elektrodlar ile koruyucu gaz olarak % 75 Argon - % 25 CO₂ karışımı da kullanılır. CO₂ ile kullanılmak üzere üretilmiş özlü tellerin bu tür karışım gazlar ile kullanılması halinde kaynak dikişi mangan, silisyum ve diğer dezoksidasyon elementlerince zenginleşir ve bu da mekanik özellikleri etkiler. Argon oksijen karışımları kaynak metalinin arkta sprey şeklinde taşınmasını sağlar ve sıçrama asgariye iner; bu karışım gazlar bilhassa paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılır.

Özlü elektrodlar, ince bir saç şeridin boru hale getirilip, içinin de öz diye isimlendirilen, ark kaynağındaki elektrodun görevini üstlenen bir madde ile doldurulması sonucu elde edilmişlerdir.

Özlü elektrod ile kaynakta, elektrod seçiminde şu hususlar gözönünde bulundurulur.

- Esas metalin özellikleri,
- Esas metalin kimyasal bileşimi,
- Kaynak pozisyonu,
- Kaynak akımı,
- Kaynak ağız dizaynı,
- Parçanın kalınlığı ve geometrisi,
- Kullanma koşulları ve spesifikasyonlar,
- İmalat ve işletme koşulları.

Özlü tel elektrodlar halinde üreticiler özün bileşimini çok hassas bir şekilde ayarlayarak görevini yerine getirmesini sağlarlar.

Özden beklenen görevler şunlardır:

- Kaynak banyosunun kimyasal bileşimini ayarlayarak mekanik, metalürjik ve korozyon özelliklerinin sağlanması,
- Kaynak banyosunu atmosferdeki azot ve oksijenden koruyarak sıhhatli bir kaynak metalinin eldesinin gerçekleşmesi.
- Cüruf reaksiyonları ile kaynak banyosundaki gayri safiyetlerin asgariye indirilmesi,
- Sıvı banyo üzerinde bir cüruf oluşturup soğumayı kontrol altında tutmak, çeşitli pozisyonlarda

kaynak yapmaya olanak sağlamak ve kaynak dikişinin yüzünün (kaynak tırtılının) formunu kontrol altında tutmak,

—Arkın stabilizasyonu sağlamak, sıçramayı azaltmak, erime hızını üniformlaştırmak.

Bütün eritme kaynak yöntemlerinde olduğu gibi, özlü elektrod ile ark kaynağında da kaynak ağızı hazırlığı gereklidir, bu yöntemle kaynak ağızı dizayn edilirken gözönünde bulundurulması gereken en önemli konu koruyucu gaz uygulanıp uygulanmayacağıdır. Koruyucu gaz kullanılması halinde daha iyi bir nüfuziyet elde edildiğinden, bu halde daha dar bir kök aralığı ve daha yüksek bir kök alanı seçilir. Ağız açısı genelde örtülü elektrod haline nazaran daha dardır. Ağız dizaynında diğer kaynak yöntemlerinde olduğu gibi kaynatılan metalin türü, kalınlığı, bağlantıdan beklenen mukavemet, kaynak pozisyonu, dikişin bulunduğu yere erişilebilirlik gözönünde bulundurulmalıdır.

Her kaynak yönteminde olduğu gibi özlü elektrod ile ark kaynağında elektrod tür ve çapının dışında dikişin formunu etkileyen işletme parametreleri vardır; bunların etkileri şu şekilde sıralanabilir:

Akım şiddetinin artması erime gücünün, nüfuziyetin ve dikiş boyutlarının artmasına neden olur. Belirli bir elektrod ve koruyucu gaz türü, elektrod serbest uç uzunluğu için saptanmış bir tel sürme hızı vardır. Akım şiddetinin aşırı artırılması, büyük ve derin nüfuziyetli kaynak dikişleri oluşturur, dikiş tırtılı çok yükselir ve kökte yanma ortaya çıkabilir. Aşırı düşük akım şiddeti, zayıf nüfuziyetin yanı sıra aşırı sıçramaya ve arka kaynak metali geçişinin iri damlalar şeklinde olmasına ve ağız içinde kaynak metalinin adeta yığılmasına neden olur. Koruyucu gaz kullanmadan yapılan uygulamalarda, akım şiddetinin aşırı derecede azalması gözenek oluşumuna ve kaynak metalinin atmosferden fazla miktarda azot kapmasına ve bu da bağlantının sertleşmesine, sünekliliğini yitirmesine neden olur.

Özlü elektrod ile kaynak halinde, diğer bütün kaynak parametrelerini sabit tutarak, sadece ark gerilimini değiştirirsek, ark geriliminin artması ile dikişin genişlediğini ve tırtılının yüksekliğinin azaldığını görürüz. Nüfuziyet ark geriliminin değişiminde bir optimum değerden sonra artan gerilimle azalır. Gerilimin aşırı yükselmesi sıçramaların artmasına, dikişin bozulmasına ve koruyucu gaz kullanılması halinde dikişin azot kapmasına neden olur.

Torcun hızı veya kaynak hızı arttıkça dikişin nüfuziyeti azalır ve boyutları küçülür. Kaynak hızının aşırı azalması halinde ariyen tel miktarı çok artar ve ağızı doldurur, ileri doğru akarak ark ile iş parçası arasında bir tampon oluşturur, bu da nüfuziyetin azalmasına neden olur; ayrıca birim boya uygulanan ısı enerjisi arttığından ITAB genişler ve aşırı ısınmadan çarpılmalar, kendini çekmeler şiddetlenir. Hızın aşırı artması da kaynak dikişinin bozulmasına neden olur.

Elektrod serbest uç uzunluğu ile torç veya çalışma açısı da dikişin biçimini ikinci derecede etkileyen faktörlerdir. Bunların etkileri yukarıda bahsi geçenlere nazaran daha zayıftır ve değişim sahaları da sınırlıdır.

