

OERLIKON KAYNAK ELEKTRODLARI VE SANAYİ A.Ş.

www.oerlikon.com.tr

DÖKME DEMİRLER
VE
DÖKME DEMİRLERİN KAYNAĞI

Derleyen: MELİKE MİHRAN CAVCAR

Şubat, 1996

İÇİNDEKİLER:

DÖKME DEMİRLER.....	2
1.DÖKME DEMİRLERİN TÜRLERİ VE UYGULAMA ALANLARI.....	5
1.1. BEYAZ DÖKME DEMİRLER VE UYGULAMA ALANLARI.....	5
1.2. GRİ DÖKME DEMİRLER VE UYGULAMA ALANLARI.....	5
1.3. TEMPER DÖKME DEMİRLER VE UYGULAMA ALANLARI.....	7
1.4. KÜRESEL DÖKME DEMİRLER VE UYGULAMA ALANLARI.....	8
2. DÖKME DEMİRLERİN KAYNAĞI.....	9
2.1. KAYNAK KABİLİYETİ.....	10
2.1.1. Dökme Demirlerin Kaynağında Problem Yaratıcı Etmenler.....	10
Kaynak Metali.....	10
Kaynak Bölgesi.....	10
Isıdan Etkilenen Bölge.....	11
Kaynak Gerilimleri.....	11
Gözenek.....	11
2.1.2. Grafit Şeklinin Etkileri.....	12
2.1.3. İlave Metalin Etkisi.....	14
2.1.4. Ön Isıtma.....	13
2.1.5. Yüzey Nüfuziyeti.....	16
2.1.6. Kaynak Sonrası Isıl İşlem.....	16
2.1.7. İlave Metal Seçimi.....	17
2.2. ARK KAYNAĞI.....	18
2.2.1. Kaynak Tasarımı.....	18
2.2.2. Örtülü Elektrod Kaynağı.....	18
Nikel Alaşımli Elektrodlar.....	18
Hafif Alaşımli Çelik Elektrodlar.....	24
Gri Demir Elektrodlar.....	24
Bakır Alaşımli Elektrodlar.....	24

2.3. GRİ VE TEMPER DÖKME DEMİRLERİN KAYNAĞI.....	25
2.3.1. Elektrod Seçimi ve Kaynak Prosedürü.....	25
Küçük Parçalar.....	25
Büyük Parçaların Ön Isıtma Kaynağı	26
Büyük Parçaların Ön Isıtmasız Kaynağı.....	26
Su Sızdırmaz Kaynaklar.....	26
Hataları Düzeltme.....	26
Çeliğin Dökme Demire Kaynağı.....	26
2.3.2. Tamir Kaynağı İçin Hazırlıklar.....	27
Çatlakların Belirlenmesi.....	27
Birleştirilecek Bölgenin Temizlenmesi.....	27
Kaynak Ağzının Hazırlanması.....	28
Ön Isıtma ve Son Isıtma.....	28
Ön Isıtmasız Kaynak.....	28
Ana Metal Karışımı.....	28
Çekme Kontrolü.....	29
Yüksek Grafitli Dökümler.....	29
Sıvama.....	29
Saplama.....	29
2.4. KÜRESEL DÖKME DEMİRLERİN KAYNAĞI.....	31
3. ÖRNEKLER.....	32
3.1. Dökme Demir Dişli Yuvasının Tamiri.....	32
3.2. Dikey Torna Kulesinin Tamiri.....	33
KAYNAKÇA.....	34

