



MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

ÇELİKLERE GAZALTI KAYNAĞININ UYGULANMASI
VE KAYNAĞA ETKİ EDEN PARAMETRELER

SEÇKİN KARAKOÇ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Antakya / HATAY

MAYIS - 2012

İÇİNDEKİLER

ÖZET	I
ABSTRACT	II
ÇİZELGELER DİZİNİ	III
ŞEKİLLER DİZİNİ	IV
1. GİRİŞ	1
1.1. Gazaltı Kaynak Yönteminin Avantajları	1
1.2. Gazaltı Kaynak Yönteminin Dezavantajları	2
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	4
3. MATERYAL VE YÖNTEM	6
3.1. DONANIM	6
3.1.1. Güç Ünitesi	6
3.1.1.1. Gazaltı Kaynak Makinaları İçin Konvansiyonel Kaynak Redresörü	6
3.1.1.2. Tristör Kontrollü Kaynak Redresörü	7
3.1.1.3. Transistörlü Kaynak Redresörü	8
3.1.2. Tel Sürme Birimi	9
3.1.3. Hortum Paketi	12
3.1.4. Kaynak Torcu	13
3.1.5. Kumanda ve Ayar Elemanları	16
3.2. Kaynak Dolgu Malzemeleri ve Yardımcı Malzemeler	17
3.2.1. Tel Elektrodlar	17
3.2.1.1. Masif Tel Elektrodlar	17
3.2.1.2. Özlü Tel Elektrodlar	18
3.2.2. Koruyucu Gazlar	20

3.3. Galtı Kaynağında Malzeme Geçişi ve Ark Türleri	24
3.3.1. Gazaltı Kaynağında Ark Boyunun Ayarı ve İç Ayar Prensibi	24
3.2.2. Arktaki Kuvvetler ve Malzeme Geçişi	25
3.3.3. Ark Türleri	29
3.3.3.1. Kısa Ark	29
3.3.3.2. Sprey Ark	30
3.3.3.3. Geçiş Arkı	31
3.3.3.4. Uzun Ark	31
3.3.3.5. Darbeli Ark	32
3.4. Gazaltı Kaynağına Etki Eden Parametreler	33
3.4.1. Elektrod Çapı	33
3.4.2. Koruyucu Gaz Türü	34
3.4.3. Ark Gerilimi	35
3.4.4. Tel Hızının Etkisi	37
3.4.5. Temas Borusu Mesafesi	37
3.4.6. Kaynak Hızı	38
3.4.7. Üflecin Eğimi	40
3.5. Kaynak Kabiliyeti ve Çelik Çeşitlerinin Kaynak Edilebilirliği	41
3.5.1. Kaynaklanabilirlik	41
3.5.2. Kaynağına Uygunluk	41
3.5.3. Kaynaklı Birleştirme	44
3.5.4. İnce Taneli Yapı Çeliklerinin Genel Özellikleri ve Kaynağı	45
3.5.4.1. İnce Taneli Yapı Çeliklerinin Kaynağına Uygunluğu	46
3.5.4.1.1. Soğuk Çatlaklar	47
3.5.4.1.2. Hidrojen Gevrekleşmesi	47

3.5.4.1.3. Çentik Darbe Enerjisi	48
3.5.4.1.4. Kaynak İşlemine Etkisi	49
3.5.4.2. Termomekanik Olarak Haddelenmiş İnce Taneli Yapı Çelikleri	49
3.5.4.3. Islah Edilmiş İnce Taneli Yapı Çelikleri	51
3.5.4.4. Çökelmeyle Sertleştirilmiş İnce Taneli Yapı Çelikleri	54
3.5.4.5. İnce Taneli Yapı Çeliklerinin Kaynağı	54
3.5.5. Paslanmaz Çeliklerin Genel Özellikleri ve Kaynağı	56
3.5.5.1. Martensitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı	57
3.5.5.2. Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı	58
3.5.5.3. Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı	60
3.5.5.4. Dupleks Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı	65
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	67
4.1. Kaynağa Etki Eden Parametreler (Deneysel Çalışmalar)	67
4.1.1. Tel Erime Hızı ve Akım Şiddeti Arasındaki İlişki	67
4.1.2. Gaz Türünün Arkın Şekline Etkisi	68
4.1.3. Kaynak Hızının Etkisi	68
4.1.4. Kaynak Geriliminin Etkisi	71
4.1.5. Kaynağın Mekanik Özelliklere Etkisi	72
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	73
KAYNAKLAR	75
TEŞEKKÜR	78
ÖZGEÇMİŞ	79

ÖZET**ÇELİKLERE GAZALTI KAYNAĞININ UYGULANMASI
VE KAYNAĞA ETKİ EDEN PARAMETRELER**

Ülkemizde de son yıllarda ağır sanayinin gelişmesine paralel olarak kaynaklı imalat da hızlı bir şekilde yaygınlaşmıştır. Gazaltı ark kaynak yöntemi ergime esaslı kaynak yöntemleri arasında en çok kullanılan kaynak yöntemi haline gelmiş ve kullanım oranı gün geçtikçe artmaktadır.

Bu çalışmada gazaltı ark kaynağının çalışma mekanizması, gazaltı kaynağında malzeme geçişi ve ark türleri, gazaltı ark kaynağına etki eden parametreler, kaynak edilebilirlik ve bazı çelik çeşitlerine gazaltı ark kaynağının uygulanması işlenmiştir.

Son bölümde de, daha önce yapılmış deneysel çalışmalardan alıntılar yapılarak, kaynağa etki eden parametreler şekilsel ve grafiksel olarak yorumlanmıştır.

2012, 78

Anahtar Kelimeler: Gazaltı ark kaynağı, MIG-MAG, kaynağa etki eden parametreler, çelikler, ince taneli yapı çelikleri, paslanmaz çelikler.

ABSTRACT**APPLICATION OF GAS METAL ARC WELDING TO STEEL
AND THE PARAMETERS**

In Turkey, welding production has recently grown up parallel to the development of heavy industry. Gas metal arc welding method has been the most commonly used method among the fusion welding processes and its industrial use is currently been increasing.

In this study, the working mechanism of gas metal arc welding, the material transfer in gas metal arc welding and arc types, the parameters influencing the process, weldability and the gas metal arc welding application on some steel types were discussed.

In the last chapter, the welding parameters were interpreted with schemes and graphs by quoting some experimental studies.

2012, 78

Key Words: Gas metal arc welding, MIG-MAG, parameters, steels, fine grained steels, stainless steel.

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. EN 439'a göre gazaltı ark kaynağında kullanılan koruyucu gazların sınıflandırılması.....	21
Çizelge 3.2. Gazaltı ark kaynağında sık kullanılan gazlar.....	22
Çizelge 3.3. Oluşabilecek hata ve yerleri.....	43
Çizelge 3.4. DIN EN 10137-2'ye göre gösterilen ince taneli yapı çeliğinin analizi.....	53
Çizelge 3.5. Öntavın uygulanmasında gerekli malzeme kalınlıkları.....	56
Çizelge 3.6. Karbon oranında göre kritik sıcaklık ve kuluçka periyodu.....	62
Çizelge 4.1. Ark gerilimi ve akımın sabit kalması durumunda kaynak hızının nüfuziyete etkisi.....	71

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Gazaltı ark kaynağı.....	2
Şekil 3.1. Gazaltı ark kaynağı için konvansiyonel kaynak redresörü, statik karakteristik diyagramı.....	7
Şekil 3.2. Gazaltı ark kaynağı için tristör kontrollü kaynak redresörü, statik karakteristik eğrisi.....	8
Şekil 3.3. Tel sürme makaraları.....	10
Şekil 3.4. Tel sürme şeması.....	10
Şekil 3.5. Tel sürme makaralarının çok büyük veya çok küçük olması sebebiyle meydana gelen hatalar.....	11
Şekil 3.6. Tel giriş memesindeki hatalar sebebiyle tel elektrodun bükülmesi.....	11
Şekil 3.7. Bir gazaltı ark kaynak torcunun gaz ve su soğutma uygulamalarını da gösteren kesit şeması.....	14
Şekil 3.8. Kontak memelerde sıkça karşılaşılan arızalar.....	15
Şekil 3.9. Özlü tel elektrodarda yaygın olarak kullanılan kesit.....	19
Şekil 3.10. Koruyucu gaz debisinin sıkıştırma nozülü ile ölçülmesi.....	23
Şekil 3.11. Koruyucu gaz debisinin uçar cisimle ölçülmesi.....	23
Şekil 3.12. Gaz nozulu çapına ve akım şiddetine bağlı olarak koruyucu gaz debisi.....	24
Şekil 3.13. Ark boyunun iç ayar prensibi.....	25
Şekil 3.14. Malzeme geçişi sırasındaki önemli kuvvetler.....	26
Şekil 3.15. Akıma bağlı pinç kuvveti.....	27
Şekil 3.16. Argon, argonca zengin karışık ve karbondioksit gazlarında arkın çıkış noktaları.....	28

Şekil 3.17. Kısa arkta malzeme geçişi ve akım değişimi.....	30
Şekil 3.18. Sprey arkta malzeme geçişi.....	31
Şekil 3.19. Uzun arkta malzeme geçişi ve akımın değişimi.....	32
Şekil 3.20. Darbeli arkta malzeme geçişi ve akımın değişimi.....	33
Şekil 3.21. Tel çapı ile akım yüklenilebilirliğin ve eritme gücü ile nüfuziyet değişimi.....	34
Şekil 3.22. Çeşitli koruyucu gaz türlerinde elde edilen kaynak dikişi profillerinin şematik olarak gösterilmesi.....	35
Şekil 3.23. Sprey arkla oluk pozisyonunda köşe dikişlerinin kaynağında ark geriliminin etkisi.....	36
Şekil 3.24. Alın kaynağında ark geriliminin etkisi.....	36
Şekil 3.25. Sabit gerilimde akım şiddetinin ve tel hızının etkisi.....	38
Şekil 3.26. Temas borusu mesafesi.....	39
Şekil 3.27. Temas borusu mesafesinin dikiş geometrisine ve akım şiddetine Etkisi.....	39
Şekil 3.28. Kaynak hızının nüfuziyet derinliğine etkisi.....	39
Şekil 3.29. Üflecin eğiminin dikiş formuna etkisi.....	40
Şekil 3.30. Yukarıdan aşağı kaynaklarda üflecin eğimi.....	40
Şekil 3.31. Kaynaklanabilirliğin şematik gösterimi.....	42
Şekil 3.32. Isıdan etkilenmiş bölgenin şematik gösterimi.....	43
Şekil 3.33. Kaynaklı malzemenin şematik gösterimi.....	44
Şekil 3.34. Perlit içeriğinin sıcaklığa göre değişimi	50
Şekil 3.35. Normalizasyon haddelemesiyle karşılaştırmalı olarak termomekanik haddeleme.....	52
Şekil 3.36. DIN EN 10137' ye göre malzeme gösterimi.....	53
Şekil 3.37. EN 10137-3'e göre malzeme gösterimi.....	54

Şekil 4.1. Akımın değişmesiyle tel erime hızının değişimi.....	67
Şekil 4.2. Akım şiddetinin, kaynak dikişinin biçim ve boyutlarına etkisi.....	68
Şekil 4.3. Saf argon ve karışım gazında arkın değişimi.....	68
Şekil 4.4. 22 V için çeşitli akım değerlerinde nüfuziyet derinliği.....	69
Şekil 4.5. 24 V için çeşitli akım değerlerinde nüfuziyet derinliği.....	69
Şekil 4.6. 26 V için çeşitli akım değerlerinde nüfuziyet derinliği.....	70
Şekil 4.7. Kaynak hızının nüfuziyete etkisi.....	70
Şekil 4.8. Ark geriliminin kaynak genişliğine etkisi.....	71
Şekil 4.9. Gazaltı ark kaynak yöntemi ile kaynatılmış malzemenin kaynak bölgesi ve ısıdan etkilenmiş bölgenin sertlik değişimi.....	72

1. GİRİŞ

Günümüzde kaynak teknolojisi son derece yaygınlaşmış kaynak yöntemlerinden herhangi birini kullanmayan atölye, fabrika, şantiye vs. görmek hemen hemen imkansız hale gelmiştir. Gazaltı ark kaynağı ise ergime esaslı kaynak yöntemleri arasında en çok kullanılan kaynak yöntemi haline gelmiş ve kullanım oranı gün geçtikçe artmaktadır (Güner, 2007).

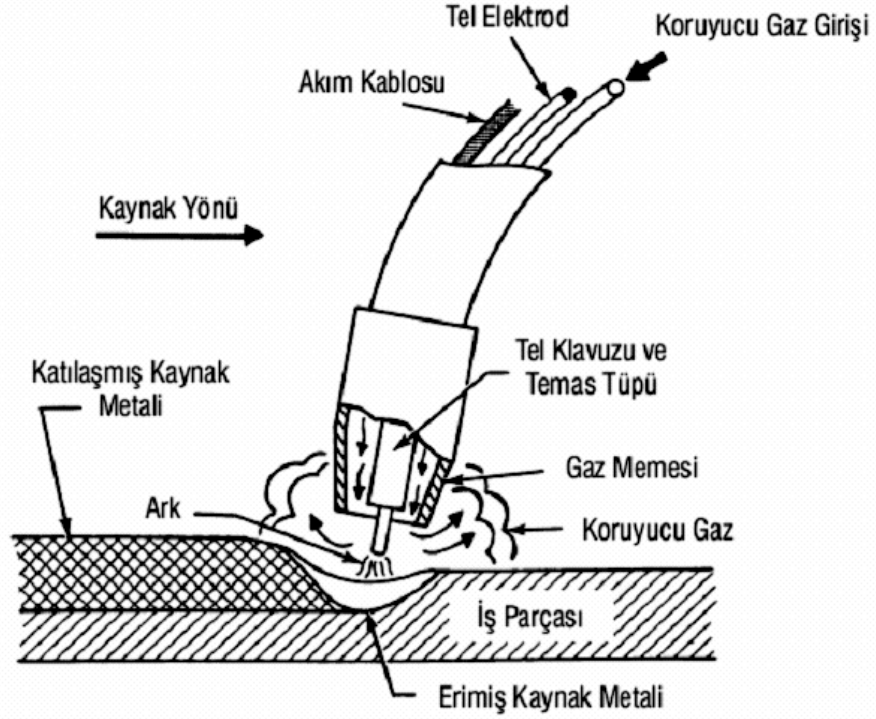
Gazaltı ark kaynağında sıcaklığın bir eriyen metal elektrod ve iş parçası arasında oluşan ark tarafından sağlandığı bir ark kaynağı prosesidir. Kaynak bölgesine sürekli olarak beslenen bir tel elektrod dolgu metali olarak tüketilmektedir. Elektrod, kaynak havuzu, ark ve ana metale komşu olan bölge kaynak bölgesine sürekli olarak beslenen bir akıcı gazla atmosferin zararlı etkilerinden korunmaktadır. Gaz koruması tam koruma sağlamalıdır. Çünkü çok küçük bir boşlukta bile hava teması kaynak metalini kirletebilir (Gençmen, 2006).

Yöntem koruyucu gazın cinsine göre iki isimle adlandırılmaktadır. Asal gazlarla (argon, helyum) yapılan korumada yöntem MIG, aktif gazla (CO₂, O₂,) yapılan korumada yöntem MAG adını almaktadır. Ülkemizde ise gazaltı ark ve MIG/MAG kaynağı adları kullanılmaktadır.

1.1. Gazaltı Ark Kaynak Yönteminin Avantajları

Kaynağa uygun olan malzemelerin hemen hepsi gazaltı ark kaynağı yöntemiyle birleştirilebilir. Alaşımli ve alaşımsız çelikler ve de CrNi çelikleri gazaltı (aktif gaz içeren koruyucu gazlarla) yöntemi ile kaynaklanır. Alüminyum, magnezyum, nikel bazlı malzemeler, bakır, titanyum vb. gibi diğer malzemelerde yine gazaltı ark (asal koruyucu gazlar içeren) yöntemiyle kaynaklanır. Yüksek seviyede eritme gücü ve kaynak hızlarına ulaşabilmekte ve bununla beraber yeterli dikiş kalitesi elde edilebilmektedir (Erengin, 2009).

Alaşımsız ve az alaşımlı çeliklerin seri imalat kaynaklarında, kaynakçıdan beklenenler nispeten azdır. Fakat krom-nikel çeliği gibi yüksek alaşımlı çelikler, alüminyum malzemeler vb gibi yüksek değerlikli malzemelerden ibaret yapı elemanlarında, kaynakçının ileri seviyede eğitim almış olması mutlaka gerekmektedir. Yöntem robot uygulamalarında kolaylıkla mekanize edilebilir (Aichele ve Smith, 1975). Elektrik ark kaynağında görülen sınırlı uzunlukta elektrod kullanma problemini ortadan kaldırmıştır. Yoğun cüruf mevcut olmayışı sebebiyle pasolar arası temizlik için sarf edilen zaman çok azdır. (Eryürek, 1998) Yöntem zorunlu pozisyonlarda uygulamayı mümkün kılar. Standart cihazlardaki ilk yatırım maliyeti nispeten düşüktür (Aichele ve Smith, 1975).



Şekil 1.1. Gazaltı ark kaynağı (Fischer ve Baum, 1977).

1.2. Gazaltı Ark Kaynak Yönteminin Dezavantajları

Arktan gelen ısı girdisinin başlamasıyla beraber, dolgu telinin de aynı zamanda erimesi gerektiğinden, dikiş başlangıç ve bitiş bölgelerindeki birleşme hatalarından her zaman kaçınmak mümkün değildir. Düşük hızda kaynak yaparken kaynak banyosunun arkın önüne akması ile birleşme hatası meydana gelmesi mümkündür. Açık arazide veya içerisinde hava cereyanı bulunan kapalı mekanlarda, koruyucu gaz atmosferi uygun düzenekler yardımı ile muhafaza edilmek zorundadır (Fischer ve Baum, 1977). Torcun şekli ve kısıtlamalı yapısı sebebiyle ulaşılması güç yerlerin kaynağı pek mümkün değildir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu yöntemde kaynak için gerekli ısı, sürekli beslenen ve eriyen tel elektrodun üzerinden geçen akıma gösterdiği direnç ile oluşur. Elektrod çıplak bir tel olup, bir elektrod besleme tertibatı ile kaynak bölgesine sabit bir hızla sevk edilir. Çıplak elektrod, kaynak banyosu, ark ve esas metalin kaynak bölgesine komşu bölgeleri, atmosfer kirlenmesine karşı, dışarıdan sağlanan ve bölgeye bir gaz memesinden iletilen uygun bir gaz veya gaz karışımı tarafından korunur.

Eriyen elektrodla gazaltı ark kaynağı fikri 1920'lerde ortaya atılmış olmakla birlikte, ticari anlamda ancak 1948'den itibaren kullanılmaya başlanmıştır. Önceleri yöntem soygaz koruması altında yüksek akım yoğunluklarında ince elektrodlarla gerçekleştirilen bir kaynak yöntemi olarak benimsenmiş ve temelde alüminyumun kaynağında kullanılmıştı. Eriyen metal elektrod ve soygaz kullanılması nedeni ile yönteme MIG (Metal Inert Gas) kaynağı adı verilmiştir. Yöntemde daha sonra düşük akım yoğunlukları ile ve darbeli akımla çalışma, daha değişik metallere uygulama ve koruyucu gaz olarak aktif gazları (CO₂) ve gaz karışımları kullanılması gibi gelişmeler meydana gelmiştir. Bu gelişmeler, aktif koruyucu gazın kullanıldığı yönteme MAG (Metal Active Gas) kaynağı adının verilmesine neden olmuştur. Bu ad ayrımı sadece yöntemin adını belirtmek isteyenlerde sıkıntı yaratmış ve bu nedenle çeşitli ülkeler yöntemi belirtmek amacıyla değişik adlar kullanmaya başlamıştır. Örneğin, Amerika'da yönteme Gaz Metal Ark Kaynağı (GMAW), İngiltere'de ve Almanya'da MIG / MAG kaynağı adı verilmektedir. Ülkemizde ise Eriyen Elektrodla Gazaltı Ark ve MIG / MAG kaynağı adları kullanılmaktadır. Başlangıçta argonun çok pahalıya mal olması nedeni ile alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerde kullanılan yöntem 1960'dan itibaren argon fiyatlarının düşmesiyle argon karbondioksit karışımı gazlar ile daha yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Saf karbondioksit oranla daha pahalı olmasına rağmen koruyucu gazlar çok gelişmiş ve günümüzde MAG kaynağında %80 oranında karışım gaz kullanılmaya başlanmıştır.

Bu yöntemle ilgili diğer bir gelişme de elektroda meydana gelmiştir. Dolu tel yerine içi metal tozu doldurulmuş tüpten oluşturulmuş "özlü elektrodlar" geliştirilmiştir. Böylece örtülü elektrodlardaki örtünün bazı görevlerini özün, çekirdek telinin görevlerini de özü saran çelik tüpün görmesi sağlanmıştır.

Gazaltı ark kaynağında ark boyu kaynak makinası tarafından kontrol edilir. Kaynakçıdan beklenen, gaz memesini kaynak banyosu üzerinde sabit bir yükseklikte tutarak belirli bir hızda hareket ettirmesidir. Ark boyunun kaynak makinası tarafından kontrol edilmesi nedeniyle bu yönteme “yarı otomatik” kaynak yöntemi adı verilmiştir. Otomatik kaynak yönteminde yukarıda açıklanana ek olarak gaz memesi de iş parçası üzerinde belirli bir hızda otomatik olarak hareket eder. Bu durumda kaynakçının kaynak işlemine fiili bir katkısı yoktur.

Alaşımsız çelikler, yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler, alüminyum, bakır, titanyum ve nikel alaşımları gibi ticari açıdan önemli tüm metaller uygun koruyucu gaz, elektrod ve kaynak değişkenlerini seçmek şartıyla, bu yöntemle kaynak edilebilirler.

Bilinen tüm eritme yöntemleri kullanılarak birleştirilmiş dikişler arasında MIG/MAG metal ark kaynağı ile yapılan kısım %70'lik bölümü oluşturmakta ve gelişimini sürdürmektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Donanım

Bir gazaltı ark kaynak makinesinin temel elemanları aşağıdaki gibidir.

1. Güç ünitesi (kaynak redresörü)
2. Tel sürme birimi (Tel makara taşıyıcısı, tel sürme motoru ve makaraları)
3. Hortum paketi
4. Kaynak torcu
5. Soğutma ünitesi
6. Koruyucu gaz ünitesi
7. Kumanda ve ayar elemanları

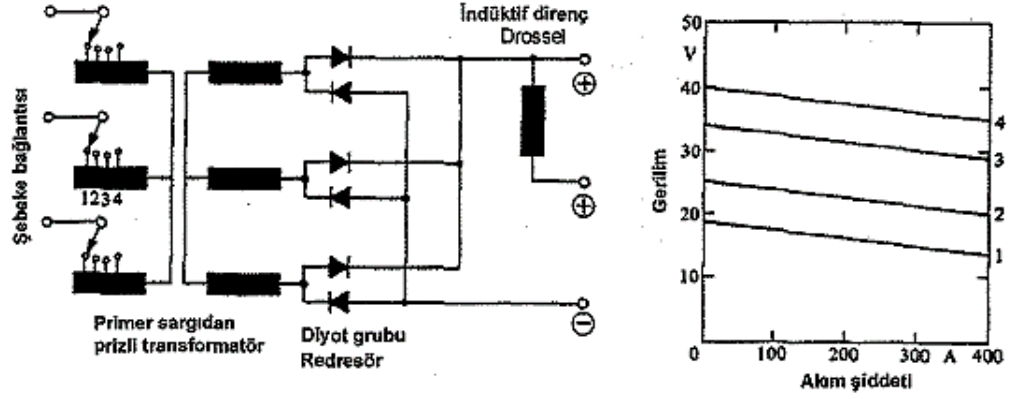
3.1.1. Güç Ünitesi

Bir gazaltı ark kaynak makinasının güç ünitesi, sabit halde veya darbeler halinde doğru akım üretir. Konvansiyonel cihazlardaki güç ünitesi primer ve sekonder tarafa çıkışları bulunan bir transformatör ve buna bağlı bir diyot grubu (redresör) ile gerektiğinde bir indüktif dirençten (drossel) meydana gelmektedir. Güç ünitesinin sağladığı gerilim, örneğin basamaklı şalterle ayarlanabilir (Ören, 2002). Güç ünitesinin yüklenmesi durumunda (yüksek akım şiddeti çekildiğinde), gerilim değerinde çok az bir düşme meydana gelmektedir (yaklaşık 0-5 V / 100A). Bu tür cihazlar sabit ark boyu elde edebilmek üzere hafif düşey statik gerilim-akım karakteristik çizgisi gerekmektedir (Şekil 3.1).