Uygulamada özlü tel elektrod ile kaynak yönteminin sağladığı avantajları şu şekilde sıralayabiliriz:

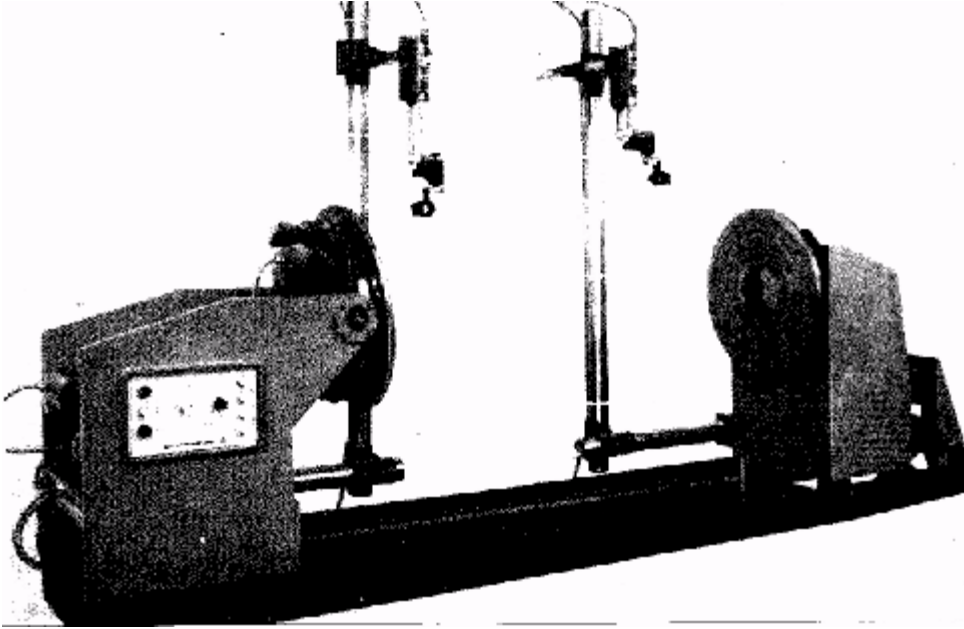
—Basit kaynak ağızı hazırlığı gerektirir,

—Yüksek bir erime hızına sahiptir, daha az paso ile kaynak yapma olanağı sağlar,

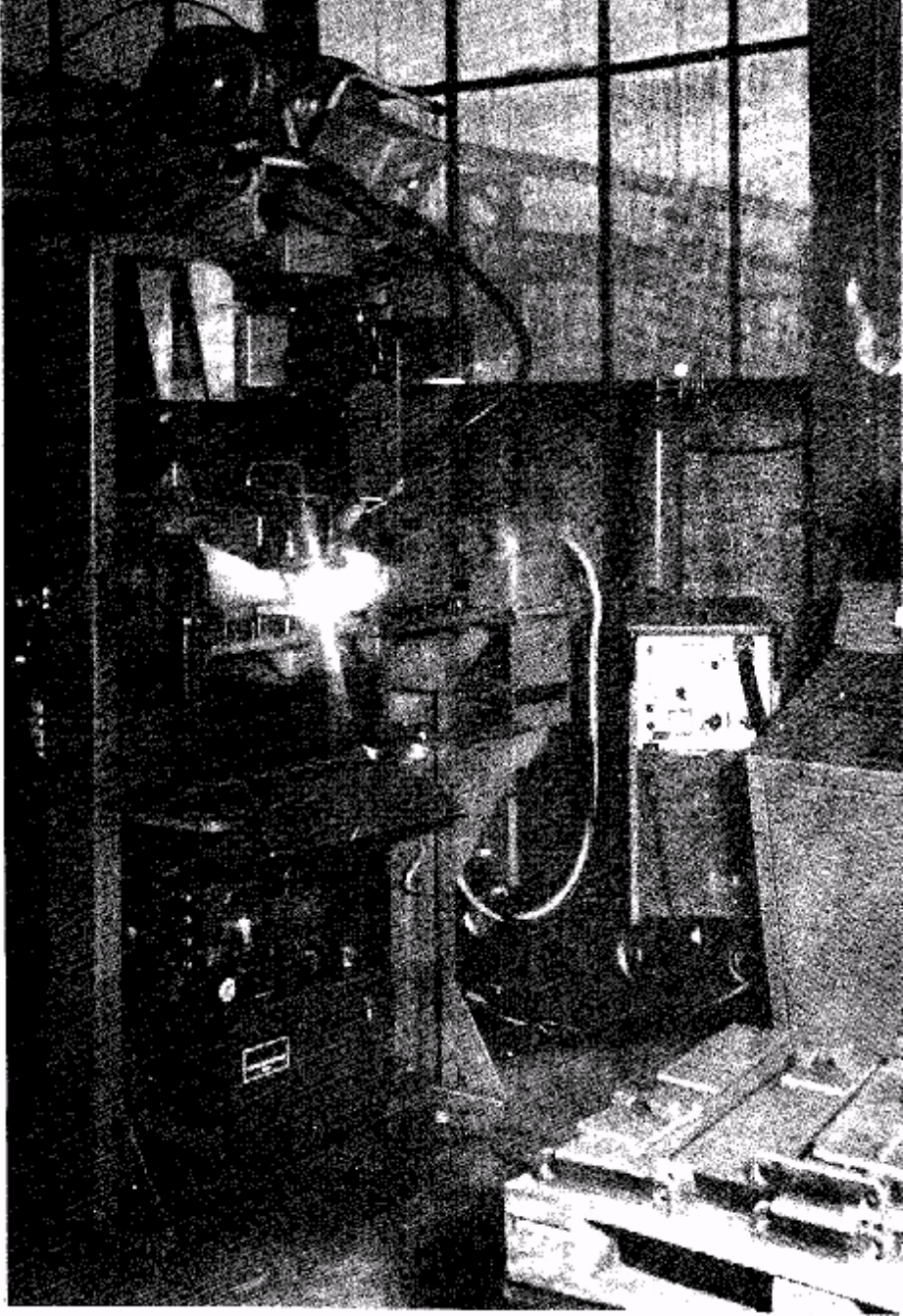
- Derin nüfuziyetli ve yüzey düzgünlüğü çok iyi kaynak dikişleri elde edilir,
 - Özel öntemizleme işlemlerine gerek göstermeden, oksitli paslı yüzeylerin dahi kaynak edilmesine olanak sağlar,
 - Öze ilave edilen alaşım elementleri yardımı ile her malzeme için istenen bileşimde kaynak metali verecek elektrod üretmek mümkündür; ayrıca teknolojik bakımdan tel halinde çekilemeyen, alaşımlar için de benzer şekilde elektrod üretilmektedir.
 - Birçok alaşımli çeliği argon yerine CO₂ kullanarak kaynatmak mümkün olabilmektedir,
 - Elektrik enerjisi tüketimi diğer yöntemlere göre daha azdır,
 - Doldurma işlemlerinde koruyucu gaz kullanmadan kaynak yapılarak doldurulan kısımlarda nitrürler oluşturup, aşınmaya daha dayanıklı dolgular elde edilir.
- Özlü tel elektrodlar ile kaynak yöntemi sahip olduğu üstünlükler ve sunduğu çeşitli kolaylıklar nedeni ile her geçen gün uygulama alanını genişletmekte ve bu şekilde parlak bir geleceğe sahip olduğu izlenimi vermektedir.