DÖKME DEMİRLER

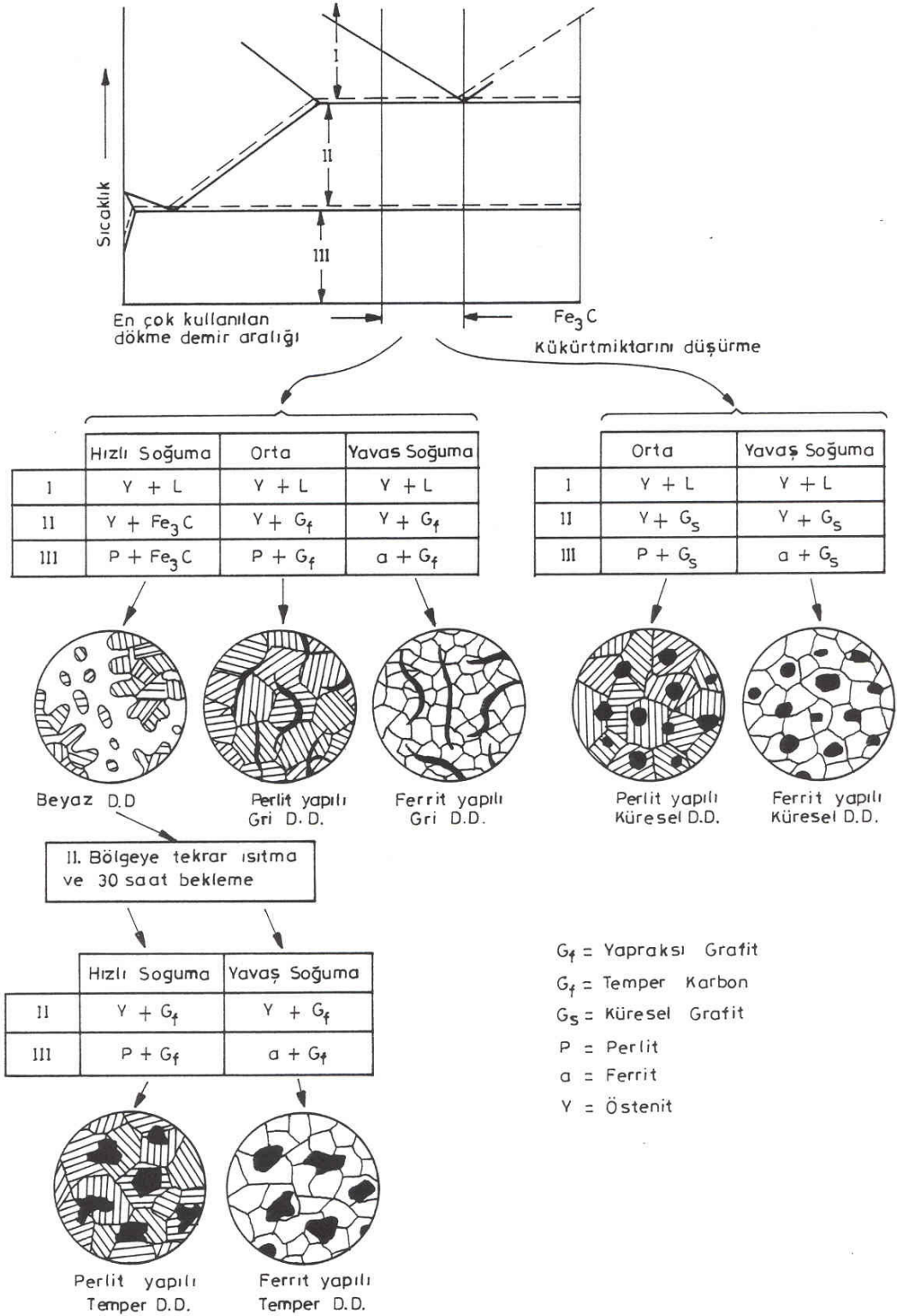
%2' den daha fazla karbon, %1 ile %3 arasında silisyum ve bunların yanında fosfor ve kükürt içeren demir alaşımlarına **dökme demir** denir [1]. Dökme demirlerde daima serbest karbon veya demir-karbür bulunur, bileşenlerden birinin yada her ikisinin birden bulunması bu alaşımların istendiği gibi sıcak işlenebilirlik özelliklerini yitirmesine yol açar [2]. Bu nedenle bu tür alaşımlar döküm işlemiyle şekillendirilir [2]. Mukavemet, sertlik ve korozyon dayanımı gibi özelliklerini iyileştirmek amacıyla krom, bakır, molibden ve nikel gibi alaşım elementleri katmak mümkündür [1].

Dökme demirlerin tokluğu ve sünekliği çeliklere göre düşük olduğundan kullanım alanları sınırlıdır . Dökme demirlerin mekanik özellikleri mikroyapı tipine bağlı olduğu gibi mikroyapıyı oluşturan fazların şekil ve dağılımına da bağlıdır. Mikroyapı oluşturan ve mekanik özellikler üzerinde önemli bir etkisi olan fazlardan biri serbest karbondur (grafit). Grafitlerin şekli, miktarı dökme demirlerin mukavemet ve sünekliğini etkiler. Buna göre de dökme demirler parlatılmış yüzeylerde görülebilen grafit karakteristiğine göre sınıflandırılabilir [1].