3.1.1.1. Gazaltı Ark Kaynak Makinaları İçin Konvansiyonel Kaynak Redresörü

Yüksek akımlarda kullanılan prizli trafoya ve basamaklı şaltere sahip konvansiyonel kaynak redresörleri imalat maliyetleri yüksek olduğundan piyasaya çok

az sürülmektedir. Cihazlar sağlam yapılı olup, yarı mekanize kaynak için gayet uygundur. Dezavantajı, kaynak işlemi sırasında ark gerilimini değiştirmenin mümkün olmamasıdır. Cihazın kalitesini belirten hususlar, ayarlanan gerilim basamaklarının sayısı ve kısa ark bölgesinde indüktif direncin (drossel) etkinliğidir (Geçmen, 2006).



Şekil 3.1. Gazaltı ark kaynağı için konvansiyonel kaynak redresörü, statik karakteristik diyagramı (Fischer ve Baum, 1977).

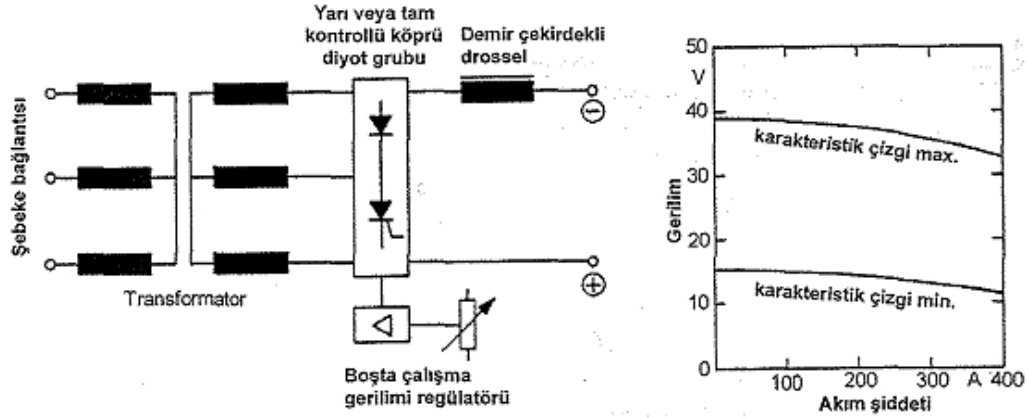
3.1.1.2. Tristör Kontrollü Kaynak Redresörü

Tristör kumandalı güç ünitelerinde, transformatördeki priz çıkışları bulunmaktadır. Primer taraftaki bir tristör (faz kesiti) ve trafonun sekonder taraftaki yarı veya tam kontrollü köprü diyot grubu basamaksız bir gerilim ayarını mümkün kılmaktadır (Şekil 3.2).

Bu yapı tarzı trafoda priz çıkışları gerektirmediğinden uygun fiyatlıdır. Bu cihazlar, kural olarak küçük ve büyük çaplı seri imalatlardaki standart kaynak işlerinde kullanılmaktadır (Fischer ve Baum, 1977).

Bu cihazlar düşük güç seviyelerinde kullanıldığında, faz kesinti sebebiyle kaynak akımındaki dalgalanma çok artabilmekte ve bu durum kaynak işlemini negatif yönde etkilemektedir. Yeterli büyüklükteki bir indüktif direnç (drossel), dalgalanmayı

azaltmaktadır. Daha iyisi, akım üreticini ilgili kaynak işine göre seçmektir. Örneğin 500 A'lık bir akım üreticini sadece 200 A kaynak akım şiddeti ile yüklemek doğru değildir. Gerilimin basamaksız ayarlanabilmesi sayesinde, bu yapı tarzı aynı zamanda tam mekanize uygulamalar içinde uygundur (Fischer ve Baum, 1977).



Şekil 3.2. Gazaltı ark kaynağı için tristör kontrollü kaynak redresörü, statik karakteristik eğrisi (Fischer ve Baum, 1977).

3.1.1.3. Transistörlü Kaynak Redresörü

Transistör kumandalı kaynak redresörleri 20 yıldan daha uzun süredir pratik uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu cihazlar günümüzde sadece tam mekanize uygulamalar için değil zorlu kaynak işleri (örneğin darbeli ark) içinde kullanılmaktadır. Bu cihazların fiyatlarının uygun olması, kaynak özelliklerinin çok iyi olması ve cihazların (kaynak veri programları ile) kullanımının çoğunlukla kolay olması, gazaltı yöntemi ile gerçekleştirilen kaynaklı işlerde konvansiyonel cihazlara kıyasla avantajlar sunmaktadır (Güner, 2007).

Transistör kumandalı güç üniteleri, gerilim, indüktif direnç ve diğer ayar büyüklüklerinin basamaksız biçimde ayarlanmasını mümkün kılmaktadır. Konvansiyonel güç ünitelerinde, akım gerilim karakteristik çizgisi transformatörün yapı tarzı ve diğer yapı elemanları tarafından statik (sabit) biçimde belirlenmektedir.

Transistör kumandalı cihazlardaki akım-gerilim karakteristik çizgisinde ise gerilim azalması kural olarak 0 V/ 100 A'den 5V/100 A'e kadar değiştirilebilmektedir. Bu geniş sınırlar dahilinde ayarlanabilen drossel ile beraber, olumsuz şartlar altında bile sıçrantsız kaynak yapmaya izin vermektedir. Dikiş başlangıcı ve dikiş sonunda devreye giren kaynak programları tutuşturma işlemini iyileştirmekte ve birleşme hatası tehlikesini azaltmaktadır (Ören, 2002).

CrNi çelikleri ve alüminyum malzemeler için tavsiye edilen ve çeliklerde sıkça uygulanan darbeli arkla malzeme transferi, sadece tristör kumandalı akım üreteçleri ile uygulanabilmektedir. Daha önce kullanılan tristör kumandalı akım üreteçleri sadece sınırlı ayar imkanlarına sahipti (Aichele ve Smith, 1975).

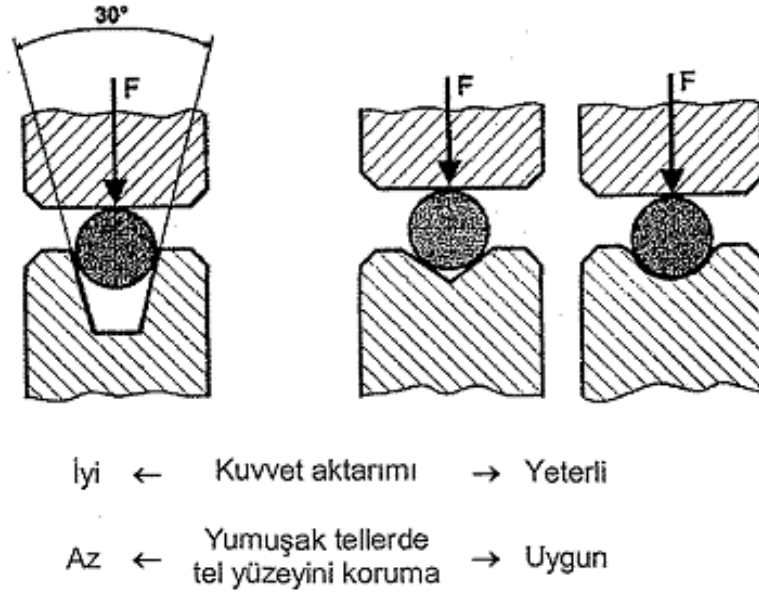
Darbeli arkta, darbe safhasında genellikle sabit gerilim karakteristiği (ark boyunu ayarlamak için gerekli), ve temel akım safhasında ise sabit akım karakteristiği ile çalışır.

Bu kural harici çalışan cihazlarda, darbeli arkta sadece akım ayarlanmaktadır. Burada ark boyu, darbe frekansını, darbe süresini veya tel sürme hızını değiştirerek kontrol edilmektedir (Fischer ve Baum, 1977).

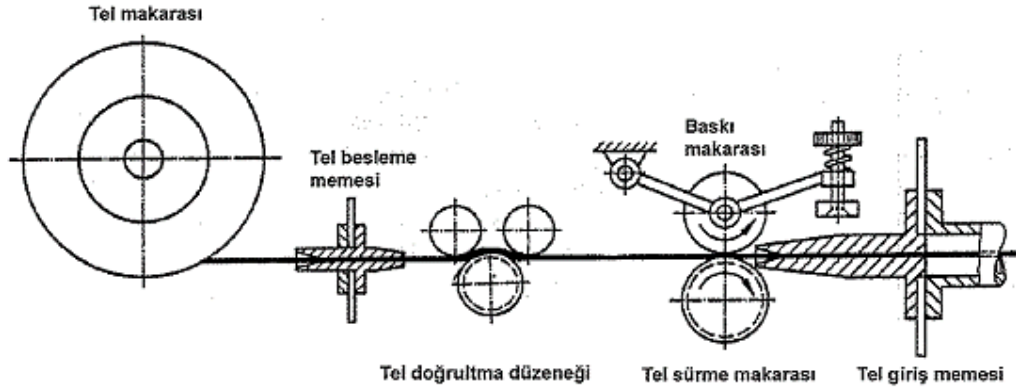
3.1.2. Tel Sürme Birimi

Gazaltı ark kaynağındaki tel elektrod, tel sürme makinasından sağılır ve bir tel sürme ünitesi tarafından birkaç metre uzunluğundaki hortum paketi içerisinde torcun ucundaki akım kontak memesine kadar itilir.

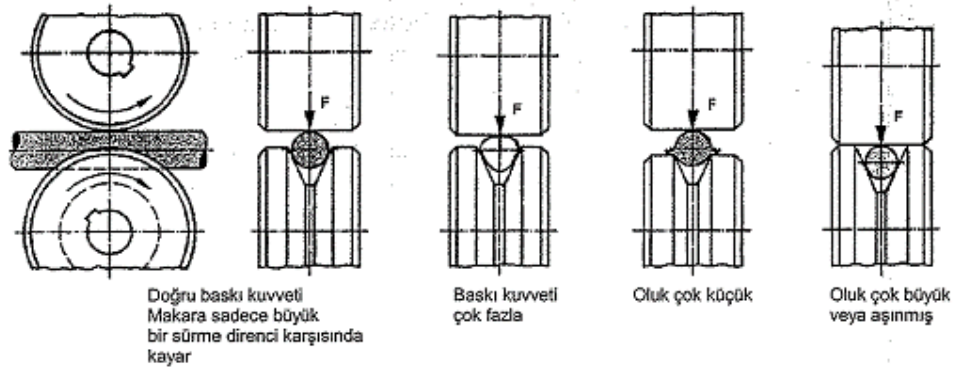
İyi bir kaynak sonucu elde edebilmek için, tel elektrodun akım kontak memesinden son derece düzenli hızda çıkması zorunludur. Telin frenlenmesi, ark boyunu uzatır ve aşırıya varan durumlarda arkın akım kontak memesine kadar geri yanmasına sebep olur. Telin düzensiz sürülmesi, kaynakta kısa devrelere ve bu nedenle aşırı miktarda sıçranti oluşmasına sebep olur.



Şekil 3.3. Tel sürme makaraları (Fischer ve Baum, 1977).

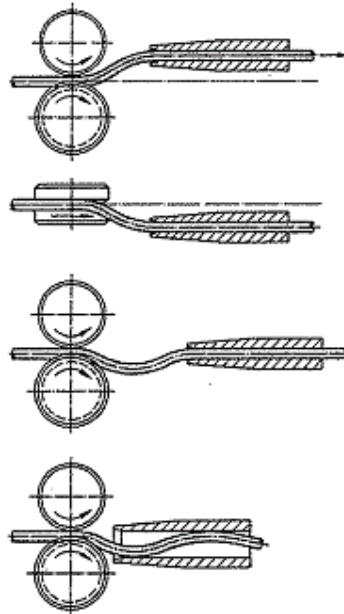


Şekil 3.4. Tel sürme şeması (Fischer ve Baum, 1977).



Şekil 3.5. Tel sürme makaralarının çok büyük veya çok küçük olması sebebiyle meydana gelen hatalar (Fischer ve Baum, 1977).

Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'de tel sürme esnasında çok sık karşılaşılan hatalar görülmektedir.



Şekil 3.6. Tel giriş memesindeki hatalar sebebiyle tel elektrodun bükülmesi (Fischer ve Baum, 1977).

Tel sürme ünitesinde kural olarak üzerinde karma formunda veya yumuşak tellerde tel çapına uygun biçimde oluk aşılımış sertleştirilmiş makaralar kullanılmaktadır (Şekil 3.3). Burada bir veya daha fazla makaradan tahrik alan tel sürme cihazlarının kullanımı yaygındır. Mekanize uygulamalarda en fazla dört makaradan tahrik alan düzenekler kendini ispatlamıştır. Şekil 3.4’da tel sürme şeması gösterilmiştir. İnce çaplı elektrodlar (0,8-1,6 mm) iyi sürülmedikleri takdirde bükülüp dolaşmaya oldukça eğilimlidirler.

3.1.3. Hortum Paketi

Gazaltı ark kaynak yönteminde hortum paketi ve kaynak torcu, aşırı yüklenen ve aşınan parçalar arasında yer alırlar. Hortum paketi, tel elektrodu, kaynak akımını, koruyucu gazı ve soğutma suyunu torca iletir. Hortum paketi mümkün olduğunca kısa olmalıdır. En çok kullanılan uzunluklar 2-3 m’dir. Daha uzun hortum paketleri (yaklaşık 5 m’ye kadar), çapı en az 1,2 mm olan çelik tel elektrodlarla kullanılabilir. Daha ince çelik tellerde veya yumuşak tellerde tel sürme aksaklıkları beklenmelidir. Bu nedenle mekanize uygulamalarda (örneğin kaynak robotlarında) torç içerisinde veya yakınında ilave bir tahrik sisteminin kullanılması mutlaka tavsiye edilmektedir.

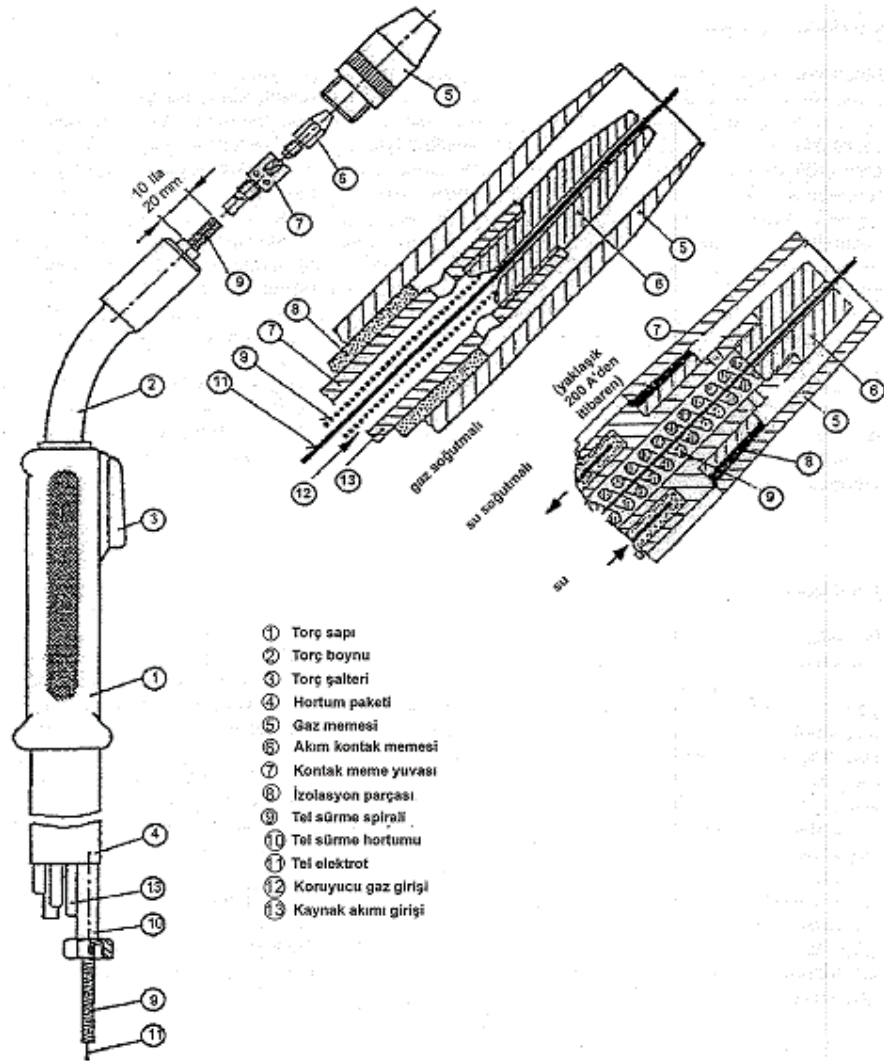
Hortum paketi bükülmemeli veya küçük çaplar oluşturacak biçimde dolanmamalıdır. Hortum paketinin akım üreticini hareket ettirmek için çekme halatı olarak kullanılmaması ve üzerine basılmamasının gerektiği önemli hususlar arasındadır. Hortum paketinin içerisindeki akım kablosu, yüksek akımlarda su ile soğutulur. Bakır kablo, torçtan geri gelen soğutma suyunu taşıyan hortumun içerisine yerleştirilmiştir. Bu şekilde soğutulması sayesinde kablo kesiti ve dolayısıyla hortum paketinin ağırlığı düşük tutulabilmektedir. Çelik tel elektrodlar, hortum paketi içerisinde uygun çaplı bir spiral tel kılavuzu içerisinde yol almaktadır. Spiral telin delik çapı, tel çapından yaklaşık 0,5 – 1 mm daha büyüktür. Tel elektrodun herhangi bir yerde bükülmesini engellemek üzere, tel kılavuzun uzunluğu, hortum paketi uzunluğuna tam uymalıdır (Fischer ve Baum, 1977).

3.1.4. Kaynak Torcu

Bir gazaltı ark kaynak torcu, bir kontak memesi, bir koruyucu gaz memesi ve bir tutma sapı veya mekanize yöntemdeki torçlarda bir sabitleme borusundan ibarettir. Kontak memeden çıkan telle iş parçası arasında bir ark yanmaktadır (Şekil 1.1). Ark ve yüksek sıcaklıktaki kaynak banyosu, gaz memesinden çıkan koruyucu gaz tarafından çevredeki havadan korunmaktadır. Su soğutmalı torçlarda arkta ışıma yolu ile yayılan ısı, kontak meme ve gaz memesi üzerinden soğutma suyuna iletilir. Soğutmasız (gaz veya hava soğutmalı) torçlarda, kontak ve gaz memelerdeki sıcaklık kısa bir kaynak süresinden sonra bile 700 °C'a kadar ulaşır. Bundan dolayı kontak memedeki bakır yumuşar, aşınma daha büyük olur ve yüksek sıcaklık nedeni ile sıçrantılar gaz memesine daha kolay yapışır. Bu nedenle yüksek akımlarda daima su soğutmalı torçlar kullanılmalıdır. Boyutları büyük olan torçlar ağır olduğu ve kaynakçıları zorladığı için kaynak torçları akım değerlerine göre dizayn edilmektedir. Çok küçük torçlar, aşırı ısıya yüklenirler.

Dikkat edilmesi gereken noktalardan biri de, argonca zengin koruyucu gaz karışımlarının torcu CO₂'den daha fazla ısıyla yüklemesidir. Koruyucu gazın değiştirilmesi, daha güçlü torçların kullanılmasını ve bu sebeple ilave maliyetlerin doğmasını gerektirebilir. Şekil 3.7'da bir gazaltı ark kaynak torcu görülmektedir. Kesit çizimleri, gaz ve su soğutmalı torçların yapısını göstermektedir (Aichele ve Smith, 1975).

Akım kontak memesi, kaynak akımını tel elektroda iletmek zorundadır. Birim alana düşen akım miktarının yüksek olduğu bu durum, sadece akım kontak memesinin aşınması ile beraber mümkün olabilmektedir. Çelik tel çapından yaklaşık 0,2 mm daha büyük olan kontak meme deliği, telin çıkış noktasından konik biçimde genişler. Bu genişleme, serbest tel boyunun değişmesine sebep olur. Tel yüzeyinin kirli olması sebebi ile kontak meme içerisinde birikinti toplanması, arkın kararsız olmasına ve aşırı sıçrantılara yol açar. E-Cu, CuCr veya CuCrZr'dan yapılmış kontak memeleri, aşındıkları zaman değiştirilmelidirler.

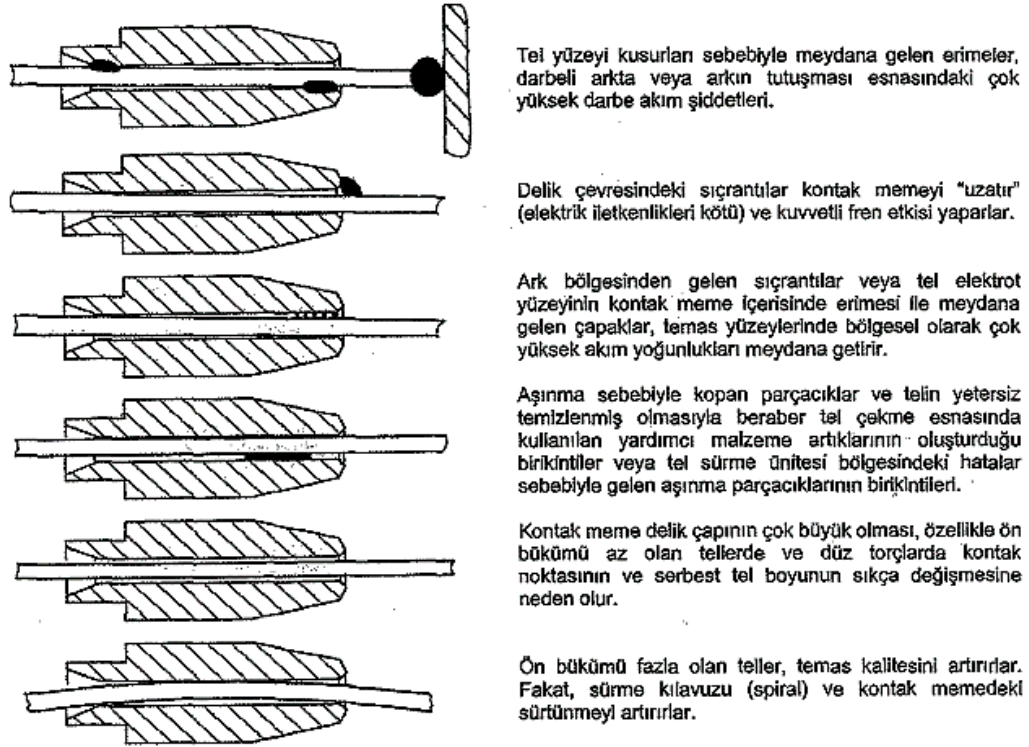


Şekil 3.7. Bir gazaltı ark kaynak torcunun gaz ve su soğutma uygulamalarını da gösteren kesit şeması (Fischer ve Baum, 1977).

Akımla yükleme düzeyi ve tel yüzeyindeki kirliler (örneğin tel çekme esnasında kullanılan kaydırıcı artıklar) dayanma süresini yakından etkilediğinden, kontak memenin değiştirilmesi ile ilgili herhangi bir kılavuz değer verilmemektedir. Akım kontak memesinin tel makarının değişmesiyle beraber yenilenmesi, iyi bir dayanma süresi olarak görülebilir. İmalatta hangi kontak meme malzemesinin ideal

olacağı denemeler sonunda bulunmak zorundadır. E-Cu iyi elektriksel özelliklere sahiptir, fakat mekanik yüklemeye altında aşırı miktarda aşınır.

Daha sert ve yüksek sıcaklıkta dayanıklı kontak meme malzemeleri (WCu veya WAg gibi özel malzemelerde sunulmaktadır) mekanik etkiler altında en az aşınmalar fakat elektro erozyon olayları sebebiyle aşınma gösterirler. Bir robot kaynak sisteminin bozuk bir kontak meme sebebiyle durmasının maliyetiyle kıyaslanırsa, bir kontak memenin maliyeti oldukça düşüktür. Büyük seri imalatta akım kontak memesinin aşınmadan önce düzenli aralıklarla değiştirilmesi sıkça başvurulan bir yöntemdir. Şekil 3.8, kontak memelerde sıkça karşılaşılan arıza sebeplerini göstermektedir (Aichele ve Smith, 1975).



Şekil 3.8. Kontak memelerde sıkça karşılaşılan arızalar (Fischer ve Baum, 1977).