MIG-MAG KAYNAK YÖNTEMİNDE MEKANİZASYON VE OTOMASYON

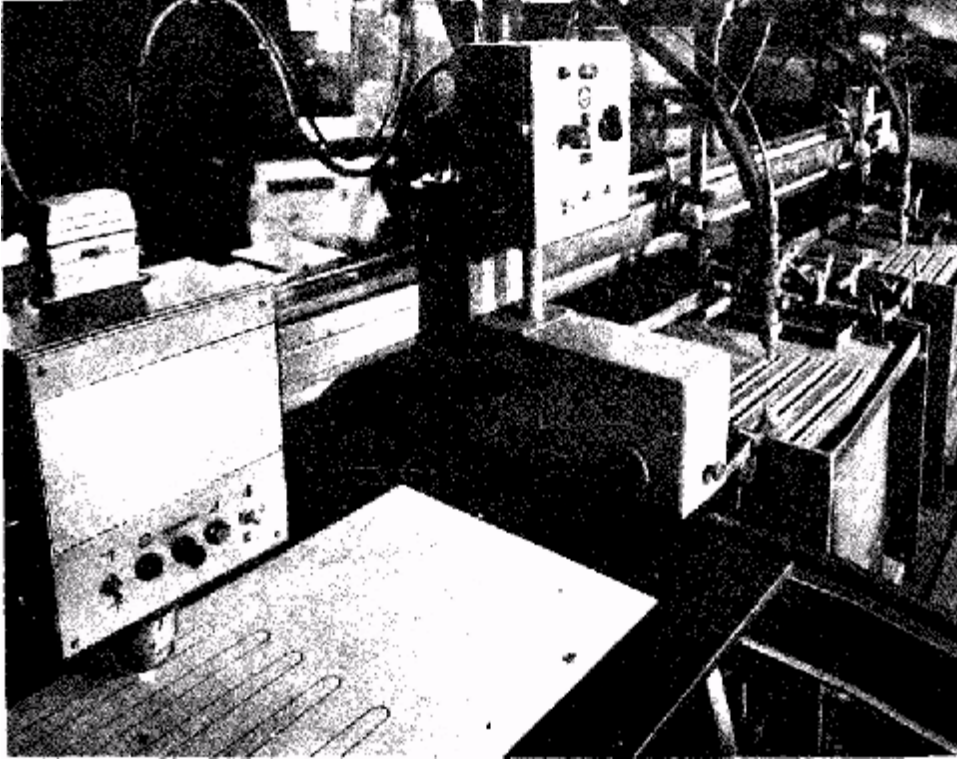
Günümüzde gerek hızlı nüfus artışının ve gerekse de ekonomik kalkınmanın doğal sonucu olarak ürünlere istem çoğalmaktadır. Öte yandan artan işçilik ücretleri ve üretim girdisinde gün geçtikçe şiddetle artan bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Bir yandan pazar koşullarının gerektirdiği rekabete dayanmak, öte yandan da artan gereksinimlere yanıt verebilmek için üretimi arttırmak ancak otomasyona gitmekle gerçekleşebilmektedir. Kaynak Teknolojisi de bu gidişe paralel davranmak zorundadır ve tarımda büyük çabalar harcanmaktadır.



Şekil 121- Silindirik parçaların çevre dikişlerinin yapılabilmesi için geliştirilmiş mekanik düzen.



Şekil 122- Düz satırlar üzerine fotosel algılaması ile içten konturda kaynak dikişi yapan düzen.



Şekil 123- Demiryolu rayı altlıklarını otomatik olarak kaynatan mekanik düzen.

MEKANİK ve ELEKTROMEKANİK DONANIMLAR

Esas olarak yarı otomatik bir kaynak yöntemi olan MIG-MAG için önceleri pozisyoneler kullanılarak belirli işleri yapabilen otomatlar geliştirilmiştir. Bunların ilklerini aynen tozaltı yönteminde olduğu gibi, silindirik parçaların çevre dikişlerini ve parçalardaki düz dikişleri yapabilen mekanik donanımlar oluşturmuştur.

MIG-MAG yönteminde, tel sürmenin ve ark boyunun kaynak makinesince ayarlanması mekanizasyon ve otomasyona geçişi kolaylaştırmıştır.