Dökme demirlerin mekanik özelliklerinde, grafit parçalarını saran ana fazın yapısı da etkilidir. Matris (ana yapı) temel olarak çeliktir. Bu çelik yapı ferrit, perlit, östenit veya martensit olabilir. Dökümlerdeki ana faz ve karbonun bulunduğu biçim, kimyasal kompozisyona, soğuma hızına ve gördüğü ısı işleme göre değişir. Dökme demirlerin dört ana tipi gri dökme demir, temper dökme demir, küresel dökme demir ve beyaz dökme demirdir. Kimyasal kompozisyonları Tablo 1'de verilmiştir. Dökme demirlerin özelliklerini geliştirmek amacıyla tavlama, temperleme, östenitleme ve menevişleme ısı işlemleri ile anayapı içinde istenen mikroyapı oluşturulur [1] (Şekil 1).

Tablo 1. Dökme demirlerin kimyasal kompozisyonları (%)

	Toplam C	Si	S	P	Mn	Fe
Beyaz D.D.	2.5-4.0	0.4-1.6	0.15	0.4	0.3-0.8	Kalan
Gri D.D.	2.0-4.0	en az 1.0	0.2	0.6	en çok 1.0	Kalan
Temper D.D.	2.0-3.0	0.9-1.8	en çok 0.2	en çok 0.2	0.25-1.25	Kalan
Küresel D.D.	3.2-4.1	1.8-2.8	en çok 0.03	en çok 0.1	en çok 0.8	Kalan



Şekil 1. Dökme demirlerin mikroyapıları ve çeşitli sıcaklıklarda dökme demirlerde bulunan fazlar [3].

1. DÖKME DEMİRLERİN TÜRLERİ VE UYGULAMA ALANLARI

1.1. BEYAZ DÖKME DEMİR (WHITE CAST IRON)

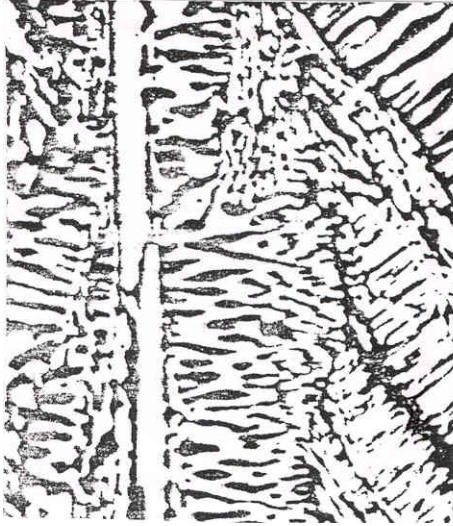
Kır dökme demir, kalıp içine dökülen demirin hızlı soğuma sonucunda karbonun yapının içinde kalması halinde oluşur [4]. Soğuma hızı gri dökme demirde olduğu gibi karbonun grafit yaprakları şeklinde çökmesine izin vermez [4] fakat karbon, demir, krom yada molibdenle birleşerek karbür oluşturur [1]. Oluşan demir karbon (Fe_3C -sementit), sert ve kırılmandır [1]. Dökme demir çoğunlukla bu sementit parçacıklarından kırılır [2]. Kırık yüzeye bakıldığında açık yada ak renkli görülür, bu nedenle bunlara **beyaz dökme demir** denir [2]. Beyaz dökme demirlerin mikroyapısı Şekil 2'de gösterildiği gibidir. Dökümde yüksek oranda demir-karbür oluşur ve yapı, gri dökme demir kimyasal kompozisyonuna sahip olunmasına rağmen gri dökme demire göre daha sert ve kırılman olur [4]. Beyaz dökme demirler normalde kaynak edilemezler çünkü, ana metalde oluşan ısıl gerilmeleri karşılayabilmek için gerekli sünekliğe sahip değildirlir [1].

1.2. GRİ DÖKME DEMİR (GRAY CAST IRON) VE UYGULAMA ALANLARI

Serbest karbonların grafit yaprakları şekilde oluştuğu demir-karbon-silisyum alaşımlarına gri dökme demir denir (Şekil 3) [1]. Gri dökme demir, kalıba dökülen ergimiş demirin yavaş soğumasıyla elde edilir [4]. Döküm soğurken malzeme içindeki karbon grafit yaprakları şeklinde çökler [4]. Bu dökme demirlere gri denmesinin nedeni; kırılma yüzeylerindeki gri görünümdür [1]. Gri dökme demirde yapıda bileşke halde bulunan karbon %0.8'den daha düşüktür, kalan karbon grafit yaprakları şeklindedir [4].