3.1.5. Kumanda ve Ayar Elemanları

Konvansiyonel kaynak cihazlarında arkı ve malzeme transferlerini ayarlayabilmek için iki veya üç ayar büyüklüğü gereklidir. Bunlar gerilim (ark boyu) ve tel sürme hızıdır (kaynak akım şiddeti). Daha pahalı kaynak cihazlarında bulunan ve aynı zamanda malzeme transferi üzerinde de etkili olan üçüncü ayar büyüklüğü ise drosseldir (kaynak akım devresindeki indüktif direnç). Burada, gerilim dağılımı ile ilgili değerler (boşta çalışma gerilimi) volt cinsinden ve tel sürme hızı ise örneğin metre/dakika cinsinden kalibre edilmiş olmalıdır. Gerçek bir değere karşılık gelmeyen ve yaygın bir biçimde kullanılmış olan 1-10 skala değerleri artık geçmişte kalmıştır (Durmuşoğlu, 2006).

Gerçek ark gerilimi, ayarlanan boşta çalışma geriliminden belirgin olarak daha düşüktür. Gerilimdeki bu azalmanın sebebi, statik akım/gerilim karakteristik çizgisindeki eğim ve ohm kayıplarındandır. Gerçeğe en yakın ark gerilimi, kontak meme ile iş parçası arasında ölçülebilir. Fakat bu, pratikte pek mümkün değildir. Gerilim değeri, akım üreticinin kablo bağlantı noktalarından ölçüldüğü takdirde, hortum paketi ve şase kablosu içerisindeki gerilim düşmeleri sebebiyle ölçülen değer gerçek ark geriliminden yüksektir. Ark gerilimi bir yaklaşım yolu ile şöyle bulunabilir (Fischer ve Baum, 1977).

$$U_{\text{ark}} = U_{\text{boşta}} - \Delta U_{\text{karakteristik}} \times I/100 - \Delta U_{\text{hortum}} - \Delta U_{\text{şase}} - \Delta U_{\text{serbest tel boyu}} \quad (3.1)$$

Burada:

U_{ark}	Ark gerilimi (V).
$U_{\text{boşta}}$	Ayarlanan boşta çalışma gerilimi (V).
$\Delta U_{\text{karakteristik}}$	Statik karakteristik çizgisindeki gerilim düşmesi.
I	Anlık akım şiddeti (A).
ΔU_{hortum}	Hortum paketindeki gerilim düşmesi.
$\Delta U_{\text{şase}}$	5 m uzunluğunda bir şase kablosu ile iş parçası bağlantısındaki gerilim düşmesi (yaklaşık 0,4V/100A kaynak akımı).
$\Delta U_{\text{serbest tel boyu}}$	Serbest tel ucundaki gerilim

Ark gerilimi 3V/100A gerilim düşmesi göstermekte ve diğer kayıplar ise ayarlanan boşa çalışma geriliminden yaklaşık 1V/100A ila 4V/100A daha düşük olmaktadır. Bu büyük fark, kaynak parametrelerinin verildiği sayfalarda neyin ve neden ölçüldüğünün tam olarak belirtilmesi gerekmektedir.

Elektronik kumandalı kaynak cihazlarında farklı konseptler kullanılmaktadır. Hemen hepsinde, ayarlanan parametreler küçük (çoğunlukla çok küçük) bir ekranda gösterilir. İlgili kumanda elemanları vasıtasıyla farklı menü seçenekleri çağrılabilir. Bu süreç kısmen karmaşık olup, kaynakçılar için değil sadece bilgisayar uzmanları için uygundur. Güç ünitesi elemanlarının kaynak prosesinde nasıl reaksiyon vereceği sadece ufak farklılıklar ortaya koyduğundan, cihazı basit biçimde kumanda edebilmek daha önemli bir seçim kriteridir (Fischer ve Baum, 1977).

Cihaz imalatçılarının hemen hepsi, parametrelerin kaydedilerek saklanması olanağını sunmaktadır. Bu durum, doğru parametrelerin seçilmesini kolaylaştırmaktadır. Parametreler, tecrübeli kaynakçılar tarafından her zaman ideal olarak değerlendirilemeyeceğinden ufak değişikliklerin yapılabilmesi mümkün olmalıdır. Aynı zamanda, şahsi programların oluşturulup kaydedilmesi de mümkün olmalıdır (Durmuşoğlu, 2006).

3.2. Kaynak Dolgu Malzemeleri ve Yardımcı Malzemeler

3.2.1. Tel Elektrodlar

3.2.1.1. Masif Tel Elektrodlar

Gazaltı ark kaynağında kullanılan tel elektrodlar çoğunlukla makaralara sarılmış haldedirler. Uygulamaya göre, bu makaralar çok küçük (1 kg) veya çok büyük (birkaç 100 kg) olabilir. Büyük ölçekli tüketiciler için makaraların yanı sıra tel elektrodlar fiçı içerisinde sunulabilmektedir. Tel elektrod, fiçı içerisinde özel bir düzenek vasıtası ile sağılır. Plastikten yapılmış göbekli ve göbeksiz makaraların yanında, telden şekil

verilerek yapılmış makaralar da mevcuttur. Bunlar, yok edilmeleri daha kolay olduğundan daha çok tercih edilirler (Kahraman, 2002).

Kullanılan tel elektrod çapları şunlardır: 0,6 mm, 0,8 mm, 0,9 mm, 1,0 mm, 1,4 mm, 1,6mm.

- 0,6 mm çapındaki tel elektrodlar ucuz hobi cihazlarında kullanılırlar.
- 0,9 mm çapındaki tel elektrodlar çoğunlukla otomobil imalatında kullanılmaktadır.
- 1,6 mm ve 3,2 mm çapındaki tel elektrodlar, kaplama kaynağında kullanılan özlü tellerde yaygındır. Masif tellerde nadiren kullanılır.

Kaynak akımının kontak meme içerisinde tele aktarılabilmesi için tel yüzey kalitesinin yüksek olması gerekmektedir. Bu nedenle, alaşimsız, yüksek sıcaklıkta dayançlı ve yüksek dayançlı çelikler için kullanılan tellerin yüzeyi ince bir bakır tabakasıyla kaplanır. Paslanmaz ve yüksek sıcaklıkta korozyona dirençli çeliklerin yüzeyi bakır kaplanmamalıdır. Bu malzemelerin elektrik iletkenliği ve ısı iletkenliğinin daha kötü olması, akım geçişini zorlaştırmaktadır. Tel elektrodun kontak meme içerisinde yanarak yapışmasına kadar varan tel sürme problemleri bazen kaçınılmaz olmaktadır (Kahraman, 2002).

3.2.1.2. Özlü Tel Elektrodlar

Özlü tel elektrodlar, metalik boru şekilli bir çeper ve toz formunda bir dolgudan meydana gelmektedir. Dolgu, mineral ve/veya metalik malzemelerden ibarettir. Yaygın kullanılan kesit formları Şekil 3.9'da gösterilmektedir. Tozun oranı genellikle %30'un altındadır.

Dolgu malzemeleri ve koruyucu gaz birlikte arkin kararlılığı, sıçrantı oluşumu, paso profili, dikiş yüzeyi, cüruf uzaklaştırılabilirliği, zorunlu pasolardaki dikiş sıralaması ve kaynak metalinin mekanik teknolojik özellikleri üzerinde etkilere sahiptir. Gaz korumalı özlü tel elektrodları, masif tel elektrodlardaki gibi aynı kalitede bir koruyucu gaz örtüsü gerekmektedir.



Şekil 3.9. Özlü tel elektrotlarda yaygın olarak kullanılan kesit formları (Fischer ve Baum, 1977).

Özlü tel elektrotları, masif tel elektrotlara kıyasla daha pahalıdır. Bu nedenle, sadece iyi kaynak özelliklerinin ve yüksek kaynak kalitesinin avantaj getirdiği durumlarda kullanılırlar.

Özlü tel elektrotlarda kendi aralarında üç guruba ayrılmaktadırlar.

Rutil Tip: Özlü teller kararlı arkın ve az sıçrantının ve kenar nüfuziyetinin iyi olması istendiği durumlarda kullanılır. Kaynak ortasındaki nüfuziyet derinliği masif tellerdekine kıyasla daha azdır. Kaynak yüzeyi düzgündür ve cüruf kolay uzaklaştırılabilir.

Bazık Tip: Malzeme transferi iri damlacıklar halinde gerçekleşir. Paso yüzeyi, rutil dolguya kıyasla daha az düzgündür. CO₂ ile kaynakta, Ar-CO₂ karışımlarına kıyasla daha fazla sıçrantı meydana gelir. Dinamik özellikleri iyi olan akım üreteçleri gerekmektedir. Kaynak metalinin mekanik-teknolojik özellikleri iyidir. Kaynağa uygunluğu koşullu olan çeliklerde çatlama eğilimini azaltmaktadır.

Metal Tozlu Tip: Masif tellere kıyasla kısa ark bölgesinde daha az sıçrantı görülür. Kök kaynakları için uygunluğu iyidir. Sprey ark bölgesi masif tellere kıyasla daha erken başlar. Daha az pürüzlü paso oluşturur. Serbest tel ucunda dirençten dolayı meydana gelen ısınma, masif tellere kıyasla daha fazladır (Aichele ve Smith, 1975).

3.2.2. Koruyucu Gazlar

Koruyucu gazlar, ark içerisindeki malzeme transferini, kaynak banyosunun ve dikişin arka tarafını (dikiş kökü) oksidasyondan ve istenmeyen gaz girişinden korumak için gerekmektedir. Malzeme ve yonteme bağı olarak farklı bileşimlerde koruyucu gazlar kullanılmaktadır (Türkkan, 2008).

Gazaltı ark kaynak yönteminde kullanılan koruyucu gazlar, EN 439'da standartlaştırılmıştır. Çizelge 3.1 gazaltı kaynağı için EN 439'dan bir alıntı göstermektedir. Çizelge 3.2'de bazı malzemelere için sıkça kullanılan koruyucu gazlar listelenmiştir.

CrNi çelikleri ve nikel bazlı malzemelerde kullanılan özel gazlarda, argon oranının bir bölümü yerine helyum ilave edilmiştir. Yüksek güç yönteminde kullanılan koruyucu gazlarda da CO₂ ve O₂ katkılı Ar/He karışımları kullanılmaktadır.

Koruyucu gazlar, malzeme transferini, sıçrıntı oluşumunu, dikiş görünüşünü, nüfuziyet profilini ve mekanik teknolojik kalite değerlerini etkiler.

Akım üreteçleri içerisinde yerleştirilmiş koruyucu gaz kontrolü, bütün kaynak süresi boyunca yeterli bir gaz korumasının sağlanmasını garanti altına almaktadır. Elle kaynakta, iki takt ve dört takt olmak üzere iki adet kontrol türü mevcuttur. İki taktlı kontrolde, torç şalterine basıldığında kaynak gerilimi, tel sürme ve koruyucu gaz akışı devreye girer. Kaynak işlemi bitirilip torç şalterine yeniden basıldığında, kaynak gerilimi ile beraber tel sürme ve koruyucu gaz akışı da kesilir. İki taktlı kontrolde, kaynak işleminin başlangıç ve sonunda koruyucu gaz örtüsü her zaman tam olarak sağlanamaz. Bu nedenle, iki taktlı kontrol sadece basit uygulamalarda veya puntalama kaynakları için kullanılmaktadır. Dört taktlı kontrolde, torç şalterine basıldığında koruyucu gaz akışı başlar. Şalter bırakıldığında ise, kaynak gerilimi ve tel akışı devreye girer. Kaynak işleminin sonunda torç şalterine yeniden basıldığında kaynak gerilimi ve tel akışı kesilir. Torç şalteri serbest bırakıldığında ise koruyucu gaz akışı durur. Dolayısıyla koruyucu gaz akışının kaynaktan önce veya sonra ne kadar süreceği kaynakçıya kalmıştır (Türkkan, 2008).

Çizelge 3.1. EN 439'a göre gazaltı ark kaynağında kullanılan koruyucu gazların sınıflandırılması (Fischer ve Baum, 1977).

DIN 1910 Bölüm 1'e göre yöntem	Kimyasal davranış	EN 439 grubu ve kodu	Bileşenler (hacimsel % oranı)					Uygulama örnekleri	DIN 1910 Bölüm 4'e göre ark türleri
			CO ₂	O ₂	Ar	He	H ₂		
MIG	Asal	I1			100			Alüminyum, bakır, bronz, (Ni ve Ni alaş.); <i>Bütün çelik türleri için uygun değildir</i>	MIGk, MIGp, MIGs
		I2				100		Ön ısıtmaz veya hafif ön ısıtma ile kalın Al ve Cu parçalar	MIGk, MIGp, MIGs
		I3			Kalan	> 0 ilâ 95		Ön ısıtmaz veya hafif ön ısıtma ile kalın Al ve Cu parçalar, Ni ve Ni alaş.	MIGk, MIGp, MIGs
MAGM	Zayıf ↑ Oksitleyici ↓ Kuvvetli	M11	> 0 ilâ 5		Kalan		> 0 ilâ 5	Yüksek alaşımli CrNi çelikleri	MAGk, MAGp, MAGs
		M12	> 0 ilâ 5		Kalan			Yüksek alaşımli CrNi çelikleri, Ferritik Cr çelikleri	MAGk, MAGp, MAGs
		M13		> 0 ilâ 3	Kalan			Yüksek alaşımli CrNi çelikleri, Ferritik Cr çelikleri	MAGk, MAGp, MAGs
		M14	> 0 ilâ 5	> 0 ilâ 3	Kalan			Alaşımli ve düşük alaşımli yapı çelikleri, fazla oksitle yüksek alaşımli Cr ve CrNi çelikleri	MAGk, MAGp, MAGs
		M21	> 5 ilâ 25		Kalan			Alaşımli ve düşük alaşımli yapı çelikleri; korozif ortama girmeyecek CrNi çelikleri (masif teller), özlü teller (çoğunlukla CrNi çelikleri için de uygun)	MAGk, MAGp, & MAGs (CO ₂ < % 20 ile)
		M22		> 3 ilâ 10	Kalan			Alaşımli ve düşük alaşımli yapı çelikleri, (yüksek alaşımli CrNi çelikleri > oksitler), zorunlu pozisyonlar daha zordur	MAGk, MAGp, MAGs
		M23	> 0 ilâ 5	> 3 ilâ 10	Kalan			Alaşımli ve düşük alaşımli yapı çelikleri	MAGk, MAGp, MAGs
		M24	> 5 ilâ 25	> 0 ilâ 8	Kalan			Alaşımli ve düşük alaşımli yapı çelikleri	MAGk, MAGp, & MAGs (CO ₂ < % 20 ile)
		M31	> 25 ilâ 50		Kalan			Alaşımli ve düşük alaşımli yapı çelikleri	MAGk, MAGü, MAGi
		M32	> 5 ilâ 50	> 10 ilâ 15	Kalan			Alaşımli ve düşük alaşımli yapı çelikleri, zorunlu pozisyonlar daha zordur	MAGk, MAGp, MAGs
M33	> 5 ilâ 50	> 8 ilâ 15	Kalan			Alaşımli ve düşük alaşımli yapı çelikleri, zorunlu pozisyonlar daha zordur	MAGk, MAGp, & MAGs (CO ₂ < % 20 ile)		
MAGC	Kuvvetli oksitleyici	C1	100					Alaşımli çelikler, sınırlamalı olarak düşük alaşımli çelikler; Özlü teller; Kalın parçalardeki zorunlu pozisyonlarda avantajlı	MAGk, MAGi
		C2	Kalan	> 0 ilâ 30				Alaşımli çelikler, sınırlamalı olarak düşük alaşımli çelikler	MAGk, MAGi

Mekanize uygulamalarda veya robotla kaynakta, kaynak öncesi ve kaynak sonrası koruyucu gaz akış süresi, zaman ayarlayıcı parçalar veya programlama yoluyla ayarlanabilmektedir. Ekonomik nedenlerden ötürü, kaynak öncesi ve sonrası gaz akış süresi mümkün olduğunca kısa ayarlanmalıdır. Titanyum ve zirkonyum gibi gazlara karşı hassas malzemelerde, kaynak sonrası gaz akış süresinin uzun olması gerekmektedir (Aichele ve Smith, 1975).

Koruyucu gaz dağıtımı, ya iç basıncı 200 veya 300 bar olan basınçlı tüplerle, veya daha ziyade sıvı depolama tankı bulunan bir merkezden çıkan ring şebeke hattı üzerinden yapılmaktadır. Her iki durumda da basıncın düşürülmesi ve gaz debisinin ölçülmesi gerekmektedir.

Çizelge 3.2. Gazaltı ark kaynağında sık kullanılan gazlar (Fischer ve Baum, 1977).

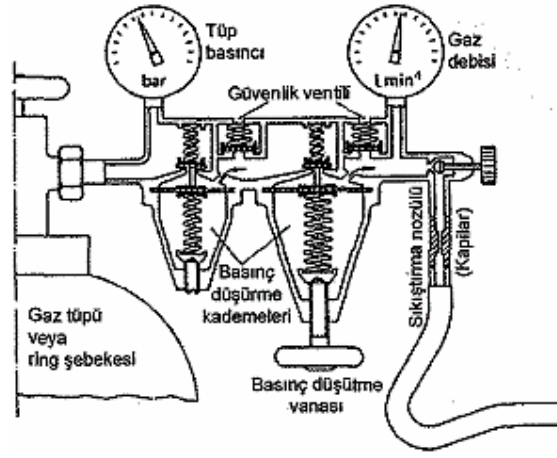
Malzeme	Koruyucu gaz bileşimi	EN 439'a göre gösterimi
Alaşsımsız ve alaşımlı çelikler, yüksek sıcaklıkta dayançlı çelikler	% 100 CO ₂ Argonca zengin karışık gazlar CO ₂ oranı: %5 - 25 O ₂ oranı: > %3 - 10 CO ₂ > %0 - 5 ve O ₂ > %3 - 10	C M 2.1 M 2.2 M 2.3
CrNi çelikleri	Argonca zengin karışık gazlar: CO ₂ oranı: %0 -5 O ₂ oranı: %0 - 3	M 1.2 M 1.3
Alüminyum ve alüminyum alaşımları	%100 argon Argon ve %95'e kadar helyum	I 1 I 3
Nikel ve nikel alaşımları	%100 argon Argonca zengin karışık gazlar: CO ₂ > %0 - 5 ve H ₂ > %0 - 5	I 1 M 1.1

Gaz debisini ölçmek için iki metot uygulanmaktadır:

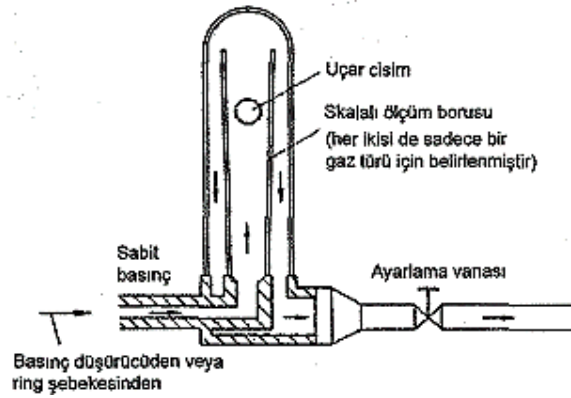
- Sıkıştırma nozülü (kapılar)
- Uçar cisim

Sıkıştırma nozülünde, gazın akışı esnasında sıkıştırma nozülünden önce meydana gelen basınç ölçülür ve sıkalası l/min şeklinde ölçeklendirilmiş bir manometreden okunur (Aichele ve Smith, 1975).

Uçar cisimle gerçekleştirilen ölçümde ise, üzerinde sıkala bulunan konik bir cam borunun içerisindeki bilye gaz tarafından yukarıya doğru itilir. Bilyenin durduğu konum, gaz debisini göstermektedir. Uygulamacılara, gaz debisinin ilave olarak torç ucunda gaz memesi üzerine bağlanan uçar cisimli ölçüm borusu ile de kontrol edilmesi tavsiye edilmektedir (Fischer ve Baum, 1977).

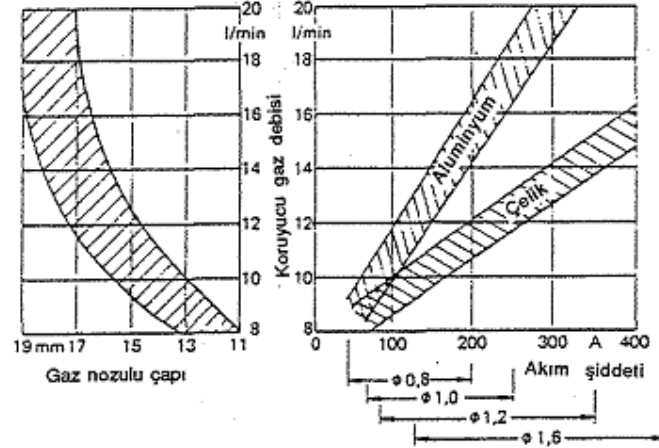


Şekil 3.10. Koruyucu gaz debisinin sıkıştırma nozülü ile ölçülmesi (Fischer ve Baum, 1977).



Şekil 3.11. Koruyucu gaz debisinin uçar cisimle ölçülmesi (Fischer ve Baum, 1977).

Gerekli olan koruyucu gaz debisi, malzemeye, akım şiddetine, dikiş kompozisyonuna ve koruyucu gaz bileşimine bağlıdır.



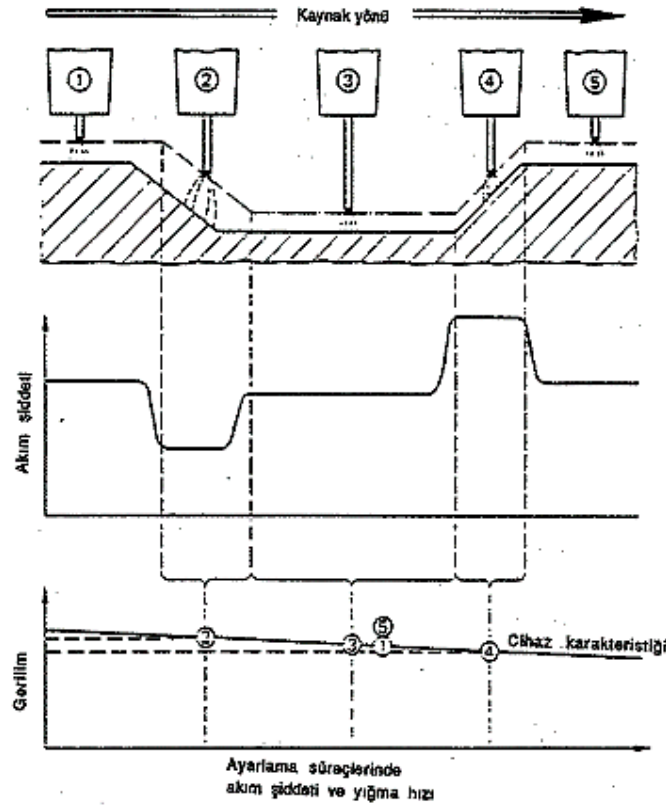
Şekil 3.12. Gaz nozulu çapına ve akım şiddetine bağlı olarak koruyucu gaz debisi (Fischer ve Baum, 1977).

3.3. Gazaltı Ark Kaynağında Malzeme Geçişi ve Ark Türleri

3.3.1. Gazaltı Ark Kaynağında Ark Boyunun Ayarı ve İç Ayar Prensipleri

Dikiş kalitesinin düzgün olması için, gazaltı ark kaynağında ark boyunun muhakkak sabit tutulması gerekir. Bu durum, sabit gerilim karakteristiğine sahip olan bir akım üreticinde olur. İç ayar prensibi, Şekil 3.13’de aynı düzlemde olmayan bir dikişte gösterilmektedir. Üfleç sürekli aynı yüksekliktedir (Anonim, 2008).

Birinci durumda, doğru ayarlanmış olan ark gerilimi ve tel hızında, tel erime hızı ile tel sürme hızı arasında bir denge mevcuttur. Bu denge bozulduğunda, örneğin aniden yükseklik artmasıyla veya üfleç yukarıya çekilerek, akım üretici çok çabuk tepki gösterir ve ilk ark uzunluğuna erişmeye çalışır. 2 nolu durumda ark boyu uzar ve çalışma noktası karakteristik çizgi üzerinde 1 nolu noktadan 2 nolu noktaya doğru hareket eder. Gerilim çok az artar, akım şiddeti ise oldukça düşer. Akımın düşmesi tel erime hızını da düşürür, böylece arkin boyu bu eğimin üzerinde de hemen hemen sabit kalır. Akım temas borusunun daha büyük olduğu 3 nolu durumda ark tekrar denge haline gelir. Serbest telin ucundaki gerilim kaybı 1 V kadar artar, bu sayede kaynak akım devresindeki toplam direnç biraz artar (Anonim, 2008).



Şekil 3.13. Ark boyunun iç ayar prensibi (Fischer ve Baum, 1977).