KAYNAK ROBOTLARI

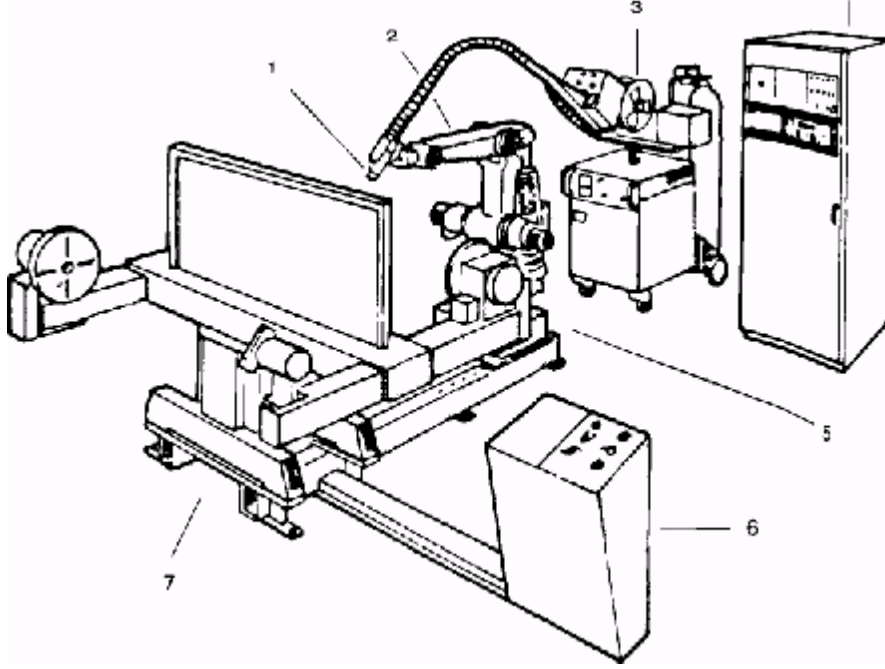
Günümüzde verimliliği arttırmak, üretim masraflarını azaltmak, daha fazla üretim yapmanın yanı sıra kaliteyi yükseltmek ve daha insancıl çalışma koşullarını sağlamak üzere birçok endüstri kolunda hızla kullanıma giren robotlar kaynak teknolojisinde de uygulama alanı bulmuşlardır.

İlk defa 1970 yılında elektrik direnç nokta kaynağı için robotların kullanımından sonra ilk gazaltı kaynak robotlarının kullanımına kadar takriben 10 yıl beklemek gerekmiştir. Bunun nedeni robotlardan beklenen yüksek hassasiyetin kullanılan hidrolik tahrik ile ulaşılamamış olmasıdır.

Araştırmacıların tamamen elektrik tahrikli robotları geliştirmeleri üzerine ark kaynak yöntemlerini de robotlar tarafından yapılabilir hale gelmiştir.

Ark kaynak yöntemleri içinde, kaynak işleminin sürekli olarak gerçekleştirildiği MIG-MAG ve TIG gazaltı kaynak yöntemleri endüstriyel robotlar tarafından çok iyi uygulanabilmektedir. Bu kaynak yöntemleri

günümüzde, kaynakçılar tarafından yarıotomatik olarak rahatlıkla yapılan yöntemlerdir ancak, kaynakçılar çoğu kez sıcak, konforsuz ve bazen de oldukça tehlikeli çalışma koşullarında işlemi gerçekleştirmek zorunda kalırlar. Daha önceden de belirtildiği gibi, bu kötü koşullar robotların ön plana çıkmasına ve artan oranda kullanıma girmesine etkili faktörlerdir.



- 1- Kaynak torcu,
- 2- Robot kolu,
- 3- Kaynak akım üretici, tel sürme tertibatı, koruyucu gaz tüpü,
- 4- Robot kontrol dolabı,
- 5- Lüle temizleme aleti,
- 6- Operatör kontrol masası,
- 7- Pozisyoner kontrol cihazı.

Şekil 124- Robot ark kaynağı istasyonu.

Burada şunu da belirtmekte fayda vardır, zira ark kaynak yöntemlerinin uygulanmasındaki bazı problemler robotların yaygın kullanımına mani olmuştur. Bu problemlerin birincisi, ark kaynağı bir fabrikasyon yöntemidir ve sık sık küçük hacimli işlerde kullanılır, dolayısı ile ekonomik gereksinimler otomasyon zorluğunu ortaya çıkarır. İkinci olarak ark kaynağı yapılarak birleştirilecek parçaların boyut değişimleri insan kaynakçı tarafından rahatlıkla telafi edilebilir; robotlar ise bu konuda yetiştirilemezler. Üçüncüsü ise, insan kaynakçılarının girişi zor yerlerde (kazanların içinde, tank ve gemi gövdelerinin içinde) çalışması istenir. Dördüncü ve sonuncusu, ark kaynağı yönteminin değişkenlerinin monitörde izlenebilmesi için sezici teknoloji henüz yeterli ölçüde tam olarak geliştirilememiştir.

Bu problemlerin sonucunda, robotların ark kaynağı uygulamaları yüksek ve orta hacimli üretimler için sınırlandırılmıştır. Ayrıca birleştirilecek parçalar belirli ölçülerde alınabilir ve boyutsal değişimlere toleranslar

çerçevesinde izin verilebilir. Tipik bir robot ark kaynağı istasyonu şekil 124'de görülmektedir.

Yarı-otomatik yöntemler uygulanarak yapılan kaynaklar ile karşılaştırıldığında robot kaynak istasyonlarının üstünlükleri şunlardır:

- Yüksek verimlilik,
- Arttırılmış iş güvenliği,
- Kaliteli ve daha mukavemetli kaynak dikişlerinin elde edilmesi.

Robotlar tarafından gerçekleştirilen MIG-MAG ve TIG gazaltı kaynak yöntemlerinin daha iyi anlaşılmasını sağlamak için bir kaynak robotu donanımının elemanlarını tek tek incelemekte fayda vardır. Bu elemanlardaki gelişmeler, robotların ark kaynağı uygulamalarının endüstriye yaygınlaşması sonucu devam etmektedir.

KAYNAK TORCU

MIG-MAG kaynağı yapan robot, el ile yapılan kaynaktan daha yüksek hızda çalışmaya dayanabilen kaynak torcuna gereksinime duyar. Hava soğutmalı tabancalar düşük akım şiddetleriyle yeterli olabilseler de yüksek hızda çalışma ve yüksek akım şiddetleri için lüle ve kontak borusunun (nozül) su ile soğutulması sıçramaları azaltır ve torcun ömrünü arttırır.