Gri dökme demirlerin çekme mukavemeti, sertliği ve mikroyapısı; kimyasal kompozisyon, kalıp karakteristiği, katılaşma sonrası soğuma hızı gibi pek çok faktöre bağlıdır. Ana yapıyı ve grafit oluşumunu kontrol etmek amacıyla bakır, krom, molibden ve nikel gibi elementler eklenir. Bu elementler aynı zamanda bazı solüsyonlara karşı korozyon dayanımını artırır [1].

Mekanik mukavemetlerini iyileştirmek amacıyla gri dökme demirler ısıl işleme tabi tutulur. Hızlı soğutma sonucunda oluşan sertliği düşürmek ve tokluğu yükseltmek amacıyla temperleme ısıl işlemi gereklidir. Gri dökme demirlerin sünekliği, grafitin yapraksı yapısı nedeniyle düşüktür. Bu grafitler ana yapı içinde küçük çatlaklar gibi davranırlar. Ana yapı



%4 Nital

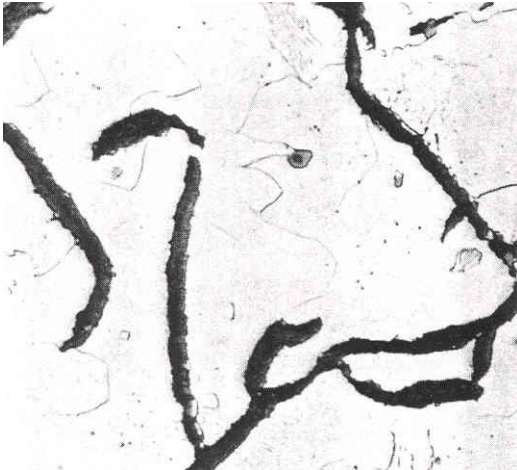
150X



%4 Nital

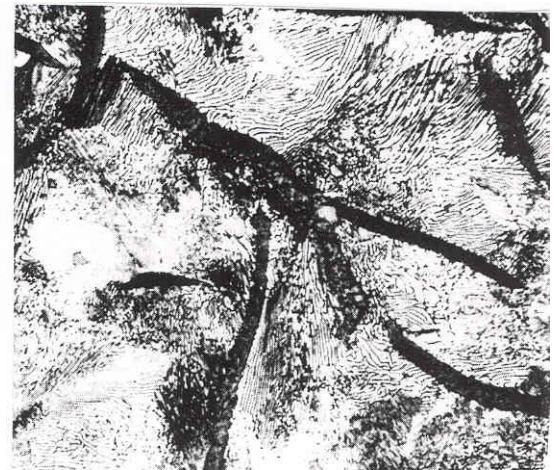
X150

Şekil 2. Beyaz dökme demirlerin mikroyapı fotoğrafı, ak bölgeler sementit Fe_3C , siyah bölgeler perlittir [2].



%2 Nital

750X



%3 Nital

X500

Şekil 3. Gri dökme demirlerin mikroyapı fotoğrafları, a) Ferrit yapılı, b) Perlit yapılıdır [5].

içinde çatlaklar, bu grafitlerden çok kolay başlar ve malzemeyi plastik deformasyona uğratmadan ilerlerler [1].

Gri dökme demir en yaygın kullanılan dökme demir türüdür ve gerekli önlemler alınarak (ön ısıtma ve kaynak sonrası soğuma hızı gibi) kaynaklanabilir [4]. Gri dökme demirler makina parçaları ve otomotiv endüstrisinde kullanılır [1]. Otomotiv parçalarından fren balatası, debriyaj balatası ve şaft kaması yüksek sıcaklıkta çalışan fırın parçaları, cam

kalıpları, ingot, ergitme potaları, basınçlı veya basınçsız ortamlarda çalışmak için farklı tiplerde boru valf, flanş, bağlantı parçaları, gri dökme demir parçalara örnek olarak verilebilir [1].

1.3. TEMPER DÖKME DEMİR (MALLEBLE CAST IRON) VE UYGULAMA ALANLARI

Temper dökme demir uygun kompozisyona sahip beyaz dökme demirlerin ısı işleme tabi tutulmasıyla elde edilir [1]. Beyaz dökme demirin ilk oluşumu 1) düşük karbon ve düşük silisyum içermesi, 2) karbür yapıcı örneğin; krom, molibden, vanadyum gibi elementlerin bulunması ve 3) hızlı katılaşma ve soğuma periyodu ile sağlanır. Beyaz dökme demir bundan sonra kontrollü atmosferde fırında 900-950°C ısıtılır ve bu sıcaklıkta belirli bir süre (1 gün) tutulur. Bu işlem malzeme içinde çözünen karbonun östenit faz içerisinde düzgün yüzeyli olmayan küresel grafit taneleri şeklinde çökmesini sağlar ve toplam 6 gün sürer. Bu sıcaklıktan yavaş soğuma ile oluşan karbon fazına temper karbon denir. Bu dökme demirlerde oluşan ana yapı ferrittir. Perlit veya martensit yapıyı, alaşım elementleri katmak veya hızlı (havada veya suda) soğutmak yoluyla elde etmek mümkündür [1]. Temper dökme demirlerin mikroyapısı Şekil 4'de verilmiştir.