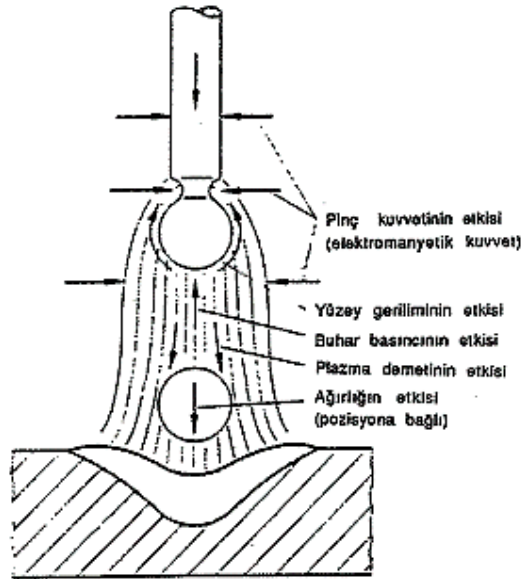
Bunun sonucu biraz daha yüksek bir gerilim ve biraz düşük bir akım oluşur. Bu düşük kaynak akımı teli eritmeye yeterlidir, çünkü elektriksel direnç nedeniyle ısınan tel daha kolay erir. 4 nolu durumda ark kısalır, gerilim düşer ve kaynak akımı çok artar. Bu, biraz daha kısa ark boyunda daha güçlü bir erime demektir. 5 nolu durumda tekrar denge oluşur.

İç ayar üfleç ve iş parçası hareketine göre hemen gerekli düzeltmeyi yapar. Ancak çok ani ve hızlı hareketlerde ve çok düzensiz akan tel karşısında yetersiz kalır. Bu durumda kısa devreler ve sıçrantılar önlenemez (Anonim, 2008).

3.2.2. Arktaki Kuvvetler ve Malzeme Geçişi

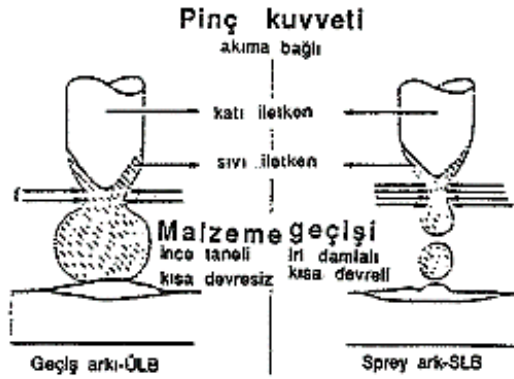
Tel elektrodun ucunda arkın çıkış noktasına değişik kuvvetler etki ederler ve tel elektrodan kaynak banyosuna malzeme geçişini etkileyebilirler. Şekil 3.14'de bu

kuvvetler şematik olarak gösterilmektedir. Buna ek olarak, telin ucundaki sıcaklık dağılımı damlanın kopmasında belirleyici bir rol oynamaktadır. Pinch (büzme) etkisi bir manyetik kuvvettir ve akım şiddetinin karesiyle ters orantılıdır. Bu kuvvet büyük değildir ve ancak telin ucu hamurumsu veya sıvı halde ise etkilidir. Bu durum Şekil 3.15’de iki farklı akım şiddetinde ve ısınma durumunda gösterilmiştir. Düşük akım şiddetinde pinch etkisi koyu haldeki damlayı deforme etmeye yetmez. Damla sadece biraz büzülür. Kaynak banyosuna iri damlalar geçer. Yüksek akım şiddetinde kritik akım şiddetinin üzerine çıkılır ve pinch etkisi telin ucundaki akışkan damlayı kolayca deforme edebilir ve çok küçük damlaları koparabilir. Çok ısınan telin ucundaki damlanın kopmasını önemli ölçüde etkileyen diğer bir faktör de yüzey gerilimidir (Anonim, 2008).



Şekil 3.14. Malzeme geçişi sırasındaki önemli kuvvetler (Fischer ve Baum, 1977).

Metalik tel yüzeyleri, asal koruyucu gazlarda olduğu gibi (oksit yok) yüksek yüzey gerilimine sahiptir. Yüzeyinde çok oksit oluşan damlalarda yüzey gerilimi yüksek olan damlalar gibi davranırlar. Böyle durumlarda büyük damla oluşma eğilimi vardır (Anonim, 2008).



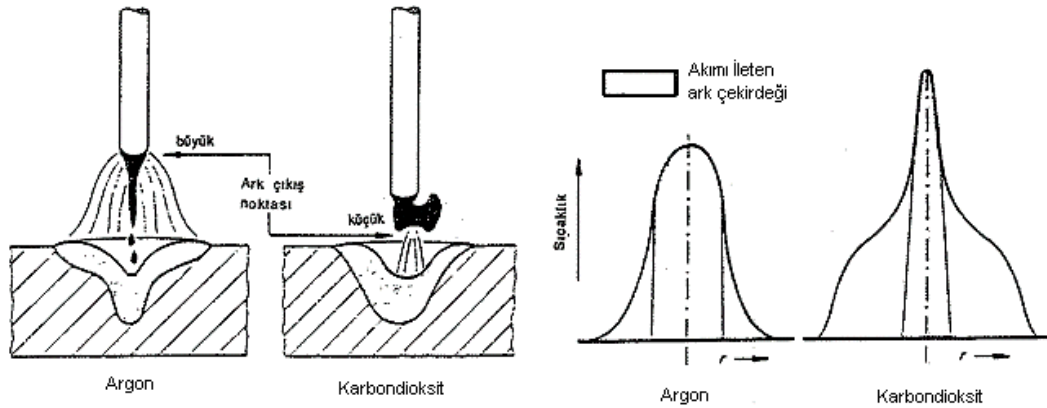
Şekil 3.15. Akıma bağlı pinç kuvveti (Fischer ve Baum, 1977).

Koruyucu gaza biraz oksijen veya karbondioksit katıldığında, eriyen damlanın üzerinde oksit lekeleri oluşur. Bunlar yüzey gerilimini çok düşürürler. Daha az sayıda büyük damlalar yerine daha çok sayıda küçük damlalar kaynak banyosuna geçer. Diğer önemli bir kuvvet da aşırı derecede ısınmış olan kaynak banyosunun üzerinde meydana gelen ve damlanın kopmasına ters yönde etki eden buhar basıncıdır. Elektromanyetik pinch kuvveti ve plazma demeti kuvveti kaynak banyosuna doğru etki eder. Ağırlığın etki yönü ise kaynak pozisyonuna bağlıdır (Tülbentçi, 1990).

Arktaki kuvvetlere ek olarak koruyucu gaz bileşiminin de damlanın kopmasında belirleyici bir etkisi vardır. Arkın çıkış noktasında ve arkın içinde sıcaklıklar farklıdır ve koruyucu gazların yüksek sıcaklıklardaki iletkenlikleri farklıdır. Burada önemli bir sıcaklık da malzemenin buharlaşma sıcaklığıdır (Çeliğin ki yaklaşık 3000°C). Argon yüksek sıcaklıklarda diğer gazlara göre daha kötü bir iletkenidir. İyonlaştırılmış gazların ısı iletkenliği elektriksel iletkenliğiyle doğru orantılı olduğu için, argonun 3000°C'nin üzerinde kötü bir iletken olduğu söylenebilir. Daha düşük sıcaklıklarda argon ısı olarak iyonlaşmadığı için bir yalıtıcıdır. Kaynak akımı iş parçasından elektroda sadece sıcak argon gazının olduğu bölgede aktarılabilir, yani ark sütunun merkezinde veya nispeten soğuk olan ark lekelerindeki geniş bir ark yüzeyinde. Çapı 0.8 ila 1.2 mm olan tel elektrodların ucundaki alın taraflarında sadece küçük bir yüzey ark çıkış noktası olarak kullanılır. Buradaki sıcaklık çeliğin buharlaşma sıcaklığının biraz üzerindedir. Bu sıcaklıkta argonun elektriksel ve ısı iletkenliği bütün akımı telin ucundaki alın

tarafından aktarmaya yeterli gelmez. Bunun sonucunda ark yukarı yükselir. Arkın yükselmesi argon ve argonca zengin gazlarda malzeme geçişini belirler (Şekil 3.16). Telin ucu arkın çıktığı nokta sayesinde sadece alın tarafından değil, içten ve dıştan da ısınır. Telin ucunda daha uzun aşırı ısınmış bir bölge oluşur. Pinch kuvveti etkili olabilir ve sıvı tel ucunu büzerek, sıcaklığa ve akım şiddetine bağlı olarak küçük veya çok küçük damlaların kaynak banyosuna geçmesini sağlayabilir (Anonim, 2008).

Bu durum %100 karbondioksitte ve %25'ten fazla karbondioksit içeren karışık gazlarda başkadır. Karbondioksit gazı 3000°C civarında ayrışır. Buradaki ısı ve elektriksel iletkenlik çok iyidir. Kaynak akımını aktarmak için telin ucunda küçük bir ark çıkış noktası yeterlidir. Isı sadece bu çıkış noktasından tel elektroda iletilir. Tel elektrodun ucu örneğin 2 mm gerideki bir noktadan daha sıcaktır. Düşük sıcaklık nedeniyle pinch kuvveti etkili olamaz. Daha uzun arkta telin ucunda arktaki kuvvetlerin etkisiyle hareket eden bir damla meydana gelir. Damlanın kontrollü olarak koparılması mümkün değildir. Damlalar çoğunlukla kısa devre yaparak geçer ve kısa devre sırasında çok miktarda sıçrıntı meydana gelebilir (Tülbentçi, 1990).



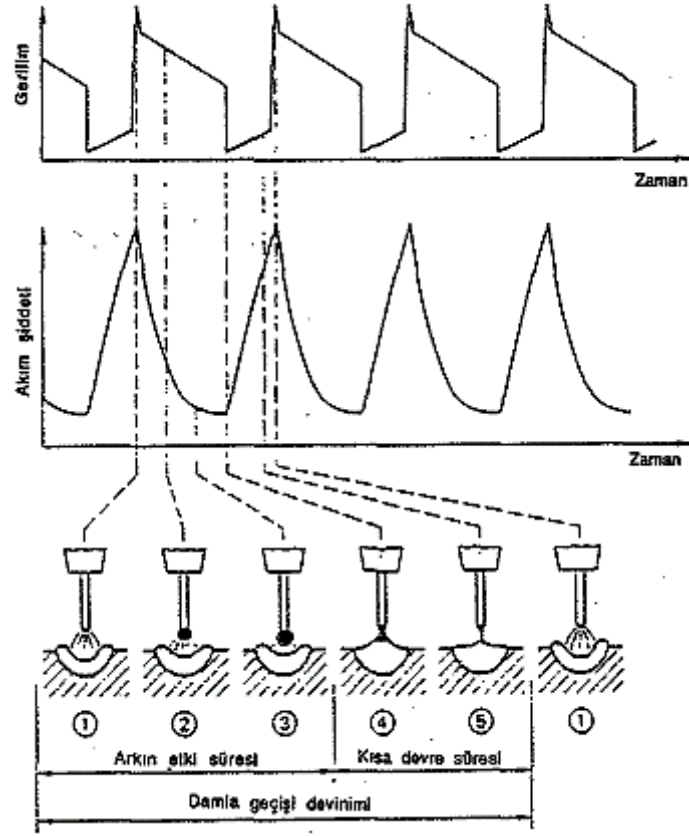
Şekil 3.16. Argon, argonca zengin karışık ve karbondioksit gazlarında arkın çıkış noktaları (Fischer ve Baum, 1977).

3.3.3. Ark Türleri

3.3.3.1. Kısa Ark

Kısa arka aslında kısa devre arkı denilmelidir, çünkü ark düzenli olarak kısa devrelerle kesilmektedir. Ark fazında, yani ark yanarken, tel elektrod ısınır. Sıvı malzeme kısa devre sırasında kaynak banyosuna geçer. Kısa arkta akım şiddeti düşüktür, telin ucundaki damla ve kaynak banyosu koyu (viskoz) ve küçüktür. Bu nedenle pinch kuvveti etkili olamaz (Kahraman, 2002).

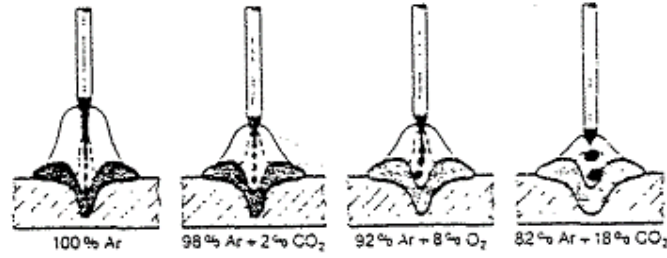
Kısa ark devinimi şöyle olmaktadır, belli bir anda tel elektrodla iş parçası arasında ark yanar. Tel düzenli olarak kaynak banyosuna doğru itildikçe arkın boyu kısalır. Bu sırada eriyen telin ucundaki küre şeklinde bir damla oluşur. Ark kısa bir süre yandıktan sonra bu sıvı damla kaynak banyosuna değerek kısa devre meydana getirir. Kısa devre fazı sırasında sıvı tel ucunun büyük bir kısmı kaynak banyosuna geçer. Kısa devre sırasında yeni tel malzemesi erimediği ve sadece telin ucu direnç nedeniyle ısındığı için, kısa devreyi oluşturan köprü sürekli incelir ve ısınır. Ek olarak akım şiddeti kısa devre nedeniyle artar, bunun sonucu olarak pinch kuvveti etkili olur ve kısa devre köprüsü incelerek kopar. Ark yeniden tutuşur ve bütün bu süreç parametrelerin ayarına göre saniyede 20 ila 120 defa arasında tekrarlanır. Şekil 3.17’de bu olay gösterilmektedir. Arkın yanma süresi kısa olduğu için kaynaklanan parçaya daha az ısı girdisi olur. Temas ederek geçiş sayesinde koyu bir kaynak metali bile aktarılabilir. Bu nedenle kısa ark ince parçaların kaynağı, zor pozisyonların kaynağı, kök kaynağı ve aralıkların doldurulması için çok uygundur. Şu anda düşük ark gücü bölgesinde kısa arkın yerini tutan başka bir yöntem yoktur. Kısa devre köprüsü koparken sıçrantılar olur, ancak iyi makinalarda ayarlanabilir endüktans sayesinde düşük akım şiddeti bölgesinde çok küçük sıçrantılar oluşur ve bunlar kaynaklanan parçaya yapışmaz veya yapışsa da temizlemesi kolay olur (Anonim, 2008).



Şekil 3.17. Kısa arkta malzeme geçişi ve akım değişimi (Fischer ve Baum 1977).

3.3.3.2. Sprey Ark

Gazaltı ark kaynak yönteminde kritik akım şiddetinin üzerine çıktığında, argonca zengin karışık gazlarda telin ucu çok ısınır ve akışkanlaşır ve pinch kuvveti etkili olabilir. Kritik akım tel şiddeti tel çapına ve koruyucu gaz bileşimine bağlıdır. Eriyen tel ucu küçük damlalar halinde kaynak banyosuna geçer. Bu sırada oluşan sıçrantılar o kadar küçüktür ki parçaya yapışmazlar. Malzeme geçişi Şekil 3.18’de gösterilmiştir (Kahraman, 2002).



Şekil 3.18. Sprey arkta malzeme geçişi (Fischer ve Baum 1977).

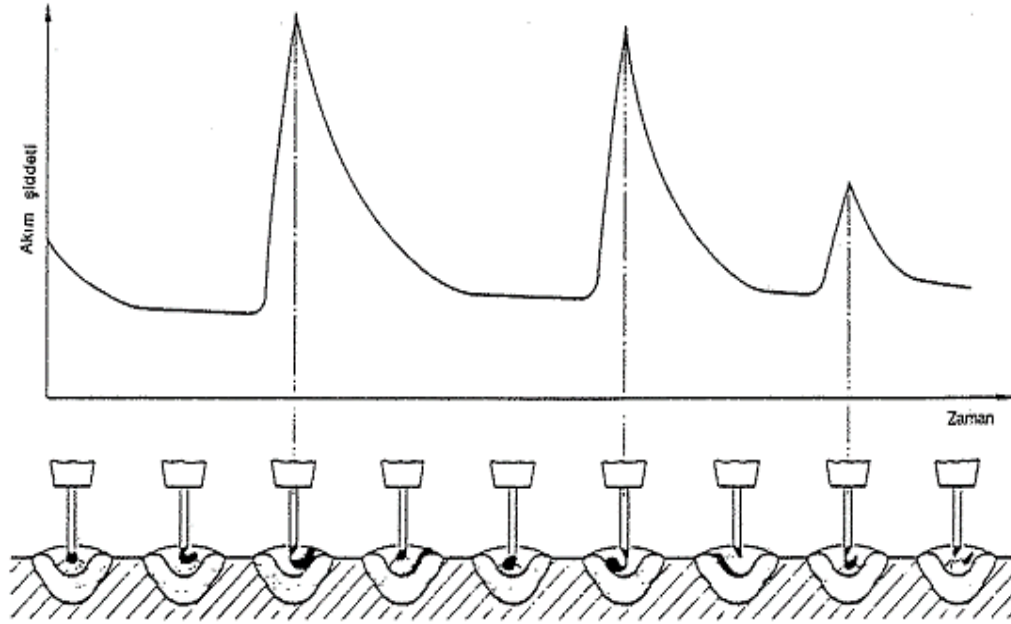
3.3.3.3. Geçiş Arkı

Bu ark kısa arkla sprej ark arasındaki sınır bölgede meydana gelir ve bazı uzmanlar tarafından kısa ark bölgesine dahil edilir. Geçiş arkında eriyen tel malzemesinin bir kısmı kısa devre yapmadan ancak düşük akım şiddeti nedeniyle iri damlalar halinde geçer. Ark nispeten kısa olduğu için damla koparken kısa devreler meydana gelebilir. Kısa arka göre daha yüksek akım şiddetlerinde meydana gelen bu kısa devreler iş parçasına yapışan çok miktarda sıçranta sebep olabilir. Geçiş arkı kullanılmamalıdır, ancak özellikle yukarıdan aşağı pozisyonlarda her zaman önlenemez. Darbeli ark, geçiş arkı bölgesini çok az sıçrantılar oluşturarak kapsar (Anonim, 2008).

3.3.3.4. Uzun Ark

Uzun ark % 100 karbondioksit veya % 25'ten fazla karbondioksit içeren karışık gaz atmosferi altında orta ve yüksek akım bölgesinde oluşur. Bu gazların iletkenliğinin iyi olması telin ucunda nokta şeklinde ark çıkış noktası meydana getirir ve telin ucundaki arkın yukarı doğru yükselmesini önler. Arkın çıkış noktasından birkaç mm uzak olan tel ucu soğuk olduğu için pinch kuvvetinden etkilenmez. Telden kopup kaynak banyosuna geçen damlalar çok iridir ve güçlü oksitleyici olan gazların yarattığı kalın oksit tabakası da bunu ek olarak güçlendirir. Damlalar düzensiz olarak, çoğunlukla da kısa devre yaparak kaynak banyosuna geçerler. Bunun sonucunda meydana gelen sıçrantılar, optimum ayarlarda ve iyi akım üreteçlerinde bile argonca zengin gazlara

göre bariz şekilde daha fazladır. Akımın zamana bağlı olarak değişimi ve malzeme geçişi Şekil 3.19'da gösterilmektedir (Geçmen, 2006).

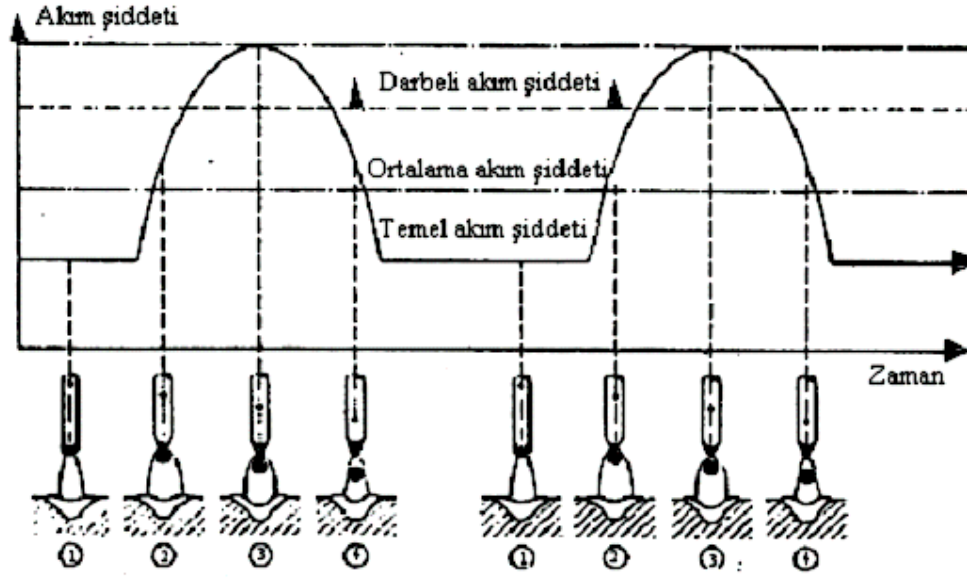


Şekil 3.19. Uzun arka malzeme geçişi ve akımın değişimi (Fischer ve Baum 1977).

3.3.3.5. Darbeli Ark

Darbeli arkta normal doğru akım yerine darbeli doğru akım kullanılır. İdeal durumda her darbeye telin ucundan bir damla kopar ve sonunda kısa devre yapmadan ve sıçranta meydana getirmeden kaynak banyosuna geçer (Bos, 2007).

Genellikle 1,2 – 1,6 mm çaplı elektrod teli kullanılmaktadır. Darbeli ark şekli ince parçaların kaynağı için geleneksel spreyci ark transferinden daha uygundur. Çünkü sıcaklık girdisi daha düşüktür. Ayrıca düşük ısı girdisi sebebiyle distrosyon daha azdır. Darbeli ark transfer şekli tüm kaynak pozisyonları için uygundur (Geçmen, 2006).



Şekil 3.20. Darbeli arkta malzeme geçişi ve akımın değişimi (Geçmen, 2006).

3.4. Gazaltı Ark Kaynağına Etki Eden Parametreler

Gazaltı ark kaynağında kaynağın kalitesini ve şeklini belirleyen parametreler çok önemlidir. Kaynak parametreleri, kaynaklanan metalin veya alaşımın türüne, kalınlığına ve kaynak ağzı geometrisi göz önünde bulundurularak saptanır. Bu parametrelerin seçimi kaynakçının çalışma koşullarını kolaylaştırdığı gibi gereken özelliklerde kaynaklı bağlantı elde edebilme olasılığını artırır.

3.4.1. Elektrod Çapı

Her tür elektrod için çapa bağlı bir akım şiddeti aralığı vardır. Büyük çaplı elektrodlar daha yüksek akım şiddeti ile kullanılabilirler ve daha yüksek bir erime gücüne sahiptirler ve daha derin nüfuziyetli dikişler oluştururlar. Erime gücü, akım yoğunluğunun bir fonksiyonudur (Durmuşoğlu, 2006).

Şekil 3.21 sırasıyla 1.0, 1.2, 1.6 mm çaplı tel elektrodla ait erime gücü eğrisini akım şiddetine bağlı olarak göstermektedir. Bu üç telin kesitleri sırası ile 0.78 mm², 1.13

mm² ve 2.0mm²'dir. Yaklaşık 250 amperlik akımın her üç tele de uygulanması durumunda, özgül akım yüklemeleri:

1.0 mm tel için: 320 Amper/mm²

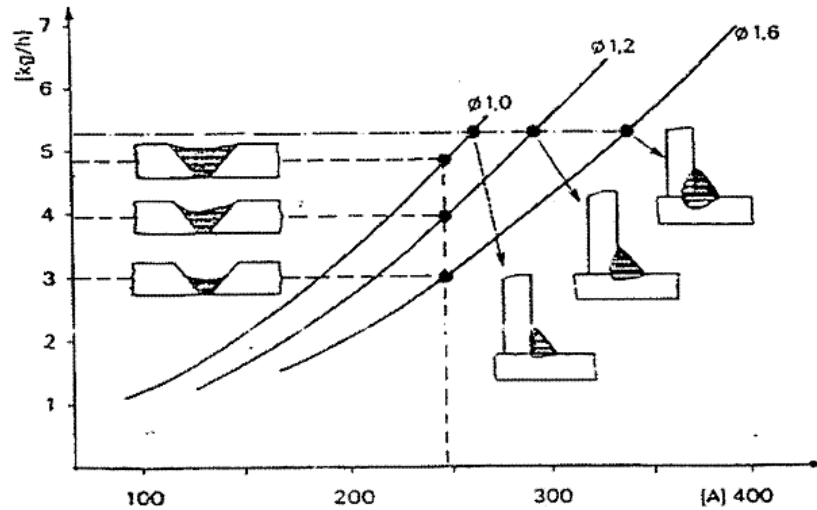
1.2 mm tel için: 220 Amper/mm²

1.6 mm tel için: 125 Amper/mm² olur.