Bakır ve bakır alaşımlarından yapılmış kontak borularının (nozül) yerine geliştirilen kompozit malzemelerden yapılanların kullanılması sonucu nozül ömrü dört kat arttırılmıştır. Yaylı bağlantılar kullanılarak torç ile iş parçası yüzeyi arasında olabilecek çarpışmaların hasarı minimuma indirildiği gibi, böyle bir kaza sonucu torcun konum değiştirmesi de önlenmiştir.

Torcun kolay sökülüp takılabilmesi ve uygun konumda yerleştirilmesi çok önemli bir konudur; robot üzerine yerleştirilen bir değiştirme aparatı ile bu işlem oldukça kolaylaştırılabilir.

TEL SÜRME TERTİBATI

Robot tarafından otomatik olarak gerçekleştirilen kaynak esnasında, telin birçok kez durması ve yeniden ilerlemesi gibi durumlarla karşılaşıldığından telin bükülmesi ayrıca tel ilerleme hızının değişmesi sonucunda da bir yere takılıp kalması istenmez, bu da, büyük momentli sürme motorlarının ve büyük çaplı tel sürme rulolarının kullanılmasıyla gerçekleştirilir. Büyük çaplı rulolar kaynak teli ile daha büyük temas yüzeyine sahip olduklarından küçük çaplılara göre daha fazla itme gücü sağlamaktadırlar.

AKIM ÜRETECİ

Robot ile yapılan ark kaynağında kullanılan akım üretici, eli ile yapılan kaynak için gerek duyulandan daha yüksek tuzlardaki çalışmalara yetecek şiddetle akım sağlayabilmeli ve ayrıca robot kontrol ünitesinden alınan dijital bilgiyi robot ile akım üretici arasındaki bir arabirime verebilmelidir; böylece ark gerilimi ve tel sürme hızının ayarlanması için gereken bilgiler akım üretici kontrol ünitesine aktarılabilir.

El ile yapılan kaynak işlerinde kullanılan parametreler uygulanarak, robotu sadece el ile yapılan işlerden kurtulmak için kullanmak, hiçbir verimlilik sağlamaz. Robot kullanımı halinde, yüksek akım şiddeti ve tel sürme hızları ile su ile soğutulan torçlar kullanılarak üretim miktarı ve verimlilik arttırılabilir.

KORUYUCU GAZ

Robot kullanılarak yapılan ark kaynak işlemlerinde arkın kararlılığı her pozisyonda kaynak yapılabilme olanağı ve sıçramanın asgari düzeyde olması çok önemlidir.

Özellikle arkın kararlılığı ve sıçramanın asgariye indirilmesi doğru seçilmiş bir koruyucu gaz ile gerçekleştirilebilir. Gaz seçimi için robot ile yapılan kaynakta önceden edinilmiş deneyimlerden yararlanılmalıdır.

Kaynak esnasında sıçrayan metal zerrecikleri, nozula yapışarak gaz akımını ve sonuçta da kaynak dikişinin kalitesini bozar. Özellikle robot ile yapılan kaynak işlerinde bu konu çok önemlidir. Hangi aralıklarla lülenin temizlenmesi gerekliliği, kullanıma, akım üretene, koruyucu gaza ve diğer kaynak parametrelerine bağlı olarak değişir.

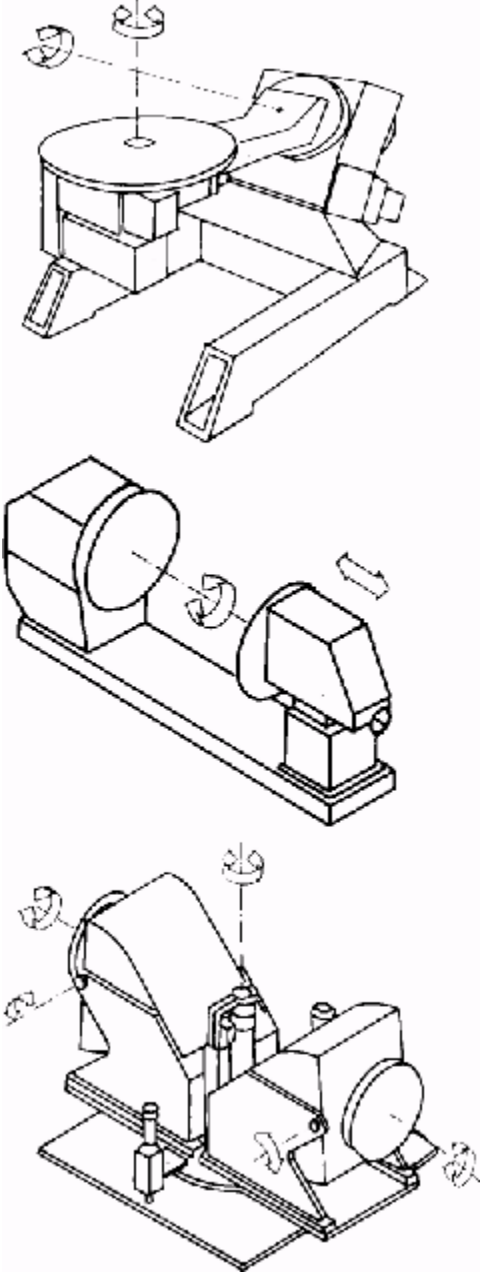
Günümüzde, henüz ticari olarak kullanıma girmemesine rağmen sıçrama kontrolü için otomatik sistemler geliştirilmiştir.

POZİSYONER

Robot kaynak istasyonunun oldukça önemli elemanlarından bir tanesi olan iş parçası pozisyonunun iki fonksiyonu yerine getirmesi istenir;

—İş parçasının bir veya daha fazla ekseninde dönmesinin sağlanması ile manipülatör pozisyoner kombinasyonunda ilave serbestlik derecelerinin sağlanması,

—Robot ve operatör arasındaki koordinasyonun daha rahat gerçekleştirilebilmesi; Şekil 123'de görülen pozisyonerden başka bugün daha değişik dizaynlarda gerçekleştirilmiş pozisyonerler kullanılmaktadır (Şekil 125.)