Bu nedenle 1.0 mm çaplı tel, 4.8 kg/saat ile en yüksek eritme gücüne sahiptir (Durmuşoğlu, 2006).

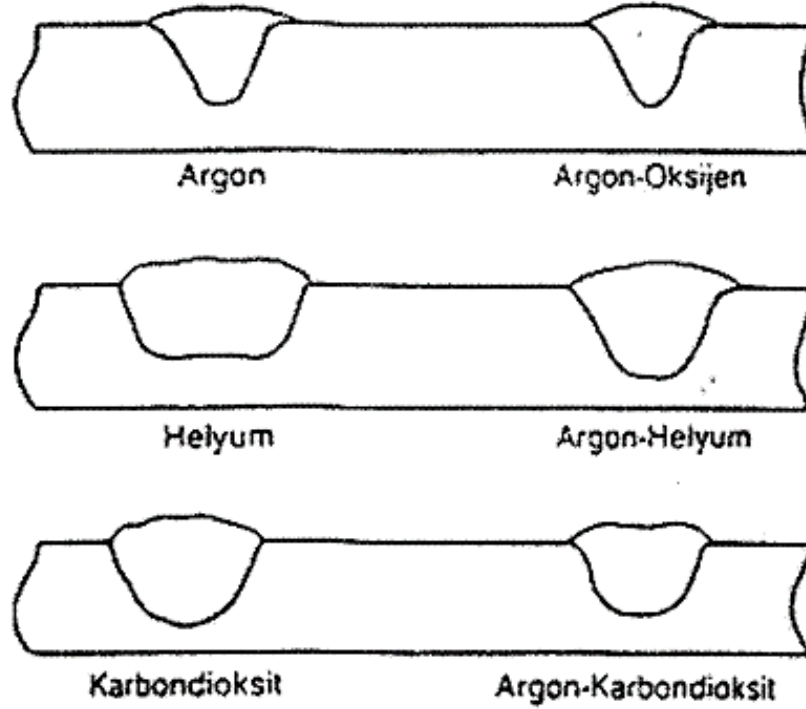
3.4.2. Koruyucu Gaz Türü

Gazaltı ark kaynağında çeşitli türde koruyucu gazlar kullanılır ve her gazın oluşturduğu erime gücü, dikiş biçimi ve nüfuziyet birbirinden farklıdır. Koruyucu gaz türünün aynı zamanda kaynak sırasında sıçrama miktarına, kaynak hızına, kaynak metalinin arktaki transfer şekline ve elde edilen bağlantının mekanik özelliklerine etkisi vardır (Kayakök, 2009).



Şekil 3.21. Tel çapı ile akım yüklenilebilirliğin ve eritme gücü ile nüfuziyet değişimi (Durmuşoğlu, 2006).

Demir esaslı metallerin kaynağında saf karbondioksit ile argon-karbondioksit ve argon-oksijen karışımları kullanılır. Şekil 3.22’de çeşitli gaz türlerinde elde edilen kaynak dikiş profilleri şematik olarak gösterilmiştir (Durmuşoğlu, 2006).



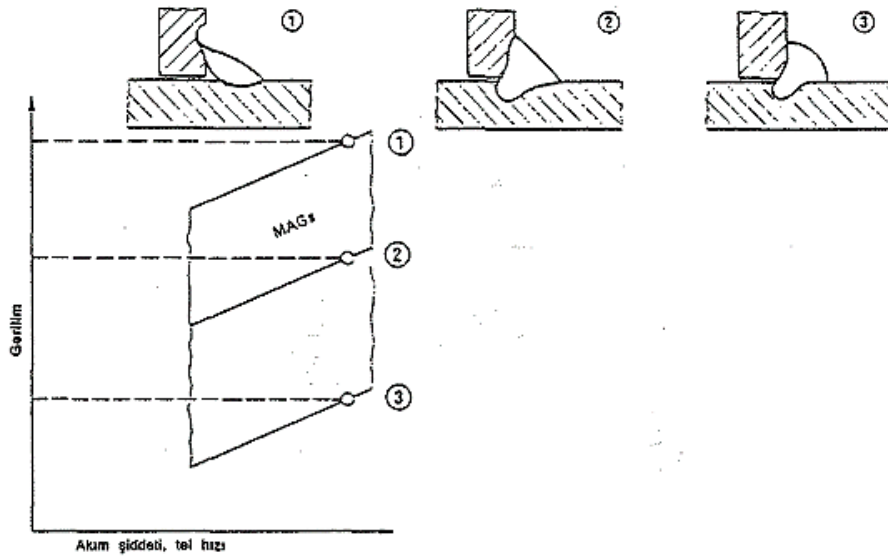
Şekil 3.22. Çeşitli koruyucu gaz türlerinde elde edilen kaynak dikiş profillerinin şematik olarak gösterilmesi (Durmuşoğlu, 2006).

3.4.3. Ark Gerilimi

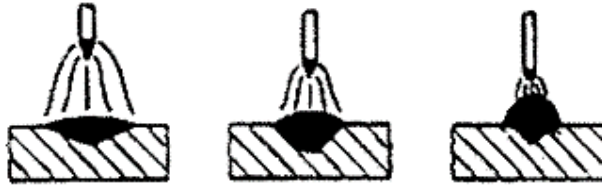
Ark gerilimi arkın uzunluğunu ve dikişin genişliğini belirler. Ark gerilimi yüksekse, dikiş yassı ve geniş olur, yanma çentikleri ve manyetik üfleme etkisi meydana gelebilir. Çok uzun ark boyunda alaşım elementleri arkta daha çok yanar ve duman çıkartabilir. Bu durum Şekil 3.23’de köşe dikişleri için gösterilmiştir (Anonim, 2008).

Uygun seçilmiş bir çalışma noktası, arkın sakin ve kararlı bir şekilde yanması ile kendini belli eder. Bir gazaltı ark kaynak makinasında sabit gerilim karakteristik ayar imkanı ne kadar fazla olursa optimal çalışma noktasının belirlenmesi de o derece kolay olur. Genel olarak standart akım üreteçlerinde 3 kaba ayar ve 5 ince ayar vardır, bu da toplam 15 kademedede gerilim ayar imkanı sağlar (Durmuşoğlu, 2006).

Aynı tel besleme hızında gerilimin değişmesi etkisi; tel hızını değiştirmeden, cihaz üzerinde başka bir karakteristik eğrisinin seçilmesi yoluyla gerilimin değiştirilmesi, ark boyunun ve dikiş profilinin değişmesine neden olur. Bu işlem sırasında akım şiddeti ve eritme gücü sabit kalmaktadır (Durmuşoğlu, 2006).



Şekil 3.23. Sprey arkla oluk pozisyonunda köşe dikişlerinin kaynağında ark geriliminin etkisi (Anonim, 2008).



Şekil 3.24. Alın kaynağında ark geriliminin etkisi (Durmuşoğlu, 2006).

3.4.4. Tel Hızının Etkisi

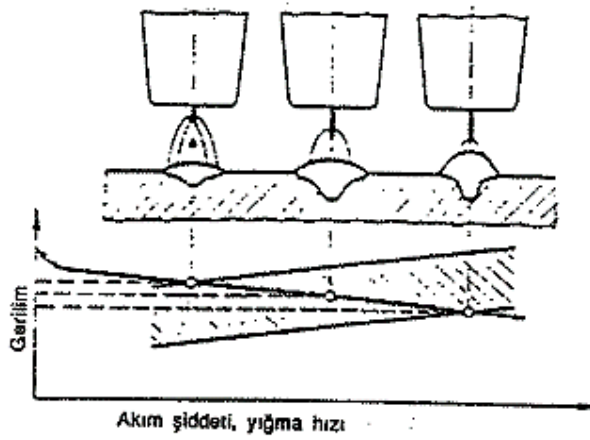
Tel hızı erime hızıyla doğru orantılıdır ve kaynak akımıyla tel hızı arasında hemen hemen sabit oran vardır. Tel hızı arttıkça akım şiddeti ve nüfuziyet derinliği de artar. Dikiş genişliği normal çalışma aralığında fazla etkilenmez. Eğer kaynak hızı ve gerilim gibi diğer parametreler arttırılmazsa, tel erime hızı arttığı için dikiş dışbükeyliği artar (Anonim, 2008).

Kaynakta kullanılan akım şiddetinin erime gücüne, kaynak dikiş biçim ve boyutlarına ve nüfuziyete etkisi diğer bütün parametrelerden daha şiddetlidir. Sabit gerilim sistemli olan gazaltı ark kaynak makinalarında, kaynak akım şiddeti tel hızı ile beraberce, tel hız ayarı düğmesinden ayarlanır (Durmuşoğlu, 2006).

3.4.5. Temas Borusu Mesafesi

Temas borusu mesafesi olarak temas borusunun ucuyla iş parçası yüzeyi arasındaki mesafe tarif edilmiştir. Bu mesafe hassas değildir, çünkü kaynak banyosunun yüksekliği ve arkın boyu hassas olarak ölçülemez. Pratikte gaz nozulunu ve temas borusunu ısının etkisinden korumak için düşük akım bölgesinde küçük (ortalama 10-15 mm) ve yüksek akım bölgesinde daha büyük (15-20 mm) temas borusu mesafeleri ayarlanır (Şekil 3.26) (Anonim, 2008).

Temas borusu mesafesinin artması erime gücünün artmasına, nüfuziyetin azalmasına neden olur. Sonuç olarak mesafenin aşırı artması, fazla miktarda soğuk kaynak metalinin kaynak dikişine yığılmasına sebep olur. Genel olarak temas borusu mesafesi, kaynak ağzında kısa bir bölgede kök açıklığının değiştiği hallerde, dikişi kompanze edebilmek amacıyla kullanılır (Durmuşoğlu, 2006).



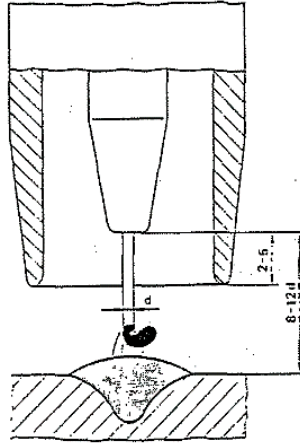
Şekil 3.25. Sabit gerilimde akım şiddetinin ve tel hızının etkisi (Anonim, 2008).

3.4.6. Kaynak Hızı

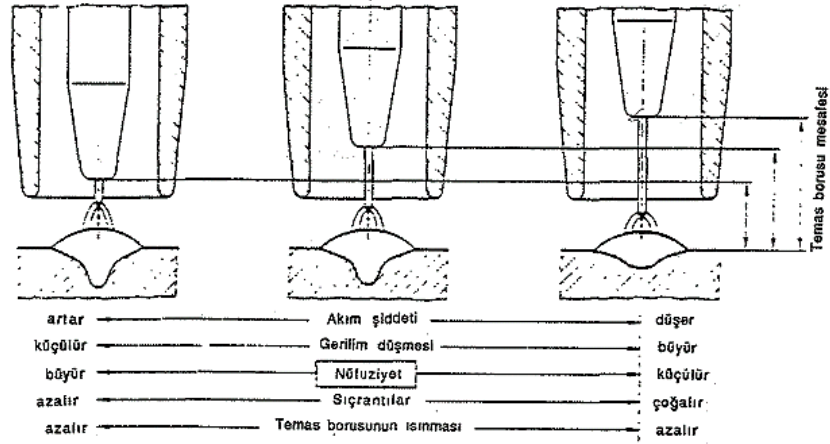
Sabit kaynak parametrelerinde kaynak hızının artırılması dikişin kesitini küçültür. Daha yüksek kaynak hızında aynı dikiş geometrisini elde etmek için kaynak geriliminin ve tel hızının da artırılması gerekir. Kaynak hızı keyfi olarak seçilemez. Elle kaynakta, 40 ile 60 cm/dak'lık kaynak hızları uygundur, daha yüksek hızlarda bir kaynakçı üflecı elle düzgün hareket ettiremez.

Mekanize kaynaklarda hız arttırılabilir. Kaynak hızı çok yüksekse kaynak dikişı dışbükey ve dar olur. 1 ile 1.5 m/dak arasındaki kaynak hızları sınırlı dikiş kalitesi gerektiren seri üretimlerde kullanılır. 40 cm/dak'lık bir hızın altına inildiğinde, arkın önüne akan kaynak banyosu nüfuziyeti önemli ölçüde azaltabilir ve birleşme hatalarına sebep olabilir.

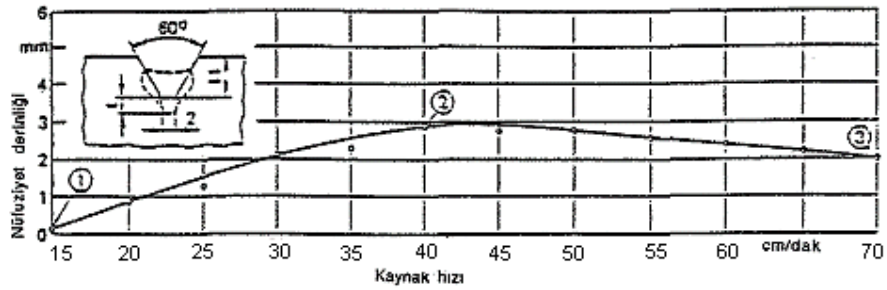
Şekil 3.28'de, 1 numaralı bölgede arkın önüne akan kaynak banyosundan dolayı minimum nüfuziyet derinliği, 2 numaralı bölgede doğru kaynak hızında maksimum nüfuziyet derinliği ve 3 numaralı bölgede ise hızlı kaynakta az nüfuziyet derinliği sağlanmıştır. Bir dikiş bir tek yavaş paso yerine hızlı üç pasoda kaynaklamak daha iyidir.



Şekil 3.26. Temas borusu mesafesi (Anonim, 2008).



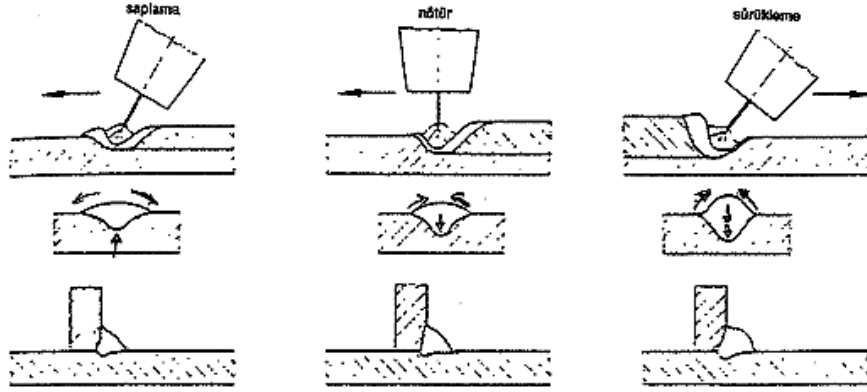
Şekil 3.27. Temas borusu mesafesinin dikiş geometrisine ve akım şiddetine etkisi (Anonim, 2008).



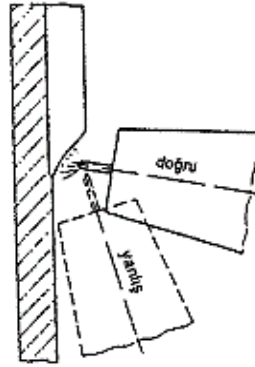
Şekil 3.28. Kaynak hızının nüfuziyet derinliğine etkisi (Anonim, 2008).

3.4.7. Üflecin Eğimi

Üflecin saplama, dik veya sürüklenme konumunda tutulması nüfuziyet profilini ve dikiş dış geometrisini etkiler. Saplama konumu dikişi genişletir, fakat nüfuziyet azalır. Aşırı saplama konumunda (alın dikişlerinde $>20^\circ$ ve köşe dikişlerinde 45°), arkın önünde akan kaynak banyosu birleşme hatasına sebep olacak kadar nüfuziyeti azaltabilir. Sürüklenme konumundaki bir üfleç dikişi daraltır ve dışbükey yapar, nüfuziyeti derinleştirir. Şekil 5.9'da üflecin konumunun etkileri grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.29. Üflecin eğiminin dikiş formuna etkisi (Anonim, 2008).



Şekil 3.30. Yukarıdan aşağı kaynaklarda üflecin eğimi (Anonim, 2008).

3.5. Kaynak Kabiliyeti ve Çelik Çeşitlerinin Kaynak Edilebilirliği

3.5.1. Kaynaklanabilirlik

Bir yapı elemanının kaynaklanabilirliği, malzeme, konstrüksiyon ve imalat yöntemi olarak sıralanan üç faktöre bağlıdır. Kaynaklanabilirlik, kaynaklı birleştirme yapılabildiğinde ve kaynak dikişi ile ısıdan etkilenmiş bölge (IEB) uygulama amacına yönelik özelliklere sahip olduğunda, mevcuttur. Kaynaklanabilirlik bakımından şu özellikler tanımlanmaktadır:

Malzeme özelliği	=	Kaynağa uygunluk
Konstrüksiyon özelliği	=	Kaynak güvenliği
İmalat özelliği	=	Kaynak yapma imkanı

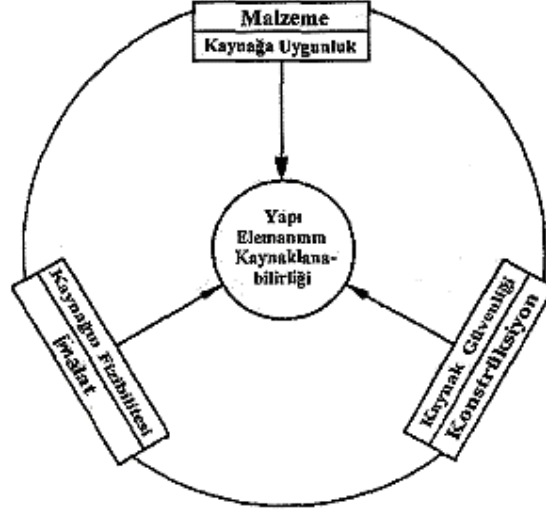
Bu özellikler, birbirleriyle karşılıklı etkileşim halindedirler. Örneğin, imalat ve konstrüksiyon açısından bakıldığında, malzeme ne kadar az dikkate alınmak zorundaysa, kaynağa uygunluk o derece iyidir (Yüksekkaya, 1996).

3.5.2. Kaynağa Uygunluk

Bir malzemenin kaynağa uygun olup olmadığı, o malzemenin özelliklerine ve bu özelliklerin kaynak işlemi sırasında sergilediği değişikliklere bakılarak belirlenir. İmalatı tamamlanan yapı elemanında, kaynak dikişi ve ısıdan etkilenmiş bölgenin (IEB) özellikleri yapı elemanında aranılan şartları karşılıyorsa, malzemenin kaynağa uygunluğu yeterli düzeydedir (Anonim, 2008).

Yapı elemanının, çeşitli kullanım amaçları için farklı özelliklere sahip olması şartı aranıyorsa, benzer şekilde kaynağa uygunluk ile ilgili aranılan şartların da farklı olması zorunludur. Veya aynı özellikler korunuyorsa (kaynağa uygunluğun sabit

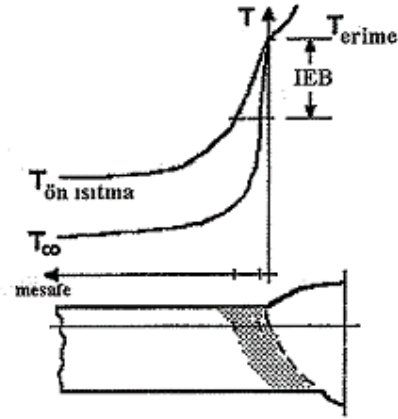
tutulması durumunda), imalatı tamamlanmış yapı elemanının sahip olduğu özellikler ek önlemlerle iyileştirilmek veya yapı elemanı üzerindeki yükler konstrüktif önlemlerle azaltılmak zorundadır (Akyol, 1994).



Şekil 3.31. Kaynaklanabilirliğin şematik gösterimi (Yüksekkaya, 1996).

Ana malzeme, kaynak sebebiyle erime noktasına kadar olan bütün sıcaklıklara ısınır ve şartlara bağlı olarak farklı hızlarda soğur. Bu sayede, malzeme içerisinde yüksek sıcaklıkta meydana gelen veya yüksek sıcaklıklardan aşağıya doğru değişik hızlarda soğurken meydana gelen bütün malzeme değişimleri gözlenebilir (Akyol, 1994).

Normalde, kaynaklı bir birleştirme yeterli taşıma kabiliyetine sahip olduğunda kaynağa uygunluktan bahsedilir. Eğer, kaynaklı birleştirmenin mekanik-teknolojik özellikleri, kaynaklanmamış ana malzemeninkilere eşdeğer ise, taşıma kabiliyeti her durumda yeterlidir. Malzeme, (korozyon direnci, elektriksel iletkenlik, vs. gibi) özel bazı kimyasal veya fiziksel özelliklere sahip olduğunda, kaynağa uygunluk sadece bu özellikler kaynaktan sonra da yeterli ölçüde sağlandığı sürece kabul edilmektedir (Akyol, 1994).



Şekil 3.32. Isıdan etkilenmiş bölgenin şematik gösterimi (Anonim, 2008).

Aşağıdaki açıklamalar, uygulamaları sırasında belirgin bir sıvı faz oluşturan kaynak yöntemleri için geçerlidir. Diğer eritme olmadan yapılan kaynak yöntemleri (difüzyon kaynağı, patlama kaynağı, soğuk pres kaynağı ve sürtünme kaynağı) için ise kısmen geçerlidir (Yüksekkaya, 1996).

Kaynağa uygunluğa ait problemler aşağıdaki çizelgeye göre sınıflandırılabilir (Anonim, 2008).

Çizelge 3.3. Oluşabilecek hata ve yerleri.

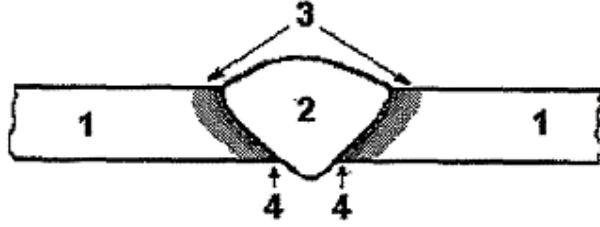
Problem	Zarar Verilen Yer
Çatlaklar	
Soğuk çatlaklar	Çoğunlukla IEB
Sıcak çatlaklar	IEB ve kaynak dikişi
Gözenekler	Sadece kaynak dikişi
Dayanç kaybı	Çoğunlukla IEB
Segregasyonlar	IEB
Anizotropi	IEB ve kaynak dikişi
Kimyasal reaksiyonlar	IEB ve kaynak dikişi
Fiziksel etkiler	IEB ve kaynak dikişi

3.5.3. Kaynaklı Birleştirme

Bir kaynaklı birleştirme, kaynak metali, ısıdan etkilenmiş bölge (IEB) ve ana malzemeden meydana gelir.

Kaynak metali, eritilen ana malzeme ile eğer kullanılmış ise kaynak dolgu malzemesinin karışımından meydana gelir. Karışım teriminden, kaynak metali içerisinde belirli oranlarda eritilen malzeme ile dolgu malzemesinin oluşturduğu kimyasal bileşim anlaşılır. Karışım oranı, kaynak yöntemine, kaynak verilerine, dikiş türüne, ağız hazırlığına ve malzeme kalınlığına bağlıdır (Yüksekkaya, 1996).

Farklı ana ve dolgu malzemelerinin tam ve homojen bir şekilde karışabilmesi, kaynak yöntemine ve kaynak verilerine bağlıdır. Ark eritme kaynağı yöntemlerinde, manyetik katıştırma etkisinden dolayı genelde karışım tam anlamı ile oluşur (Anonim, 2008).



- 1: Ana malzeme
- 2: Kaynak metali
- 3: Isıdan etkilenmiş bölge (IEB)
- 4: Sertleşme bölgesi (IEB'nin bir bölümü)

Şekil 3.33. Kaynaklı malzemenin şematik gösterimi (Anonim, 2008).

Isıdan etkilenmiş bölge, kaynaklanan malzemelerin özelliklerinin kaynak ısısından etkilenmesi ölçüsünde geniştir. Isıdan etkilenmiş bölgenin genişliği, birim zamanda açığa çıkan ısının büyüklüğüne (J/dak) ve kaynak hızına (cm/dak) bağlıdır. Bunlardan hat enerjisi “E” elde edilir.

$$E = \frac{U \cdot I \cdot 60}{v} \left[\frac{\text{J}}{\text{cm}} \right] \quad (3.2)$$

Kaynak hızı, bütün yöntemlerde değiştirilebilen bir parametre niteliğindedir. Fakat, yöntemle ilgili olarak belirli sınırlar dahilinde bulunmak zorundadır. Yüksek düzeyde enerji açığa çıkartan yöntemleri, çok yüksek kaynak hızlarını gerektirirler. Dolayısıyla, güçlü kaynak yöntemlerinde kaynak dikişi boyunca cm başına düşen enerji miktarı daha azdır (Anonim, 2008).

Bunun haricinde, ısıdan etkilenmiş bölgenin genişliği aşağıdakilere de bağlıdır:

- Malzemenin ısı iletkenliğine: Yüksek ısı iletkenliği = Geniş IEB
- Malzeme içerisindeki difüzyon (reaksiyon) hızına: Yüksek difüzyon hızı = Geniş IEB
- Malzemenin Kalınlığına (ısı tahliyesi): Büyük et kalınlığı = Daha dar IEB (ısı daha hızlı uzaklaşacağından)
- Katman ve pasoların sayısına: Katman ve paso sayıları artırılarak kaynaklandıkça (belirli bir kaynak yöntemi ve uygun kaynak verileriyle) kaynak hızı da artırılabilecektir = Daha dar IEB

Birbirini takip eden katman ve pasolar, altlarında kalan malzemeyi (kaynak metali, IEB) bir ısı işlem yapıyor muşçasına etkilediğinde, bu ısı işlem artan katman ve paso sayısı ile daha büyük olacaktır (Anonim, 2008).

3.5.4. İnce Taneli Yapı Çeliklerinin Genel Özellikleri ve Kaynağı

İnce taneli yapı çelikleri, DIN EN 10025'deki kalite grubu 3 N'ye dahil çelikler gibi, birleşiminde azotu nitrür şeklinde bağlayıcı elementler bulunduran çeliklerdir. Bu tür çelikler yaşlanmaya duyarlı değildirler. Ve tane irileşmesi eğilimi ise ancak 1000°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda başlar. Alüminyumun yanında, Ti, Nb, V gibi

elementler de nitrür veya karbonitrür oluştururlar. Bunlar, östenit bölgesinde tane irileşmesini engelleyerek, imalat sonucunda ince (küçük) tane büyüklüklerini temin ederler (Anonim, 2008).

İnce taneli yapı çelikleri, akma sınırı veya yüksek dayançlı ince taneli yapı çeliklerinde olduğu gibi % 0.2 uzama sınırı ile ifade edilirler. Yassı mamul alanına dahil çelikler, çelik yapılarda kullanılan çelikler veya basınçlı kap imalatında kullanılan çelikler olarak gruplandırılırlar. Kullanıcılara, normalizasyon haddelenmesi yapılmış, termomekanik haddeleme yapılmış veya ıslah edilmiş şekilde sunulurlar. Tanelerin ince olması ve de ince dağılmış nitrür ve karbürlerin bulunması sayesinde dayanç değerleri ve çentik darbe tokluğu artmakta, geçiş sıcaklığı azalmaktadır. Bütün ince taneli yapı çelikleri, orijinal St 52'nin geliştirilmiş hali olarak görülebilir. Karbon oranı, sertleşme sebebiyle en fazla % 0.2 olarak sınırlandırılmıştır. Bazı düşük akma sınırına sahip türler, belirgin biçimde daha az karbon içerirler (Anonim, 2008).

İnce taneli yapı çeliklerinin sağladığı avantajlar şu şekilde sıralanabilir.

1. Akma sınırının yüksekliği nedeni ile daha ince cidar kalınlıkları.
2. Yapının ağırlığında sağlanan tasarruftan ötürü malzeme, üretim ve taşıma giderlerinde önemli ölçüde tasarruf.
3. Kesitlerin incilmesi nedeniyle kaynak giderlerinin azalması.
4. Ekonomik ve teknolojik nedenlerden ötürü konvansiyonel çelikle ile yapılması imkansız olan pek çok konstrüksiyon türünün gerçekleştirilebilmesi (Tülbentçi, 1990).

3.5.4.1. İnce Taneli Yapı Çeliklerinin Kaynağa Uygunluğu

Genel olarak kaynak sırasında üç problem ortaya çıkar.

1. **Soğuk Çatlaklar:** Sertleşmeye bağlıdır. Kaynak metalindeki hidrojen miktarının artması ile bu tehlike artar.
2. **Çentik darbe değeri ve geçiş sıcaklığı:** Bu özellikler başlıca, içyapı oluşumu ile çöktillerin tür ve biçimlerinden etkilenirler.

3. Dayanç azalması: Dayancı artırılmış malzemelerin dayanıcının azalması (Islah edilmiş ince taneli yapı çelikleri) (Anonim, 2008).

3.5.4.1.1. Soğuk Çatlaklar

Bir diğer adı da sertleşmedir. Isıdan etkilenmiş bölgede martensit miktarının artması ile şekil değiştirme kabiliyeti (süneklik) düşer ve bu durum soğuk çatlaklara neden olabilir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, soğuk çatlakların oluşumunu belirleyen malzeme özelliğinin şekil değiştirme kabiliyeti olduğudur. Isıdan etkilenmiş bölgedeki martensit miktarı veya sertlik değeri, artan martensit miktarı ve sertliğin bütün çeliklerde şekil değiştirme kabiliyetini azaltması nedeniyle dikkat çekicidir. Ancak, şekil değiştirme kabiliyeti ile martensit veya sertlik arasındaki ilişki her çelik için aynı değildir. Ana malzemenin ısıdan etkilenmiş bölge üzerinden kaynak metaline geçişte şekil değiştirme kabiliyeti çok dar bir bölgede değiştiğinden, bunun yerel olarak saptanması gerekmektedir. Fakat bu çok zordur (Anonim, 2008).

Martensit oranı ve sertliğin belirlenmesi ise daha kolaydır. Bu durum, genel olarak sertlik değerinin 350 HV'i aşmamasını gerektirmektedir. İnce taneli yapı çeliklerinde, sertlik ile şekil değiştirme kabiliyeti arasında belirgin bir bağıntı kurmak zordur. Bu nedenle, kural olarak çentik darbe deneyi ile tokluğun yeterli olduğu saptanırsa, daha yüksek sertlik değerlerine izin verilebilir (Anonim, 2008).

Sertleşme, ön ısıtma ve yüksek hat enerjisi ile engellenebilir. Ayrıca, mevcut bir sertleşme ise tavlama, çizgisel paso tekniği ve ıslah (kapak) pasosu sayesinde giderilebilir (Anonim, 2008).

3.5.4.1.2. Hidrojen Gevrekleşmesi

Hidrojen, faz dönüşümü gerçekleştirebilen çeliklerde gevrekleşmeye neden olur. Bu gevrekleşme etkisi, özellikle martensitik yapıda çok belirgindir. Yani, hidrojen

içermeyen sertleştirilmiş bir yapı, hidrojen içeren aynı yapıya kıyasla çok daha sünektir (Anonim, 2008).

Kaynak metalli içerisindeki hidrojen, her yöne doğru ve bu arada ısıdan etkilenmiş bölge içerisinde da dağılır. Mevcut hidrojen ise, 300°C'nin üzerinde uzun süre tutularak (yüksek ön ısıtma sıcaklığı, yüksek hat enerjisi) veya hidrojen giderme tavı uygulayarak giderilebilir. Yani soğuk çatlaklar yüksek ön ısıtma sıcaklıkları ve yüksek hat enerjisi ile önlenir (Anonim, 2008).

3.5.4.1.3. Çentik Darbe Enerjisi

Tane İrileşmesi: Isıdan etkilenmiş bölgedeki tanelerin irileşmesi ile çentik darbe enerjisi düşer ve geçiş sıcaklığı artar. İri taneli bölgenin genişliği ve tanelerin büyüklüğü, hat enerjisi ve ön ısıtma sıcaklığı düşürülerek azaltılabilir. İri taneler, kısmen de olsa daha sonraki pasoların normalizasyon etkisi ile giderilebilir. Bu olumlu etki, çok sayıda ince pasoların (çizgisel paso tekniği) bulunduğu durumlarda daha belirgindir (Anonim, 2008).

Çökeltiler: Isıl işlemler sırasında (temperleme, gerilim giderme tavı gibi), birbiri üzerine uygulanan pasolarda son pasoların altındakiler tavlama etkisi ile, veya yüksek ön ısıtma sıcaklığı ve yüksek hat enerji ile çalışılırken kaynak ısısı nedeniyle bir temperleme etkisi söz konusu olur, ve bu sırada çökeltiler oluşabilir (Anonim, 2008).

V, Ti, Nb vb. elementlerin karbür ve karbonitrürleri şeklindeki çökeltileri, genel olarak $R_{p0.2}$ ve R_m 'nin yükselmesine, ancak aynı zamanda çentik darbe enerjisinin düşmesine ve geçiş sıcaklığının yükselmesine sebep olurlar. Çentik darbe enerjisi ve geçiş sıcaklığı üzerindeki bu olumsuz etki, çökeltilerin türü, biçimi, büyüklüğü ve dağılımına bağlıdır. Bu arada, çökeltilerin hangi fazın (martensit, ince beynit, kaba beynit veya ferrit) temperlemesi sırasında meydana geldiği çok önemlidir. Çökeltilerin kaba beynitik bir yapı halinde çökmesi halinde çentik darbe enerjisi ve geçiş sıcaklığı üzerindeki olumsuz etki en yüksek değerlerdedir. Bu etki, ince beynit veya martensitten çökme durumunda en düşük seviyededir (Anonim, 2008).

Buna göre, içerisindeki çökeltilerin oluşabileceği, tokluk bakımından en uygun yapıyı elde etmek için, düşük hat enerjisi kullanmak ve düşük sıcaklıkta ön ısıtma yapmak gereklidir (Anonim, 2008).

3.5.4.1.4. Kaynak İşlemine Etkisi

Bir kaynak bağlantısında, soğuma esnasında ve soğuma tamamlandıktan sonra şekillendirme kabiliyetinin düşmesi sebebiyle soğuk çatlaklar oluşacağından, aşırı düzeyde sertleşmeye izin verilmemelidir. Burada sertliğin yanı sıra hidrojen miktarı da önemli rol oynamaktadır. Öte yandan, kaynak bağlantısının istenmeyen çökeltiler nedeniyle gevrekleşmesi de engellenmelidir (Anonim, 2008).

Bütün bu nedenlerle yeterli bir ön ısıtma yapılmalı ve/veya yeterli bir hat enerjisi ile çalışılmalıdır. Fakat, hat enerjisi ve ön ısıtma sıcaklığı, fazla miktarda ferrit veya kaba beynit oluşumuna sebep olacak şekilde yüksek seçilmemelidir. Kaynak metalindeki hidrojen miktarı ne kadar az ise soğuk çatlama tehlikesi o kadar azalacağından, düşük hidrojen miktarlarında içyapıdaki martensit miktarının biraz daha yüksek olmasına izin verilebilir (Anonim, 2008).

Buna göre, hat enerjisi ve ön ısıtma sıcaklığı malzemeye göre minimum ve maksimum değerlerle sınırlandırılmalıdır. Kaynak metali, hidrojen bakımından fakir olmamalıdır. Çok pasolu çizgisel paso tekniği ve gerektiğinde ıslah pasoları uygulanmalıdır. Aynı çelik, farklı imalatçılar tarafından farklı kimyasal bileşimlerde üretilmiş olabileceğinden, çelik imalatçılarından tavsiye alınmalıdır (Anonim, 2008).

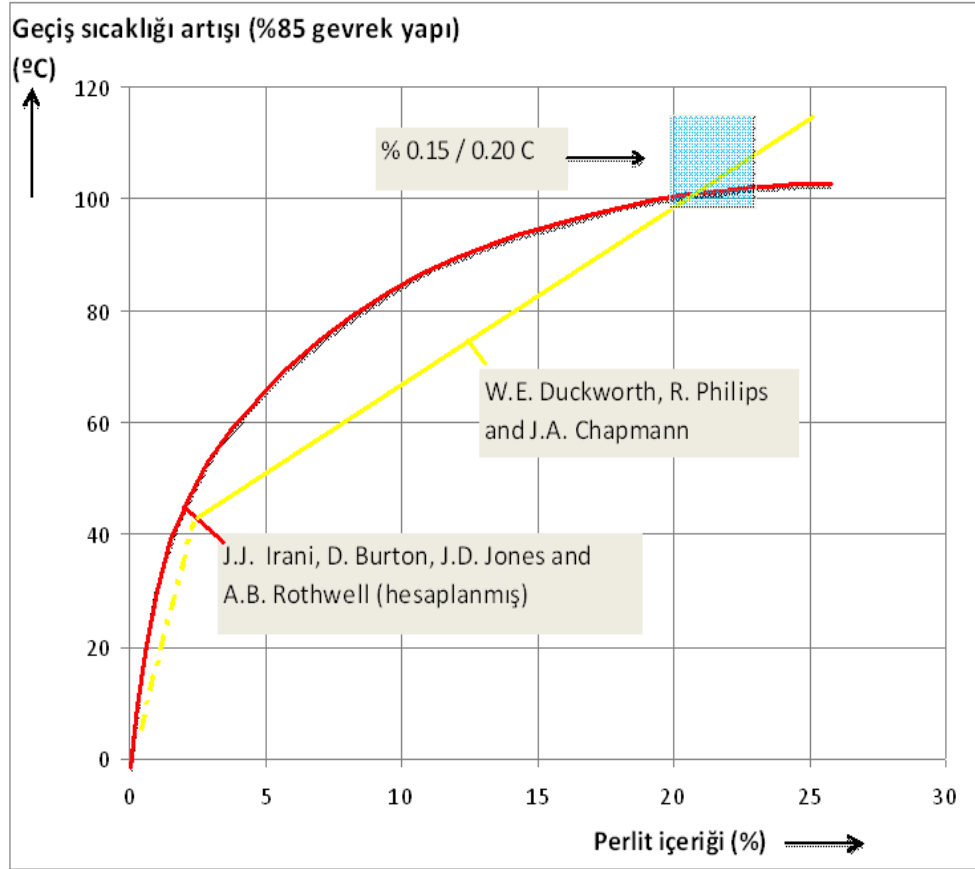
3.5.4.2. Termomekanik Olarak Haddelenmiş İnce Taneli Yapı Çelikleri

İnce taneli yapı çeliklerinin genel özellikleri olan düşük karbon içeriği, kısıtlı sayıda alaşım elementi, ince taneli ve yüksek akma mukavemetlerine sahip olup termomekanik olarak haddelenmiş ince taneli yapı çeliklerinin ise yüksek toklukları, gevrek kırılmaya karşı duyarlı oluşları ve iyi kaynaklanabilirlikleri ile diğerlerinden ayrılmaktadırlar. C içeriği %0.2 olan normalize edilmiş ince taneli yapı çeliklerinin

aksine, C içeriği önemli ölçüde azaltılmıştır ve ısı işlemin yerini termomekanik haddeleme almıştır (Anonim, 2010).

Şekil 3.34'deki grafikte, artan perlit içeriği ile geçiş sıcaklığının artışı göstermektedir. Eğer karbon içeriği, perlitli azaltılmış çeliklerde %0.1-0.15 C'ye, düşük perlitli çeliklerde %0.05-0.1'e ve perlitsiz çeliklerde %0.01-0.05'e düşürülürse, düşük geçiş sıcaklığı nedeniyle gevrek kırılmaya direnç önemli ölçüde artacaktır (Anonim, 2010).

Mukavemetteki azalmanın sebebi karbonun azalmasıdır ve bu düşüşü telafi etmek için son derece ince tanelere sahip olarak eritilirler ve niyobyum, titanyum ve vanadyum gibi mikro alaşım elementleri sayesinde çökelme sertleşmesi elde edilir.



Şekil 3.34. Perlit içeriğinin sıcaklığa göre değişimi (Anonim, 2010).

Termomekanik Haddelenenin Niteleyici Özellikleri:

1. Düşük haddeleme sıcaklıkları, plakada östenit tanesinin istenmeyen irileşmesi önlenmiş olur, çözünmemiş karbon nitürleri tanelerin büyümesini engeller.
2. Ön haddeleme evresi, önemli miktarda 900 °C'nin üzerinde sona erer. İnce tane oluşturmak için yeniden kristalleşme gerçekleştirilir.
3. Daha fazla tane inceltmesi elde etmek üzere, haddeleme son evresinde, yeniden kristalleşmenin bastırılması.
4. Niyobyumun çökmesi ile yeniden kristalleşmenin gereken bastırılması desteklenir. Bu nedenle M çelikleri %0.03 Nb içerir (Anonim, 2008).

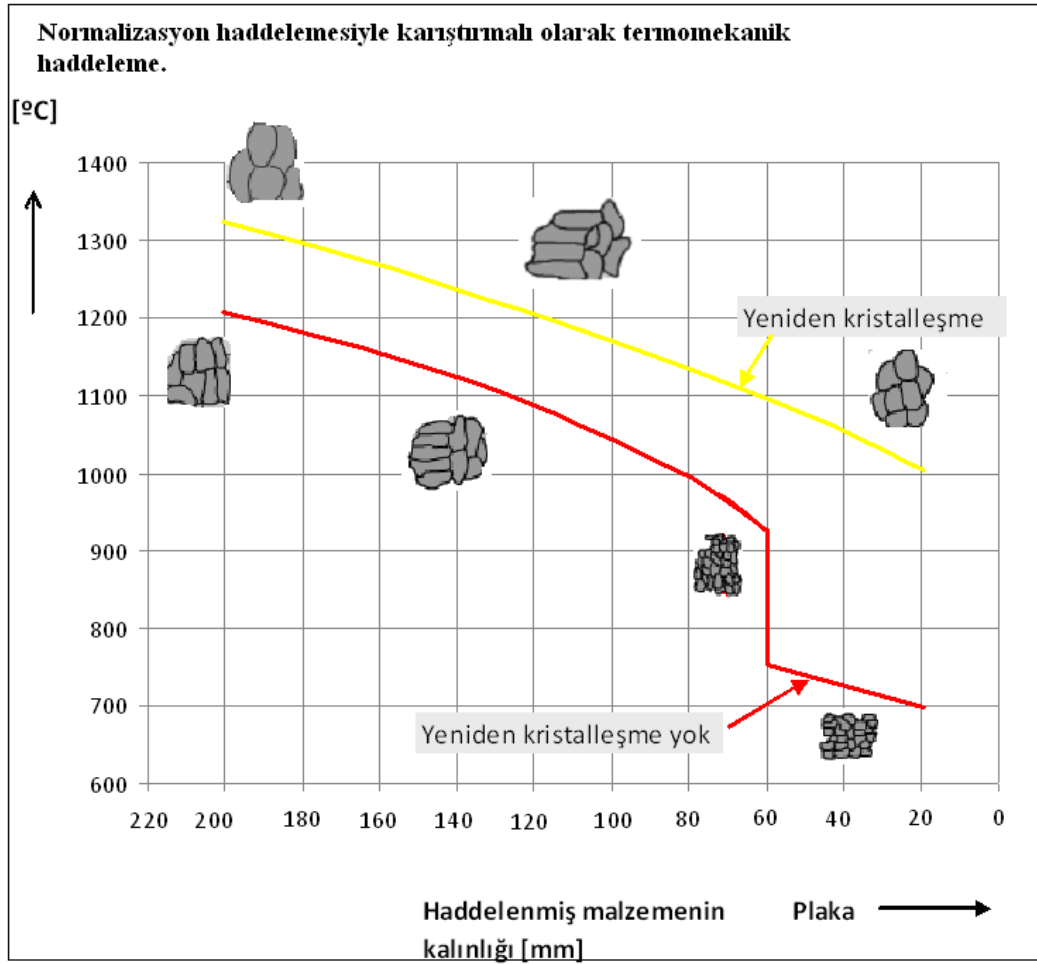
Çeliğin haddelenmesi sırasında gerçekleşen toparlanma ve sertleştirme, dönüşüm ve yeniden kristalleşme mekanizmaları iyi şekilde kontrol edilirse malzemenin optimize hali elde edilebilir (Anonim, 2010).

Termomekanik haddeleme ile sıcak deformasyon ve bu işlemle birlikte uygun şekilde koordine edilmiş ısı işlem yöntemleri ile malzemenin optimize hali garanti edilmektedir. Ancak, imal edilecek olan plaka kalınlıkları aralığı, tanımlı deformasyon ve soğutma koşullarına uygulama bakımından kısıtlıdır.

Perlit içeriğinin önemli ölçüde sınırlı olması nedeniyle, artık şeritli yapı görülmez. Uzun çizgili kalıntılar, yüksek derecede saflık ve seryum, kalsiyum, titanyum ve zirkonyum gibi kükürt ilgisi olan elementlerin eklenmesi ile önlenmektedir. Birçok uygulama için önem arz eden plaka işlenmesi sırasında soğuk deformasyon da, bu tedbirle önemli ölçüde iyileştirilmektedir (Anonim, 2010).

3.5.4.3. İslah Edilmiş İnce Taneli Yapı Çelikleri

En yüksek akma sınırı değerlerine sahip ince taneli yapı çelikleri ıslah edilmişlerdir. Yaklaşık 600 N/mm²'nin üzerinde akma sınırlarında sadece ıslah edilmiş ince taneli yapı çelikleri kullanılabilir. İslah edilmiş ince taneli yapı çelikleri aynı zamanda, kısmen de olsa düşük akma sınırları ile de kullanılır (Anonim, 2010).



Şekil 3.35. Normalizasyon haddemesiyle karşılaştırılabilir olarak termomekanik haddeme (Anonim, 2010).

Çelikler ıslah edilirken, önce sertleştirilmek zorundadır. Dolayısıyla, su verme işleminde çeliğin tüm kesitinin martensite dönüşmesini sağlamak üzere bu çelikler Cr, Mo, V gibi elementlerle alaşımlandırılır. Bu çeliklerin imal edildiği levha kalınlıkları türe bağlı olarak 50-150 mm ile sınırlanır (Anonim, 2008).

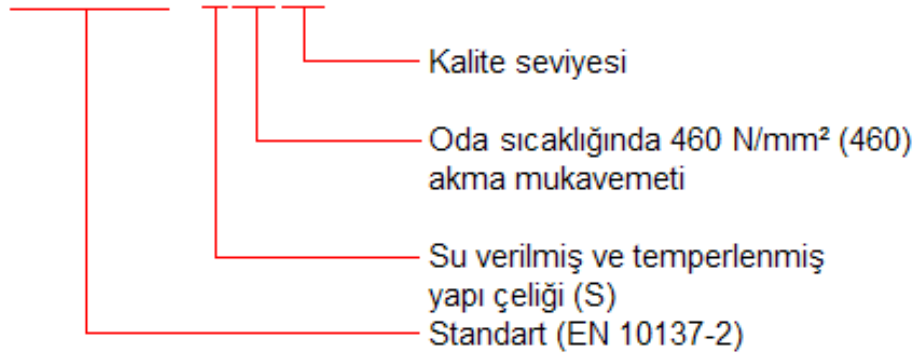
İnce taneli yapı çelikleri grubu içinde çok önemli bir yeri olan bu türde içyapıda az karbonlu martensit oluşturarak, çeliğin kaynak kabiliyetini önemli bir kayba uğratmadan, akma ve çekme mukavemetleri yükseltilmiş ve tokluğu arttırılmıştır (Tülbentçi, 1990).

Çeliğe su verilmesi ve temperlenmesi, martensit aşamasında bir dönüşümle bağlantılıdır. Östenitteki karbon içeriği ne kadar düşükse, martensit oluşum sıcaklığı o kadar yüksektir. Çok yüksek sıcaklıklarda meydana getirilen (kübik) martensit yüksek tokluğa sahiptir zira çoğunlukla kafes gerilimleri içermez. Karbon içeriği $< \%20$ olduğunda, martensit oluşum sıcaklığı 400°C 'nin üzerinde olur. Düşük karbon içerikli böylesi martensitin hala görel olarak iyi tokluk özellikleri vardır ve en yüksek sertlik değerleri 400 HV'nin hafif üzerindedir.

İslah edilmiş ince taneli yapı çeliklerinin teknik koşulları, DIN EN 10137'ye göre aşağıda verilmiştir:

- Bu Avrupa standardının numarası (DIN EN 10137-2).
- S kod harfi.
- Kalınlık ≤ 50 mm'nin N/mm^2 cinsinden akma mukavemetinin tanımlı minimum değeri.
- Kalite seviyesinin sembolü (Q, QL veya QL1) (Anonim, 2010).

EN 10137-2 - S460QL



Şekil 3.36. DIN EN 10137' ye göre malzeme gösterimi (Anonim, 2010).

Çizelge 3.4. DIN EN 10137-2'ye göre gösterilen ince taneli yapı çeliğinin analizi (Anonim, 2010).