Şekil 125- Çeşitli tür pozisyoneler;

(a) Döner tablalı, iki eksenli büyük pozisyoner;

(b) Bir tahrikli puntalı pozisyoner;

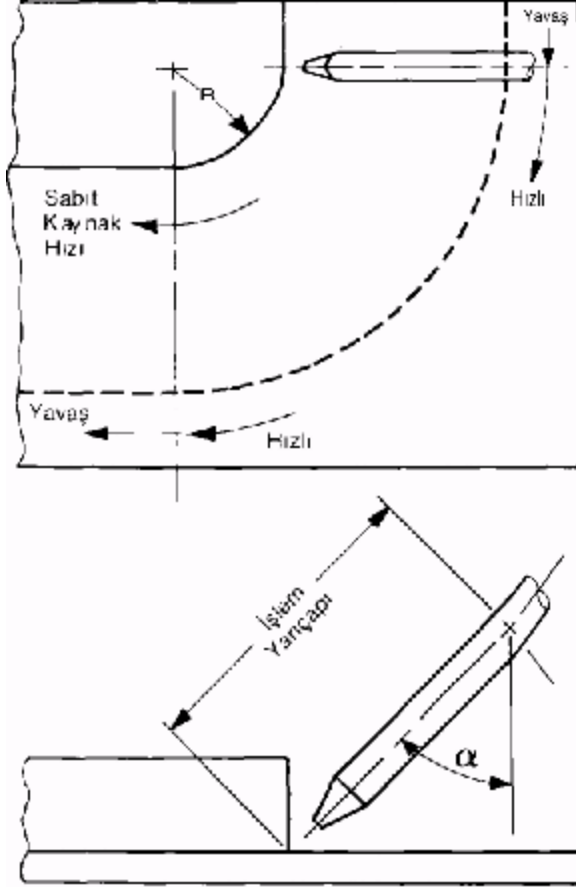
(c) Döndürme/eğme tablalarıyla donatılmış çok eksenli bir pozisyoner.

Şekil 125 a'da görülen iki eksenli pozisyoner, beş serbestlik derecesine sahip bir robot sistemi ile beraber kullanıldığında iki ilave serbestlik derecesi sağlar.

Pozisyoneler, robot bilgisayarı tarafından kontrol edilirler ve kaynak esnasında hareket etmezler; her dikeş için ayrı bir pozisyonu almaları tercih edilir, örneğin, dikdörtgen bir kutunun dibindeki iç kaynaklar

rahatlıkla yapılabilir. Bu, altı serbestlik dereceli bir robot manipülatörü tarafından tek pozisyonda gerçekleştirilmesi mümkün olmayacak bir olaydır.

Şekil 125 c'de görülen pozisyoner kullanılarak, operatör tarafından robotla koordineli bir yükleme ve boşaltma rahatlıkla yapılabilir. Operatör kendi tarafından bulunan pozisyoner tablasını yüklerken, robot kendi tarafındaki tabla üzerindeki parçanın kaynak işlemlerini gerçekleştirir. Kaynak tamamlandığında robot bilgisayarı, operatör tarafından bir ayak pedalı veya bir düğmeye basılarak gelecek sinyali bekler.



R: Kaynak yarıçapı. α : Torç Eğimi.

Şekil 126- Sabit hızda köşe kaynaklarında kaynak torcunun hızının değişmesi gereklidir.

Robotun doğrudan kontrolü altındaki tabla 180 ° döner ve seziciler dönmenin tamamlandığını bildirdiğinde kaynak işlemi tekrar başlar. Bu esnada, operatör kaynaklanmış parçayı boşaltmakta serbesttir ve başka bir iş parçasını yükleyebilir. Robot ile operatörün koordineli çalıştığı kaynak istasyonlarının günümüzde birçok türü geliştirilmiştir, öyle ki artık bir operatör birden fazla robota hükmedebilmektedir.

KAYNAK HIZI

Robotlar 0.75-1.5 m/s. (45-90 m/dak.) arasında doğrusal hıza sahip olabilirler. Aslında kaynak işlemi için 5 m/dak.dan daha fazla hızlar gerekmemekle beraber robotun maksimum yer değiştirme hızı, kaynaklar arasındaki hareket zamanı dolayısı ile toplam kaynak zamanını etkiler.

Yüksek hızlarda hareket eden bir kaynak torcunu küçük yarıçaplı eğriler etrafında dolaştırırken düzgün bir kaynak hızı elde edilemeyebilir (Şekil 126), bu nedenle bir veya iki mafsal motorunun hız sınırları arttırılabilir. Yatayla 45 ° açı yapan 300 mm. boyundaki bir kaynak torcunun, 25 mm. yarıçaplı (robot için oldukça dar) köşe birleştirmesini kaynak edebilmesi için torcun bağlanma noktasının, tel ucundan dokuz kat daha hızlı ilerlemesi gerekir.

KAYNAĞIN TEKRAR EDİLEBİLİRLİĞİ

Kaynak robotlarının bir çoğu ± 0.2 mm.'lik hassasiyette bir tekrarlanabilirliğe sahiptir. MIG/MAG kaynak robotu ile tatminkâr bir üretim için telin kaynak çizgisi üzerinde, tel çapının yarısı kadar sapmasına (örneğin; 0.4 mm. ilâ 0.8 mm. ye) müsaade edilir. MIG/MAG kaynağı uygulamalarının çoğu için kullanılan robotlar yeteri kadar hassas çalışırlar. Ancak, robot torcunun temas ucu + 0.2 mm. bir sapma yapsa dahi, kötü biçimde hasar görmüş lüleler veya tam düz olmayan bir tel, yanlış çekilen bir dikiş hatalı kaynağa neden olabilir. TIG kaynağı için + 0.1 mm. ve daha iyi bir tekrarlanabilirlik tercih edilmektedir.

ROBOTUN TAŞIMA KAPASİTESİ

Ark kaynağı robotları genellikle 3-6 kg. arasında taşıma kapasiteleriyle, kaynak torcunu taşımaya yeterli kapasitedelerdir. Kaynak dikişinin izlenmesi için bir optik laser/kamera yerleştirildiğinde veya takını değiştirme sistemi istendiğinde taşıma kapasitesinin yeniden değerlendirilmesi gereklidir.

ARA BİRİM İŞLEMİ (INTERFACING) VE SİNYALLEME

Kaynak robotunun, bir kaynak istasyonunun veya üretim hattının bir parçası olduğu durumlarda tüm işlevleri yerine getirebilmesi için çevresindeki cihazlarla koordine içinde olması gereklidir.

Çevredeki cihazlara örnek olarak; iş parçası pozisyonerleri, akım üreticileri, istasyon kontrol paneli, bağlama elemanları, kilitler ve emniyet panoları gösterilebilir. Bilgisayar Entegrasyonu Üretim (CIM) kavramları yaygınlaştıkça, robot kontrol üniteleri arasında daha gelişmiş bir haberleşmeye artan oranda gerek duyulacaktır.

KAYNAK ROBOTLARIN ENDÜSTRİYEL ÖNEMİ

Kaynak robotları esneklikleri sayesinde üretiminde kaynak uygulanan ve üretim miktarı belli bir sayının üstünde olan her çeşit ürün için kullanılabilir. Örneğin; aynı robot bir otomobil fabrikasında karoseri yapımında, ev aletleri fabrikasında ise buzdolabı ve çamaşır makinesi üretiminde kullanılabilir. Robot kullanımı ile işin kalitesi geliştirilebildiği gibi üretim hızı da büyük çapta artmaktadır. İşçi ücretlerinin yüksek olduğu Avrupa, ABD ve Japonya'da robot uygulaması ile aynı iş 1/3 ilâ 1/4 oranında daha ucuza maledilebilmektedir.

Bir insan kaynakçı çalışması esnasında zamanının % 20 ilâ 30'u arasında kaynak yapabilir; bir robot kaynakçı ise % 60 ilâ 70 verimle çalışır. Bu hesaba göre, bir robot istasyonunda iki, üç kaynakçının yaptığı iş aynı anda yapılabilir; ayrıca kaynak pozisyonerlerinin kullanılması ile yükleme, boşaltma süreleri kısaltılarak zamandan önemli ölçüde tasarruf sağlanabilmektedir.

Elle yapılan kaynak, kaynakçı için oldukça yorucu bir iştir, konforsuz çalışma koşullarında çok iyi el

ve göz eşgüdüme gerek vardır. Kaynakçı kısa sürede yorulmakta ve bu da kaynak kalitesine yansımaktadır; bir robot ise yorulmaz.

Genellikle seri üretim yapan işletmelerde her istasyonda iki kaynakçı birden bulunur. Biri kaynak yaparken diğeri hazır bekler. Robot kullanılması halinde bu çalışanlardan birine duyulan gereksinim ortadan kalkar. Ancak dikkat edilmesi gereken önemli bir husus, robot iş istasyonlarında da, kaynak işleminin gerçekleştirilebilmesi için halen bir insana gerek duyulmasıdır.

KAYNAKÇA

- [1] Anık, S., "Kaynak Tekniği - Tozaltı ve Koruyucu Gaz Kaynak Usulleri - Cilt 2", İTÜ Yayını, Sayı: 883, İstanbul 1972.
- [2] Anık, S., "Kaynak Tekniği - Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti - Cilt 3", İTÜ Yayını, Sayı: 1030, İstanbul 1975.
- [3] Anık, S., "Kaynak Teknolojisi El Kitabı", Ergör Matbaası, İstanbul 1983.
- [4] Anık, S., "Koruyucu Gazla Kaynak", İTÜ Yayını, Sayı: 486, İstanbul 1962.
- [5] Anık, S., Tülbentçi, K., "Argonark Kaynağı", Türk Kaynak Cemiyeti Yayını, No: 18, İstanbul 1968.
- [6] Tülbentçi, K., "MIG-MAG Kaynak Yönteminde Kaynak Ağızlarının Hazırlanması", Gedik Holding Kaynak Dünyası, 1989/1, İstanbul, Ocak 1989, s. 14-19.
- [7] Tülbentçi, K., "Özlu Tel Elektrod İle Kaynak", Gedik Holding Kaynak Dünyası, 1989/2, İstanbul, Haziran 1989, s. 5-9.
- [8] Kaluç, E., "Paslanmaz Çeliklerin MIG ve TIG Kaynağı", Gedik Holding Kaynak Dünyası, 1989/1, İstanbul, Ocak 1989, s. 8-12.
- [9] Tülbentçi, K., "Eriyen Elektrod ile Gazaltı Kaynak Yöntemleri", Bönler Yayını, İstanbul 1987.
- [10] Tülbentçi, K., "Eriyen Elektrod İle Gazaltı Kaynağında (MIG-MAG) Kaynak Parametrelerinin Seçimi", Gedik Holding Kaynak Dünyası, 1988/2, İstanbul, Haziran 1988, s. 3-9.
- [11] Tülbentçi, K., "Eriyen Elektrod ile Gazaltı Kaynak Yöntemi", YÜ Yazokulu, İstanbul, Haziran 1985.
- [12] Tülbentçi, K., "Alüminyum ve Alaşımlarının Kaynağı", YÜ Yazokulu, İstanbul, Haziran 1987.
- [13] Tülbentçi, K., "Malzemelerin Kaynak Kabiliyeti", Gedik Holding Kaynak Dünyası, 1989/3, İstanbul, Kasım 1989, s. 7-10.
- [14] Tülbentçi, K., "Ostenitik Sert Manganlı Çeliklerin Kaynağı", Gedik Holding Kaynak Dünyası, 1990/1, İstanbul, Ocak 1990, s. 9-11.
- [15] Anık, S., "MIG-MAG Kaynağında Dikiş Formunu Etkileyen Faktörler", Metal ve Kaynak Dergisi, Yıl: 2, Sayı: 9, İstanbul, Kasım-Aralık 1989, s. 16-21.
- [16] Baggerud, A., "Kaynak Metalürjisi", Çevirenler: S. Anık, K. Tülbentçi, İTÜ Makina Fakültesi, No: 970, İstanbul, 1966.
- [17] Tülbentçi, K., "Karbonlu ve Az Alaşımlı Çeliklerin Kaynağı", Böhler Yayını, İstanbul 1987.