DIN EN10137.2 ye uygun olarak analiz (maksimum)															
Element	C	Si	Mn	P	S	N	B	Cr	Cu	Mo	Nb	Ni	Ti	V	Zr
Maks. içerik [%]	0.2	0.8	1.71	0.025	0.015	0.015	0.0050	1.5	0.5	0.7	0.06	2.0	0.05	0.12	0.15

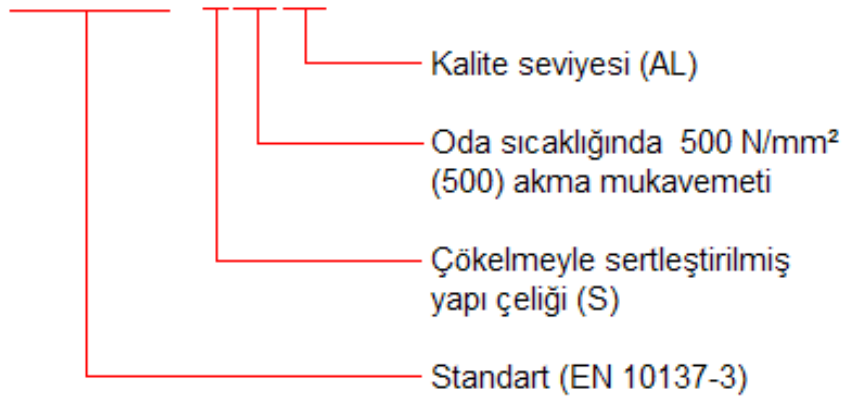
3.5.4.4. Çökeltmeyle Sertleştirilmiş İnce Taneli Yapı Çelikleri

Bu çelikler, standart alaşım elementlerinin yanında çökelti sertleşmesi sağlamak üzere yüksek oranda Cu ($\leq \%0.2$) içerir. Bu çelikler, 3-70 mm kalınlığa sahip sıcak haddelenmiş geniş yassı çelikler için kullanılmaktadır ve çökeltmeyle sertleştirilmiş haldeki minimum akma mukavemet değerleri 500 ila 600 N/mm² aralığında yer almaktadır.

Avrupa standardının 3. bölümüne uygun olan tüm çelik türleri aşağıdaki sırayla göstergelere göre şu kalite seviyelerinde temin edilebilir:

- A: Çentik darbe testinde -20°C'nin altında olmayan sıcaklıklarda tanımlı minimum değerlere sahip.
- AL: Çentik darbe testinde -40°C'nin altında olmayan sıcaklıklarda tanımlı minimum değerlere sahip.

EN 10137-3 – S500AL



Şekil 3.37. EN 10137-3'e göre malzeme gösterimi.

3.5.4.5. 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 ön tav ve yüksek enerji girdisi ile kaynak yapılır. İnce taneli yapı çeliklerinde özellikle ıslah edilmiş türlerde ön tav 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 östenitizasyona uğramış kısımların ferrit ve yüksek karbonlu martensit veya kaba beynit bölgelerinden oluşmuş bir içyapıya dönüşmesine neden olur ve bu tokluğun azalması ve mukavemet özelliklerinin kötüleşmesi sonucunu doğurur. Bu bölgeye bitişik olan kısımda aşırı bir temperlemeye uğramış olduğundan, gene mekanik özelliklerde bir kötüleşme ortaya çıkar. Bu olay özellikle yüksek derecede ön tav uygulanmış ve tek paso ile kaynak edilmiş bağlantıların ısıdan etkilenmiş bölgesinde 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 (Anonim, 2008).

Genellikle uygun bir ön tav, birçok nedenden ortaya çıkabilecek olan çatlak oluşumuna karşı etkin bir önlemdir. Özellikle kalın ve şiddetle zorlanan konstrüksiyonlarda bu konu çok önemlidir (Anonim, 2008).

Ön tav sıcaklığı, özgül enerji girdisi ve parça kalınlığı kaynak bölgesinin soğuma hızını etkileyen en önemli üç faktördür; bu bakımdan ince taneli yapı çeliklerinde kaynak bölgesinin özelliklerini kontrol altında tutabilmek için bu üç etkenin bir arada karşılaştırılması gereklidir (Anonim, 2008).

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

İnce taneli yapı çeliklerinin kaynağında ortam sıcaklığı 5°C'nin altında olduğu hallerde parçalara muhakkak bir ön tav uygulanıp uygulanmama konusunda parça kalınlığı ve malzemenin akma sınırı bir kriter olarak kullanılır. Buna göre ön tav ancak aşağıda belirtilmiş olan kalınlıkların üzerindeki parçalara uygulanır (Anonim, 2008).

Çizelge 3.5. Öntavın uygulanmasında gerekli malzeme kalınlıkları (Anonim, 2008).

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, ön tav sıcaklığı, özgül enerji girdisi ve 800°C ile 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 (Anonim, 2008).

3.5.5. Paslanmaz Çeliklerin Genel Özellikleri ve Kaynağı

Paslanmaz çeliklerin hemen hemen bütün türleri gazaltı ark (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 çeliklerin kaynatılması oldukça zordur. Paslanmaz çeliklerin diğer çeliklerden ayıran en önemli özellik krom içeriklerinin çok yüksek (%12) olmasıdır. Çeliğin yüzeyini kaplayan refrakter ve tönas kromoksit tabakası çeliğin korozyondan ve paslanmaktan korur. Östenitik, ferritik ve martensitik olarak üç ana grupta toplanan paslanmaz çeliklerin kaynağında ortaya çıkan metalürjik olaylar, çeliğin bileşimi ve soğuma hızı ile ilgili olduğundan, kaynak yönteminin türü bu konuda büyük bir etkide bulunmaz (Tülbentçi, 1990).

Paslanmaz çeliklerin gazaltı ark kaynağında, diğer çeliklere nazaran malzemenin ısı iletkenliğinin düşük, ısıl genişlemesinin 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 azalttığı için darbeli akım yöntemi çok geniş çapta uygulanmaktadır (Tülbentçi, 1990).

İnce sacların kaynatılmasında, zor pozisyonlarda ve geniş kök aralıklarında köprü kurmada kısa ark daha iyi sonuçlar vermektedir. Bu ark türü ile yapılan kaynakta % 90 helyum, % 7,5 Argon ve % 2.5 CO₂ karışım gazı kullanılmaktadır (Tülbentçi, 1990).

Saf argon veya % 1-2 O₂ içeren argon karışım gazları sprej ark ile kaynak yapmak için çok 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 kararlılığı daha iyi sağlanmaktadır.

CO₂, kaynak metalinde silisyum ve mangan kaybına ve karbon miktarının yükselmesine neden olduğundan paslanmaz çeliklerin kaynağında koruyucu gaz olarak kullanılmaz (Tülbentçi, 1990).

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 bir nüfuziyetli dikiş eldesine yardımcı olur ve acemi kaynakçılar bu yöntemle daha başarılı sonuçlar alırlar.

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

1. Martensitik paslanmaz çelikler.
2. Ferritik paslanmaz çelikler.
3. Östenitik paslanmaz çelikler.
4. Dupleks paslanmaz çelikler.

3.5.5.1. Martensitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı

Martensitik paslanmaz çelikler, %12-17 Cr ve % 0.1-1.2 C içerirler ve kritik soğuma hızları çok yavaş olduğundan sakin havada soğuma halinde bile yapıları martensit oluşur.

Bu çeliklerde ısının tesiri altında kalan bölgede ani soğumanın etkilerini yok etmek çok zor olduğundan kaynak kabiliyetleri çok zayıftır ve metalürjik yapılarından ötürü gerek elektrik ark gerekse de gazaltı ark kaynak yöntemleri ile birleşmelerinde ciddi sorunlar ortaya çıkar. Bu tür paslanmaz çeliklerin çok gereksinime duyulmadıkça kaynak edilmelerinden kaçınılmalıdır. Bu yüzden genellikle döküm yoluyla şekillendirilmeleri tercih edilir (Tülbentçi, 1990).

3.5.5.2. Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı

Ferritik paslanmaz çelikler % 16-30 Cr ve % 0.05-0.25 C içerirler ve bu bileşimlerinden ötürü iç yapılarında östenit oluşumu yok denecek kadar azdır ve soğuma esnasında östenit-ferrit dönüşümü yoktur, dolayısıyla su verme yolu ile sertleştirilemezler. Soğuma esnasında martensit oluşumu tehlikesi bulunmadığından, kaynak kabiliyetleri martensitik türe göre daha iyidir (Karasakal, 2005).

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. Ferritik çelikler normal olarak ince taneli sünek yapıya sahiptirler, iri taneli hale geçmesi durumunda yapı gevrekleşir, çentik darbe mukavemeti düşer, geçiş sıcaklığı yükselir ve bu iri taneleri de ısı işlemlerle tekrar ince hale getirmek mümkün değildir (Karasakal, 2005).

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 östenit bölgeleri oluşturur ve ortaya çıkan östenit, 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 mertebe kısa süre kalmalıdır, bu ise ancak kaynağın çok kısa pasolarla yapılması ve hemen soğutulması ile mümkündür. İri taneli yapı teorik olarak sıcak dövme 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, östenitik elektrod kullanılarak giderilebilir. % 0.1'den fazla C içeren esas metal halinde ise, % 25 Cr ve % 20 Ni içeren elektrodlar tavsiye edilir (Karasakal, 2005).

Bu tür çeliklerde ortaya çıkabilecek bir diğer olay da sigma fazının (σ) 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 (Karasakal, 2005).

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

Ferritik kromlu paslanmaz çeliklerin MIG kaynağı normal koşullarda doğru akımda elektrod (tel) pozitif kutba bağlanarak gerçekleştirilir. Bu tür paslanmaz çeliklerin kaynağında spray 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 (Tülbentçi, 1990).

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 östenitik ilave metal (tel) kullanıldığı zaman da avantajlıdır, zira düşük ısı girdisi ile % 10 ve daha düşük erime oranları elde edilir (Tülbentçi, 1990).

Sprey ark uygulamasında, ferritik kromlu paslanmaz çeliklerin ve farklı paslanmaz çeliklerin birleştirilmelerinde her zaman uygun östenitik ilave metal (tel) mevcut olmayabilir, zira spray ark genellikle büyük çaplı teller ve kısa ark halinden çok daha yüksek gerilim ve kaynak akımları gerektirir. Bu yöntem kısa arkla çalışmaya nazaran nüfuziyet azlığı ve kifayetsiz erimeye karşı daha emin sonuçlar verir; ancak yöntem normalde dikey ve yatay pozisyonlar için uygundur (Karasakal, 2005).

Darbeli ark uygulamasında daha büyük çaplı teller, bütün kaynak pozisyonlarında kullanılabilir ve kaynak banyosu daha iyi kontrol edilebilir. Bu uygulamada doldurma oranının spray 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 (Tülbentçi, 1990).

3.5.5.3. Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı

Bu tür paslanmaz çelikler bileşimlerinde % 12-25 krom ve % 8-25 Nikel içerirler. Nikel kuvvetli bir östenit yapıcı olduğundan, bu çeliklerde katılma esnasında ortaya çıkan östenit oda sıcaklığının altındaki sıcaklık derecelerinde dahi dönüşmeden kalır. Soğuma esnasında östenit 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:

- Isı iletme katsayıları oda sıcaklığında az alaşımlı ve sade karbonlu çeliklerin 1/3'ü kadardır.
- Isıl genleşme katsayıları sade karbonlu ve az alaşımlı çeliklerin takriben 1.5 mislidir, yani % 50 daha fazladır.
- Alaşımsız karbonlu çelikler düşük bir elektrik iletme direncine sahiptirler, bu tür paslanmaz çeliklerde ise bu değer 5 ilâ 7 misli daha büyüktür (Tülbentçi, 1990).

Bu özellikler dolayısı ile krom nikelli çeliklerin kaynağında, sade karbonlu çeliklerin kaynağından daha fazla kendini çekme meydana gelir. Kaynak dikişinin soğuması

esnasında büyük büzölmelerin 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 (Kutur, 2005).

Bu fiziksel olayların yanı sıra iki önemli metalürjik etken de krom nikelli östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağını zorlaştırır. Bunlardan birincisi delta ferrit fazının oluşumu, diğeri ise karbür ökilmesi olayıdır (Kutur, 2005).

Krom nikelli östenitik paslanmaz çelikler sıvı halden itibaren katılaşımaya başlayınca östenit ve delta ferrit (δ) taneleri oluşur. Bu ferrit östenitin dönüşümü sonucunda ortaya çıkan ferritten farklıdır. Katılama normal olarak endüstride ingota dökölen bir sıvı metalin katılmasında görölen bir hızla seyrettiğı zaman bu tür çeliklerin yapısı östenit taneleri arasına serpiştirilmiş δ ferrit taneciklerinden oluşur, delta ferrit bu malzemeyi sıcak dövme ve haddeleme için uygun olmayan bir duruma sokar; sıcak şekil değıştirme esnasında malzemedede çatlaklar oluşur. Bu olaya mani olabilmek için, katılan krom nikelli östenitik paslanmaz çeliklerde soğumanın çok yavaş bir hızla seyretmesi gereklidir. Bir başka çözüm yolu da bu eliğın uzun bir süre 1150°C'de tavlanması ve hızlı soğutulmasıdır. Östenit yapıcı elementler olan nikel ve mangan miktarının eliğın bileşiminde artması δ ferrit oluşum olasılığını zayıflatır (Kutur, 2005).

Östenitik krom nikelli paslanmaz çelikler oda sıcaklığında ve daha düşük sıcaklıklarda mutlak olarak içyapı bakımından kararlı değıillerdir. Bu eliklerde aşırı soğuk şekil değıştirme, özellikle dövme sonucunda kısmen martensitik bir yapı elde edilebilir (Kutur, 2005).

Özellikle 18/8 türü gibi bazı krom nikelli östenitik paslanmaz elikler 450°C ilâ 850°C arasında bir sıcaklığa kadar ısıtılıp o sıcaklıkta tutulduklarında bir karbür ökilmesi meyli kendini gösterir. Bu tür çelikler eldeleri sırasında krom ve karbonun östenit içinde özöldüğü 1100°C sıcaklığından itibaren hızla soğutulurlar; bu şekilde bu elementlerin ökölme tehlikesi ortadan kalkmış olur ve oda sıcaklığında da karbonun difüzyon hızı çok düşük olduğundan, servis esnasında karbür ayrışmasının meydana gelme olasılığı yoktur. Sıcaklığın 450°C'nin üzerine çıkması ile karbonun difüzyon 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 bulursa, 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 kullanılmaz hale getirebilir; çeliğin karbon içeriği arttıkça da bu olay şiddetlenir (Kutur, 2005).

Krom-nikelli östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağı esnasında eriyen bölge çok kısa bir zamanda katılaşıp hızla soğuduğundan ve elektrod olarak kullanılan alaşımların karbon içeriği de çok düşük olduğundan, kaynak metali için karbür çökeltme 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, östenit tane sınırlarında tanelerarası korozyonun başlamasına neden olacak ve karbür çökeltmesi olayı meydana gelecektir.

Belli bir karbon içeriği için, karbür çökeltmesi olayının şiddeti sıcaklık ve zamana bağlıdır. Çökeltme başlamadan evvel sıcaklıkla değişen bir kuluçka periyodu vardır, sıcaklık ve çeliğin karbon içeriği arttıkça bu süre kısalmır. Her karbon içeriği için, karbür çökeltme olayının en kısa süre zarfında başladığı bir sıcaklık vardır ve buna kritik sıcaklık denir (Tülbentçi, 1990).

Çizelge 3.6. Karbon oranına göre kritik sıcaklık ve kuluçka periyodu (Tülbentçi, 1990).

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

Tek paso ile yapılan elektrik ark kaynağında 650°C ila 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 (Tülbentçi, 1990).

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 östenitik paslanmaz çeliklerin karbon içeriği azami % 0.6, tercihen % 0.03 civarında olmalıdır (Tülbentçi, 1990).

Bu konuda uygulanan bir başka yöntem de çeliğin stabilizasyonudur. Bu da, karbonun kroma karşı afinitesinden daha yüksek bir afiniteye sahip bir elementin, çeliğin bileşimine katılması ile gerçekleştirilir; bu şekilde çeliğin bileşimindeki karbonla bu yeni element karbür oluşturur ve dolayısı ile içyapının bazı bölgelerinde ortaya çıkan krom azalması meydana gelmez. Stabilizasyon için ilave edilen elementler titanyum, niobyum ve tantaldir. Bunların oluşturduğu karbürler, tane sınırları boyunca değil, östenit 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 (Tülbentçi, 1990).

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 (Tülbentçi, 1990).

Kaynak dikişinde ısının tesiri altında kalan bölgede veya esas metalde karbür çökmesinin 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 tavlanylabilir, suya sokularak aniden soğutulursa, yüksek sıcaklıkta östenit 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 ısıl işlemin uygulanması pek pratik değildir (Tülbentçi, 1990).

Ferritik paslanmaz çelikler ile % 9'dan daha az nikel içeren östenitik 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 metaller arası bir bileşiktir; bileşimi takriben % 52 Cr ve % 48 Fe'den ibarettir ve 550°C ila 925°C arasındaki sıcaklıklarda meydana gelir. Östenitik çeliklerde bu fazın meydana gelebilmesi için, östenitik 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 işlem sigma fazının da yok olmasını sağlar. Östenitik paslanmaz çeliğe daha önceden bir homojenizasyon tavı uygulanmış ve içindeki ferrit miktarı % 6.5'in altına düşürülmüş ise, kaynak bölgesinde oluşacak sigma fazı bu bölgenin özelliklerine olumsuz bir etkide bulunmaz (Tülbentçi, 1990).

Kaynak metali daima bir miktarda eriyen esas metali içerdiğinden, bileşimi elektrod bileşimi yardımı ile belirlenemez. Esas metalin ve elektrodun bileşimleri bilirse, bunların kaynak esnasındaki karışımları yaklaşık olarak tahmin edilebilir ve Schaeffler diyagramı yardımı ile de içyapıları tesbit edilebilir (Kutur, 2005).

Paslanmaz çeliklerin yumuşak çeliklerle kaynakla birleştirilmesi endüstride çok sık rastlanılan bir olaydır. Bu gibi hallerde martensitik yapının oluşmaması için evvela karbonlu çeliğin kaynak ağzı yüksek alaşımli bir östenitik elektrodla kaplanır (% 25 Cr, % 20 Ni) ve sonra normal bir östenitik elektrodla kaynak dikişi doldurulur (Kutur, 2005).

Krom - nikelli paslanmaz çeliklere de bir gerilme giderme tavlama kaynaktan sonra zaman zaman uygulanır, tav sıcaklığı bu tür çeliklerde 800°C ila 925°C arasında seçilir, doğal olarak bu tav karbür çökme ve sigma fazı oluşumu tehlikesi olmayan türden östenitik paslanmaz çeliklere uygulanır (Kutur, 2005).

Östenitik paslanmaz çeliklerin MIG kaynağında, yeterli asal gaz koruması altında ilave metalin arkta taşınımı esnasında alaşım elementlerinin kaybı çok azdır ve titanyum gibi reaktif elementler dahi arkla kaynak banyosuna iletilebilir. Bu bakımdan bu yöntemde östenitik krom-nikelli ve titanyum ile stabilize edilmiş kaynak ilave metallerinin kullanılması mümkündür. Argon gazı koruması altında, % 95'in üzerinde bir geçiş verimi sağlanır (Kutur, 2005).

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 buda aşırı sıçramalara ve ark dengesizliğine neden olur; dengeli bir spreyc ark için akım değeri 1.6 mm. tel çapı için 300 A civarında seçilmelidir (Kutur, 2005).

Östenitik 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 spreyc ark halinden daha düşük olduğundan çarpılmalar da minimum seviyede oluşur (Kutur, 2005).

Östenitik 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, spreyc 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, östenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin kaynağı için tavsiye edilmez (Tülbentçi, 1990).

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 (Tülbentçi, 1990).

3.5.5.4. Dupleks Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı

Bu çelikler çok iyi korozyon direncinin yanında, östenitik çeliklere kıyasla daha yüksek dayanca sahiptirler. Bunlar, korozif yükleme altında konstrüksiyonun mümkün olduğunca hafif ve et kalınlığının mümkün olduğunca ince tutulmasının gerektiği çelik konstrüksiyonlarda gittikçe artan miktarlarda kullanılmaktadır (Anonim, 2008).

Dupleks paslanmaz çelikler, her biri farklı kimyasal bileşime sahip ve farklı yapıdaki iki farklı fazdan ($\gamma+\alpha$) meydana gelmektedirler. Östenit (γ) ve ferritin (α) çok düşük sıcaklıklara kadar dahi kararlı biçimde yan yana bulunduğu bu heterojen iç yapı

için çoğunlukla dubleks çelik terimi kullanılır. Bu çeliklerin oda sıcaklığında iki fazlı bir iç yapıya sahip olduklarının işareti, yüksek oranda krom ve düşük oranda nikel içermeleridir. Saf östenitik ve saf ferritik çeliklerin özellikleri bu malzemede beraber bulunmaktadır (Çam, 2011).

Ferrit miktarına bağlı olarak, bu çelikler kuvvetli veya zayıf düzeyde manyetikler. Östenitik çeliklere kıyasla, bu çeliklerin ısıl genleşmesi daha az, ısı iletkenlikleri ise daha iyidir. Dubleks çelikleri soğuk sertleşmeye aşırı eğilimlidirler.

Bu çelikler, özellikle karbon oranı $< \%0.03$ olan türler ve N oranı $\%0.05$ ila $\%0.3$ olanlar genel anlamda kaynak verilerine bakıldığında kaynağa uygundur. Buna karşın, iki iç yapı türünün ve dolayısıyla bunların avantaj ve dezavantajlarının aynı anda mevcut olacağını dikkate almak gerekir (Anonim, 2008).

Ferritin şekillendirilebilme kabiliyetinin düşük olması sebebiyle ve ana metal – kaynak metali karışması ile yüksek oranda ferrit oluşmasını engellemek için, saf kaynak metalinin ferrit oranı $\%60$ 'ın altında olması gerekmektedir. Ferrit oranının artmasıyla iri tane oluşumu ve buna bağlı olarak gevrekleşme tehlikesi ortaya çıkmaktadır. Bunu önlenmesi için malzeme kalınlığına bağlı olarak 150°C civarında bir ön ısıtma uygulanmalı ve 1200°C 'den 800°C ' soğuma süresi 10 saniyenin altına düşmemelidir.

Östenit miktarı arttıkça sıcak çatlama tehlikesi artmaktadır. Bu nedenle, pasolar arası sıcaklık 200 ile 150°C arasında sınırlandırılmıştır.

Çarpılmalar fazla olduğundan dolayı kaynak ağız aralıklarının daha büyük tasarlanması zorunludur (Anonim, 2008).

Oksitlenmiş punta yerleri, ark çarpmaları ve kaynak sıçrantıları taşlanarak temizlenmelidir, bunların üzerine kaynak yapılması sakıncalıdır.

Renklenme bölgeleri giderilmelidir. Sadece özel olarak eğitim almış kaynakçılara görev verilmelidir.