- [18] Kılık, R., "Mekanize Dar Aralık Kaynak Tekniğindeki Gelişmeler",
2. Ulusal Kaynak Sempozyumu Bildiri Kitabı, İTÜ Mak. Fakültesi, İstanbul, Maçka 1989, s. 255-263.
- [19] Kaluç, E., "Martenzitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı",
Gedik Holding Kaynak Dünyası, 1989/2, İstanbul, Haziran 1989, s. 16-19.
- [20] Gültekin, N., "Kaynak Tekniği", YÜ Yayını, Sayı: 184, İstanbul 1983.
- [21] Kaluç, E., "Ferritik Krom/u Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı",
Gedik Holding Kaynak Dünyası, 1989/3, İstanbul, Kasım 1989, S. 11-14.
- [22] Kaluç, E., "Otomotiv Endüstrisinde Kaynak Robotlarının Önemi",
2. Otomotiv ve Yan Sanayi Sempozyumu, Endüstri Mühendisliği Dergi Özel Sayı: 1, Bursa, 1989.
- [23] Karadeniz, E., Tülbentçi, K., "Kaynak Makinaları", SEGEM Yayını, No: 108, Ankara, Mayıs 1985.
- [24] Adsan, K., "Kaynak Teknolojisi",
Yüksek Teknik Öğretmen Okulu, Yayın No: 33, Ankara, 1981.
- [25] Anık, S., Tülbentçi, K., Özgöktüğü, T., "Soru ve Cevaplarla Kaynak Teknolojisi", Eğitim Yayınları, İstanbul 1976.
- [26] Fischer, H., Baum, L., "DerSchutzgasschweisser-Teil 1/2",
Deutsche Verband für Schweißtechnik, No: 11-12, Almanya 1977.
- [27] Aichele, G., Smith, A.A., "MAG -schweißen",
DVS, Band 67, Almanya 1975.
- [28] Ruge, J., "Handbuch der Schweißtechnik",
Band 1-2, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Newyork 1980.
- [29] Munske, H., "Handbuch des Schutzgasschweissens",
DVS, Almanya 1975.
- [30] Boese, U., Werner, D., Wirtz, H., "Das Verhalten der Stähle beim Schweißen Teil 1/2", DVS,
Band 44, Almanya 1984.
- [31] N. N., "Arbeitsschutz beim Schweißen",
DVS, Band 29, Almanya 1968.
- [32] N. N., "Schutzgas Handbuch",
Messer Griesheim GmbH, Almanya.
- [33] BECKEN, O., "Handbuch des Schutzgasschweissens",
DVS, Band 30/1, Almanya 1969.
- [34] N. N., "Fügetechnik - Schweißtechnik",
DVS, Almanya 1987.
- [35] N. N., "UP Handbuch",
Messer Griesheim GmbH, Almanya.

- [36] N. N., "Welding Handbook-Vol. 2-Weld. Processes/Arc and Gas Weld. and Cutting, Brazing and Soldering", Seventh Edition, AWS, Amerika 1978.
- [37] N. N., "Welding Handbook-Volume, 4 Metals and Their Weldability", Seventh Edition, AWS, Amerika 1982.
- [38] Easterling, K., "Introduction to the Physical Metallurgy of Welding", Butterworths, İngiltere 1983.
- [39] Brumbaugh, J. E., "Welders Guide", Audel, Ninth Printing, Amerika 1980.
- [40] N. N., "Technical Guide for Gas Metal Arc Welding", Hobart Brothers Co., Amerika 1980.
- [41] N. N., "Technical Guide for Gas Tungsten Arc Welding", Hobart Brothers Co., Amerika 1980.
- [42] N. N., "Aluminum Welder's Training Manual and Exercises", The Aluminum Association, Amerika 1978.
- [43] N. N., "MIG Welding Aluminum with Pete and Harry", Reynolds Metals Company, Amerika 1966.
- [44] N. N., "Metals Handbook-Volume 6-Welding, Brazing and Soldering", Ninth Edition, ASM, Amerika 1983.
- [45] N. N., "The Procedure Handbook of Arc Welding", Twelfth Edition, The Lincoln Electric Co., Amerika 1973.
- [46] Sacks, R. J., "Welding: Principles and Practices" Chas. A. Bennett Co. Inc., Amerika 1976.
- [47] N. N., "Gas Metal Arc Welding Guide", The Lincoln Electric Co., Amerika 1986.
- [48] Cary, H. B., "Modern Welding Technology", Prentice-Hall, Inc., Amerika 1979.
- [49] Kenyon, W., "Welding and Fabrication Technology", Pitman, İngiltere 1982.
- [50] Smith, D., "Welding Skills and Technology", Mc Graw Hill, Singapur 1986.
- [51] N. N., "Automotive Parts Manufacturer Uses Robots Extensively", Welding Journal, AWS, Volume 68, No: 11, Amerika, November 1989, s. 59-61.
- [52] N. N., "Adaptive Welding Cells: Trend of the Future", Welding Journal, AWS, Volume 68, No: 11, Amerika, November 1989. s. 62-63.
- [53] Rybakov, V., "Arc and Gas Welding", Mir Publishers, Moskova 1986.

[54] Khanapetov, M., *"Welding and Cutting of Metals",*

Mir Publishers, Moskova 1979.

[55] Nikolaev, G., Ojhansky, N., *"Advanced Welding Processes",*

Mir Publishers, Moskova 1977.

[56] DIN, AWS, ASTM, TSE 'nin konu ile ilgili standartları.