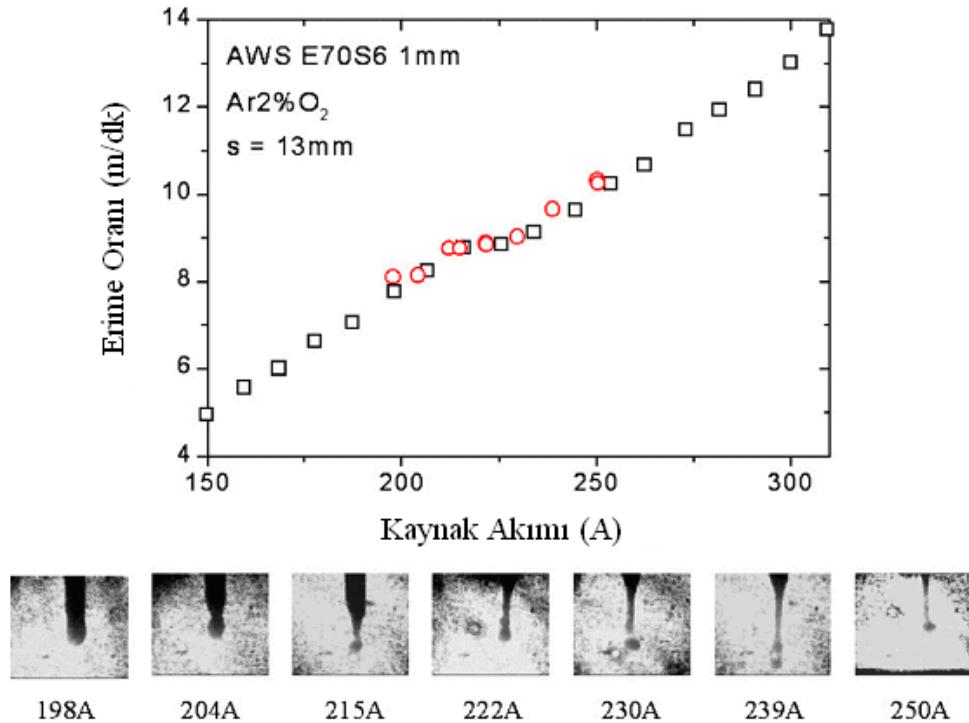
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Kaynağa Etki Eden Parametreler (Deneysel Çalışmalar)

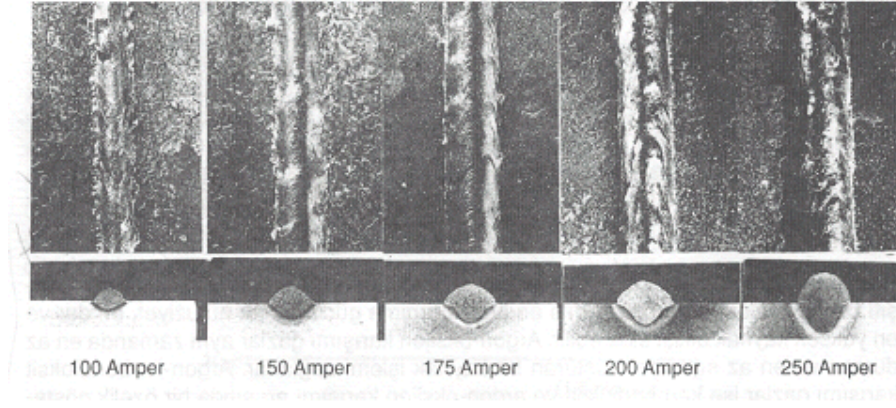
Bu bölümde daha önceden yapılmış çalışmalardan alıntılar yapılarak deney sonuçları ve grafikleri değerlendirilecektir.

4.1.1. Tel Erime Hızı ve Akım Şiddeti Arasındaki İlişki

Kaynakta kullanılan akım şiddetinin erime gücüne, kaynak dikiş biçim ve boyutlarına ve nüfuziyete etkisi diğer bütün parametrelerden daha şiddetlidir. Sabit gerilim sistemli olan gazaltı ark kaynak makinalarında, kaynak akım şiddeti tel hızı ile beraberce, tel hız ayarı düğmesinden ayarlanır, tel ilerleme hızı arttıkça, kaynak akım şiddeti de artar aynı zamanda tel erime hızı da artar. Şekil 4.1'de görüldüğü gibi akım değeri arttıkça teldeki erime hızı da artmaktadır.



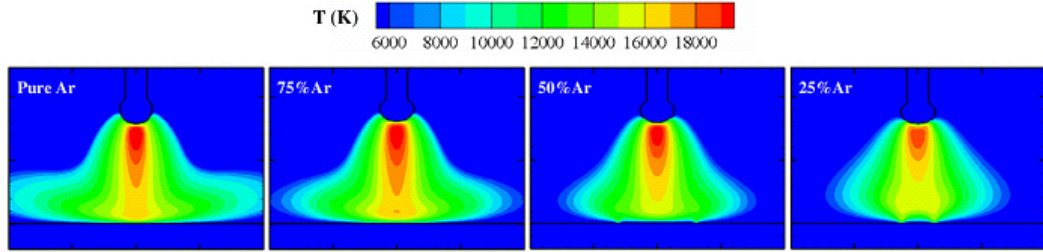
Şekil 4.1. Akımın değişmesiyle tel erime hızının değişimi (Modenesi ve Reis, 2007).



Şekil 4.2. Akım şiddetinin, kaynak dikişinin biçim ve boyutlarına etkisi (Kurşun ve Kılık, 2002).

4.1.2. Gaz Türünün Arkın Şekline Etkisi

Gazaltı ark 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 arktaki transfer şekline ve elde edilen bağlantının mekanik özelliklerine etkisi vardır.

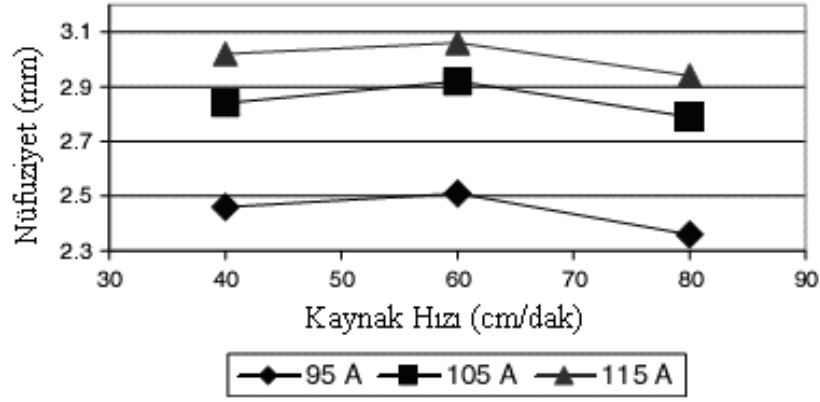


Şekil 4.3: Saf argon ve karışım gazında arkın değişimi (Rao ve ark., 2010).

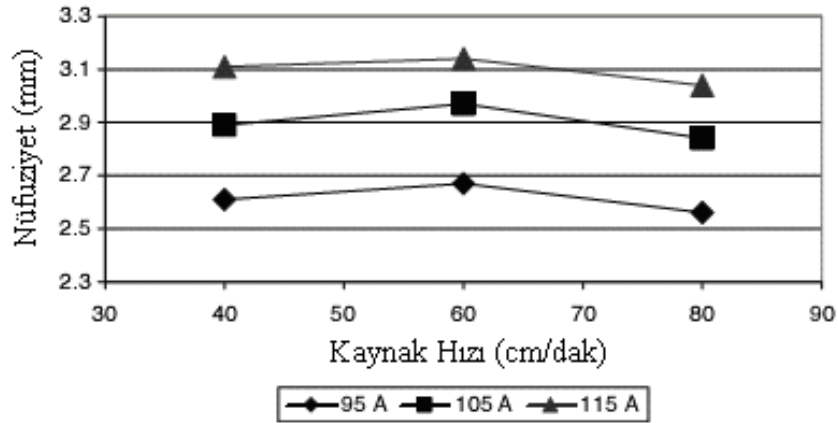
4.1.3. Kaynak Hızının Etkisi

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

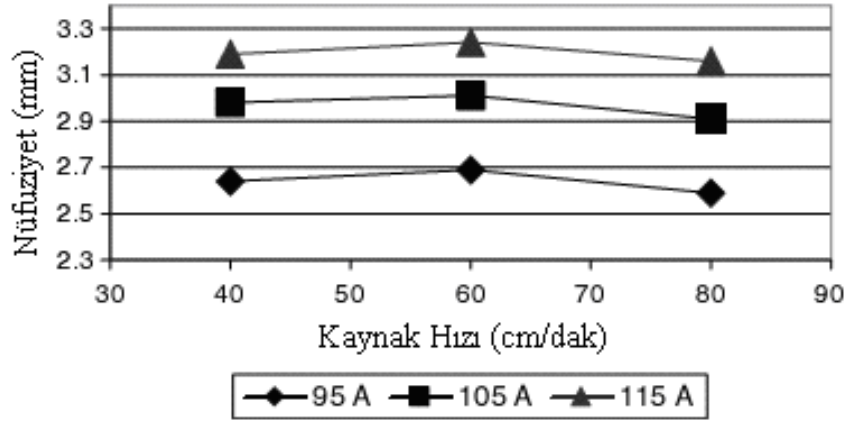
En derin nüfuziyet kaynak hızının optimum değerinde elde edilir ve bu hızın yavaşlaması veya artması hallerinde ise nüfuziyet azalır.



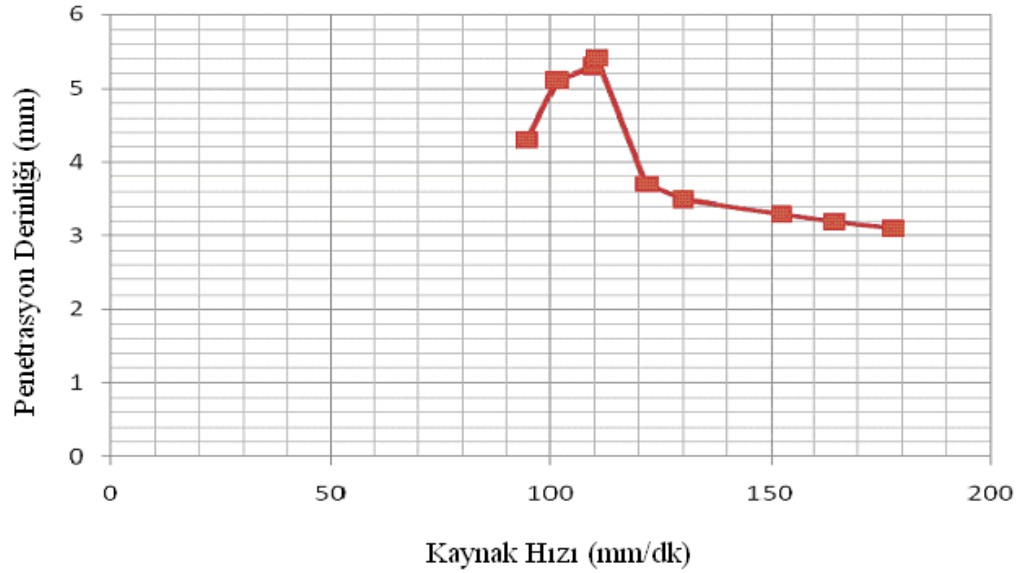
Şekil 4.4. 22 V için çeşitli akım değerlerinde nüfuziyet derinliği (Karadeniz ve ark., 2005).



Şekil 4.5. 24 V için çeşitli akım değerlerinde nüfuziyet derinliği (Karadeniz ve ark., 2005).



Şekil 4.6. 26 V için çeşitli akım değerlerinde nüfuziyet derinliği derinliği (Karadeniz ve ark., 2005).



Şekil 4.7. Kaynak hızının nüfuziyete etkisi (Tevari ve ark., 2010).

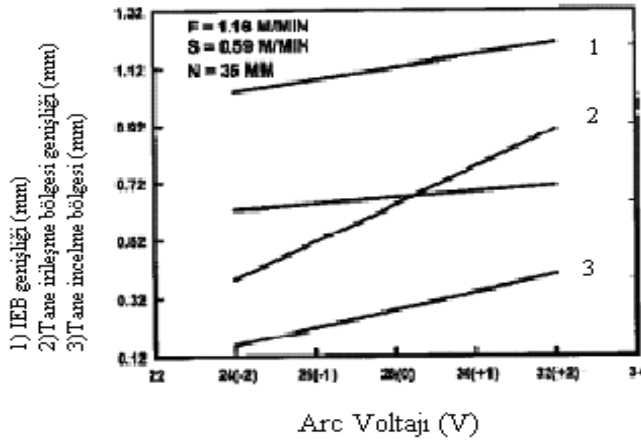
Çizelge 4.1. Ark gerilimi ve akımın sabit kalması durumunda kaynak hızının nüfuziyete etkisi (Tevari ve ark., 2010).

Sıra No	Ark Gerilimi (V)	Akım (A)	Ark zamanı (sn)	Kaynak Hızı (mm/dk)	Isı Girdisi (J/mm)	Nüfuziyet (mm)
1	24	105	25.40	94.48	1600.30	4.3 mm
2	24	105	23.60	101.43	1490.68	5.1 mm
3	24	105	21.90	109.58	1379.81	5.3 mm
4	24	105	21.74	110.39	1369.68	5.41 mm
5	24	105	19.70	121.82	1241.17	3.7 mm
6	24	105	18.47	129.94	1163.61	3.5 mm
7	24	105	15.76	152.28	992.90	3.3 mm
8	24	105	14.60	164.38	919.82	3.19 mm
9	24	105	13.50	177.77	850.53	3.10 mm

4.1.4. Kaynak Geriliminin Etkisi

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

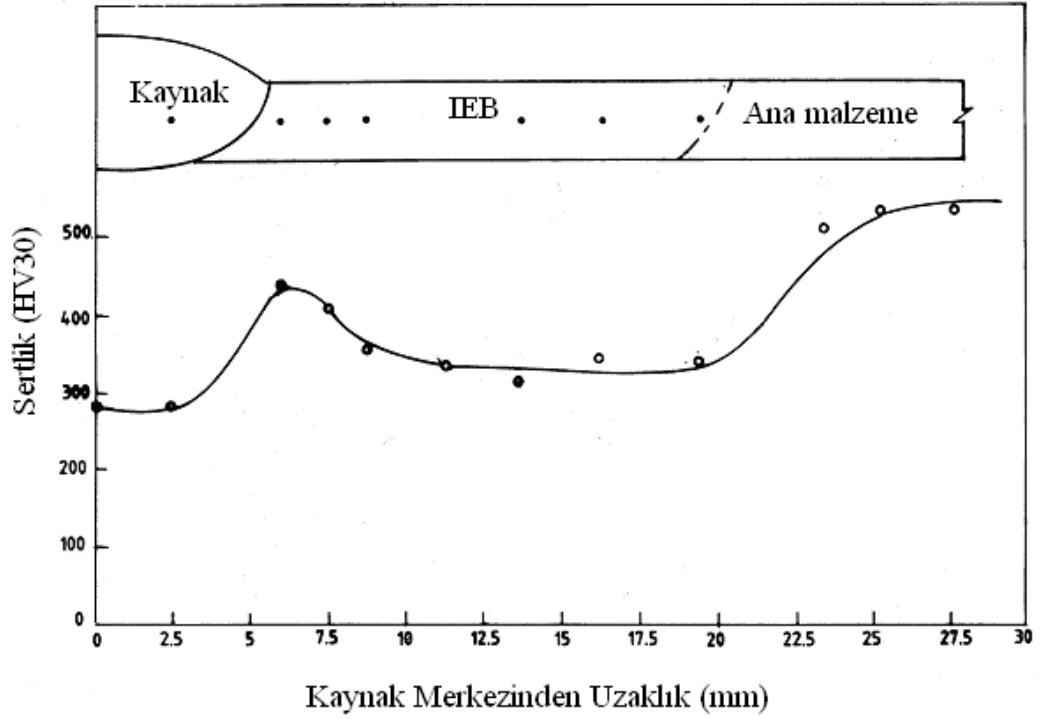
Nüfuziyet artan ark gerilimi ile bir optimum değere kadar artar ve bu değerden sonra azalmaya başlar. Yüksek ark gerilimi, nüfuziyetin azlığı dolayısıyla bazı geniş aralıklarda kök pasoda köprü kurabilmek için kullanılır. Çok küçük ark gerilimi çok dar ve şişkin kaynak dikişlerinin oluşmasına, aşırı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



Şekil 4.8. Ark geriliminin kaynak genişliğine etkisi (Srivastava ve ark., 2010).

4.1.5. Kaynağın Mekanik Özelliklere Etkisi

Kaynak sırasında ısınma ve soğumalar sonucu metalürjik iç yapıların değişmesiyle birlikte malzemenin mekanik özellikleri de değişmektedir. Şekil 4.9'da malzemenin kaynak sonrası sertlik değerleri görülmektedir.



Şekil 4.9. Gazaltı ark kaynak yöntemi ile kaynatılmış malzemenin kaynak bölgesi ve ıstıdan etkilenmiş bölgenin sertlik değışimi (Reddy ve ark., 1998).

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Gazaltı ark kaynak yöntemi, kaynağa uygun metallerin hemen hepsine uygulanabilen bir yöntemdir. Yöntemin en önemli özelliklerinden biri yüksek seviyede eritme gücü ve kaynak hızlarına ulaşabilmekte ve bununla beraber yeterli dikiş kalitesi elde edilebilmektedir.

Yöntem robot uygulamalarına da kolaylıkla mekanize edilebilir. Yöntemin diğer kaynak yöntemleriyle kıyaslandığında birçok avantajı mevcuttur. Aralıksız kaynak yapabilme, kaynak sonrası ve pasolar arası temizlik için sarf edilen zamanın çok kısa olması.

Alaşımız ve az alaşımlı çeliklerin seri imalat kaynaklarında, kaynakçıdan beklenenler nispeten azdır. Fakat yüksek alaşımlı çelikler ve demir dışı malzemelerin kaynağında, kaynakçının ileri seviyede eğitim almış olması gerekmektedir.

Bunun yanı sıra dikiş başlangıç ve bitiş noktalarında hatalardan her zaman kaçınmak mümkün değildir. Kaynak hızı ve parametreleri uygun değerlere olması gerekmektedir. Hava cereyanı olan yerlerde kaynakta sıkıntılar olabilmekte ve kapalı yerlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Gazaltı ark kaynağı çeliklerin her çeşidine uygulanabilen bir yöntemdir. Dikkat edilmesi gereken hususlar çelik çeşidine göre değişmektedir. İnce taneli yapı çeliklerinde t8/5 süresinin kısılması problem oluşturmaktadır. Bunun dışında ön ısıtma sıcaklığı, hat enerjisi ve gerektiğinde ıslah pasoları uygulanmalıdır.

Paslanmaz çeliklerde ise ferritik yapıda olanlarda tane büyümesine ve sigma fazının oluşumuna dikkat edilmelidir. Ayrıca 475°C gevrekleşmesinden de kaçınmak lazımdır.

Östenitik paslanmaz çeliklerde ise delta-ferrit fazının oluşumu ve karbür çökmesi en önemli sorunlardır. Bu tür çeliklerde kaynak sonrası büzülmelerinde çok olacağı ve iç gerilmelerin çatlama riskini arttıracığı göz önünde bulundurulmalıdır.

Dubleks paslanmaz çeliklerde ise özellikle karbon oranı < %0.03 olan türleri ve N oranı %0.05 ila %0.3 arasında olanlar genel anlamda kaynak verilerine bakıldığında kaynağa uygundur. Ferrit fazının artmasıyla (1 olması gereken ferrit:östenit oranının değişmesi=östenitin azalması) iri tane oluşumu ve buna bağlı olarak gevrekleşme tehlikesi ortaya çıkmaktadır. Bunu önlenmesi için malzeme kalınlığına bağlı olarak

150°C civarında bir ön ısıtma uygulanmalı ve 1200'den 800°C' soğuma süresi 10 saniyenin altına düşmemelidir.

Genel olarak kıyaslandığı zaman ilk yatırım da göz önünde bulundurulacak olursa gazaltı ark kaynak yönteminin birçok avantajı vardır. Dolayısıyla, bu yöntem ülkemizde ve dünyada çeliklerin kaynak işlemlerinde en çok kullanılan kaynak yöntemlerinden biridir.

Gazaltı kaynağının pratikte çeliklere uygulanmasının daha da artırılması için özellikle yeni geliştirilen ince taneli yapı çelikleri gibi çelik türlerinde bu yöntem ile kaliteli birleştirmeler elde edildiğinin ortaya konması oldukça önemlidir. Bu konuda deneysel çalışmalar yapılması faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Aichele, G. ve Smith, A.A., 1975. **MAG – Schweissen**. DVS – Verlag, 1-193, Düsseldorf.
- Anonim, 2008. **Kaynak Mühendisliği Ders Notları**. ODTÜ, Ankara.
- Anonim, 2010. **Kaynak Mühendisliği Ders Notları**. GSI-SLV-TR, Ankara.
- Akyol, C, 1994. **Çelik Konstrüksiyonlarda Malzeme, Kaynak Yöntemi ve Konstrüksiyon İlişkisinin İncelenmesi**. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, 1-48, İstanbul.
- Bos, E, 2007. **Ark Esaslı Kaynak Yöntemleriyle Kaynak İşleminde Isı Tüketimi ile Malzeme/Kalınlık İlişkisinin İncelenmesi**. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, 1-83, İstanbul.
- Çam G., 2011. **Friction Stir Welded Structural Materials: Beyond Al-Alloys**. Int. Mater. Rev., 56 (1), 1-48
- Durmuşoğlu, Ş., 2006. **Gazaltı Kaynağında Kaynak Kalitesine Tesir Eden Parametrelerin Mekanik Özelliklere Etkisi**. Yüksek Lisans Tezi. Kocaeli Üniversitesi, 1-101, Kocaeli.
- Erengin, A, 2009. **Ark Esaslı Kaynak Yöntemleriyle Yapılan Uygulamalarda, Kutuplama Durumu ile İlave Malzeme – Ergime Verimi İlişkisinin İncelenmesi**. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, 1-30, İstanbul.
- Eryürek, İ., B., 1998. **Gazaltı (MIG/MAG) Kaynağı**. 1-82, Eczacıbaşı, İstanbul.
- Fischer, H. ve Baum, L., 1977. **Der Schutzgasschweisser, Teil 1/2**. 1-78, Germany.
- Geçmen, İ., 2006. **Çeliklere Gazaltı Kaynağının Uygulanması**. Yüksek Lisans Tezi. Marmara Üniversitesi, 1-69, İstanbul.
- Güner, M., 2007. **Mag Kaynağında Elektrod Tipinin (Çıplak Tel – Özlü Tel) Kaynak Dikişi Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi**. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, 1-73, İstanbul.
- Kahraman, F., 2002. **Masif ve Özlü Telle Yapılmış Gazaltı Kaynak Dikişlerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi**. Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi, 1-63, İzmir.
- Karadeniz, E., ve ark., 2005. **The Effect of Process Parameters On Penetration In Gas Metal Arc Welding Process**. Materials & Design, 649-656.

- Karasakal, E, 2005. **Ferritik, Östenitik, ve Stabilize Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyetlerinin Araştırılması ve Karşılaştırılmalar.** Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, 54-74, İstanbul.
- Kayakök, V, 2009. **Tozaltı ve MAGC Kaynak Yöntemlerinde Kaynak Ağzı-Nüfuziyet İlişkisinin İncelenmesi ve Ekonomik Yönden Kıyaslanması.** Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, 1-62, İstanbul.
- Kurşun, T ve Kılık, R, 2002. **MIG-MAG Kaynak Tekniğinde Tel İlerleme Hızının Akım Şiddeti ve Dikiş Boyutuna Olan Etkisi.** 10. Uluslararası Makina Tasarım ve İmalat Kongresi, 35-44, Kapadokya.
- Kutur, G, 2005. **Çeşitli Malzeme ve Alaşımlara Uygulanabilir Kaynak Yöntemleri.** Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, 1-116, İstanbul.
- Modenesi, P:J ve Reis, R.I, 2007. **A Model For Melting Rate Phenomena in GMA Welding.** Journal of Processing Technology, 199-205, Brazil.
- Ören, E., 2002. **MAG Kaynağında Kaynak Parametrelerinin İçköşe Dikiş Geometrisine Etkisi.** Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, 1-68, İstanbul.
- Rao, Z.H., ve ark., 2010. **Modeling of The Transport Phenomena in GMAW Using Argon-Helium Mixtures. Part I – The Arc.** International Journal of Heat and Mass Transfer, 5708-5721, USA.
- Reddy, G.M., ve ark., 1998. **Effect Of Welding Process On The Ballistic Performance Of High-Strength Low-Alloy Steel Weldments.** International Journal of Engineering Science and Technology, 27-35, India.
- Srivastava, B., ve ark., 2010. **A Review On Effect Of Arc Welding Parameters On Mechanical Behaviour Of Ferrous Metals/Alloys.** International Journal of Engineering Science and Technology, 1425-1432, India.
- Tevari, S.P., ve ark., 2010. **Effect Of Welding Parameters On The Weldability Of Material.** International Journal of Engineering Science and Technology, 512-516, India.
- Tülbentçi, K., 1990. **MIG/MAG Eriyen Elektrodla Gazaltı Kaynağı.** Gedik Eğitim Vakfı, 1-203, İstanbul.
- Türkkan, G., 2008. **Gaz Debinin Kaynak Nüfuziyeti ve Kaynak Hızına Etkisi.** Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi, 1-53, İzmir.

Yüksekkaya, U, 1996. **Çeliklerin Kaynağında Kaynak Kabiliyeti – Isıl İşlem İlişkisinin İncelenmesi**. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, 1-103, İstanbul.

TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması ve yüksek lisans eğitimim süresince desteklerini esirgemeyen değerli danışman hocam sayın Prof. Dr. Gürel ÇAM'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarım süresince desteklerinden dolayı değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Selçuk MISTIKOĞLU'na en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme de en içten teşekkürlerimi sunarım.

ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında Boğazlıyan'da doğdum. İlk orta ve lise eğitimini Antakya'da tamamladım. 2002 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği eğitimime başladım ve 2007 yılında bitirdim. 2008 yılında Uluslararası Kaynak Mühendisliği eğitimini alıp İskenderun'da özel bir firmada 2 yıla yakın çalıştım.