Temper dökme demirlerde karbon yapraklar şeklinde değil de küresel olduğu için bir miktar sünekliği vardır [1]. Temper dökme demir, beyaz dökme demir veya gri dökme demirden daha toktur ve uygun bir miktar eğilebilir [4]. Gri dökme demir az miktarda bir eğilme sonucunda kırılır [4]. Beyaz dökme demir de cam gibidir, hiç eğilmez, kırılır [4]. Bu dökme demirlerde de mukavemet ve süneklik metalurjik yapıya bağlı olduğu gibi, serbest grafitin dağılımına da bağlıdır [1]. Temper dökme demirler kaynak yapılırken, kaynak metalinin soğuması sırasında ısı işlemin faydalı etkisi ortadan kalkar ve hızlı soğuma sonucunda kırılmalı bir yapı (chilling) görülür [4]. Bunun için kaynak bölgesi, kaynaktan sonra tekrar ısı işleme tabi tutularak temper dökme demirin yapısı elde edilmelidir [4].

Temper dökme demirler flanşlarda, borularda, bağlantılarda ve valf parçalarında kullanılır. Bir çok otomobil parçası, kompresör krank mili ve göbeği, transmisyon ve diferansiyel parçaları, bağlantı çubukları ve universal bağlantılar temper dökme demirden üretilirler [1].

1.4. KÜRESEL DÖKME DEMİR (DUCTILE CAST IRON) VE UYGULAMA ALANLARI

Küresel dökme demir kimyasal kompozisyonu gri dökme demirinkinin aynısı olmasına rağmen mukavemet ve süneklikte çeliklere benzerler [4], fakat üretim şekli farklıdır [1]. Gri dökme demirlerde grafit yapraklarının şekli çatlak oluşturma özelliğinden dolayı gri dökme demirin mukavemetini , tokluğunu ve sünekliğini düşüren ana etkidir [4]. Grafitin yapraksı değilde küresel olması daha yüksek mukavemet ve süneklik sağlar[1]. Böylece dökme çeliklerin mukavemet ve süneklik özellikleriyle, dökme demirlerin düşük maliyet, aşınma direnci ve üzerlerine uygulanan kuvvetleri emme karakteristikleri birleşir [4]. Küresel dökme demirin mikroyapısı Şekil 5’de verilmiştir.

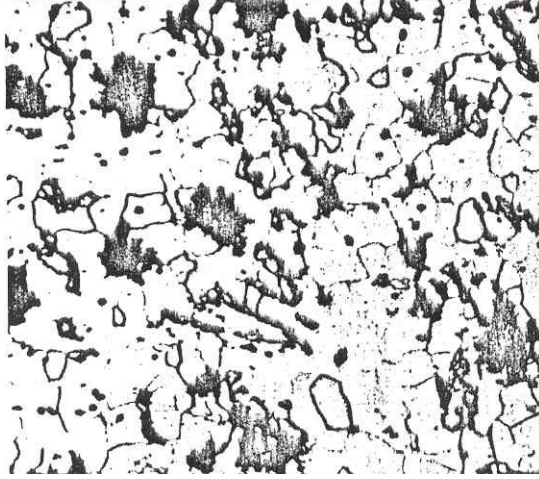
Grafitin küreselleştirilmesi magnezyum veya seryumun ergiyik metale katılması ile yapılabilir [1]. Grafitin küresel olması için malzeme içinde en az $Ağ\% 0.035$ Mg bulunması gerekir [1]. Gri dökme demirlerdeki silisyum, küresel dökme demir üretebilmek için olabilecek en düşük seviyelerde olmalıdır; çünkü, Si yapraklarını büyütür [4]. Kaynak yaparken Mg ergiyen bölgeden kaybedilirse, kaynak sınırı boyunca grafitin şekli değişir [1]. Kaynak sürecinde ısı girdisini ve ergiyik halde kalınan süreyi en aza indirmek grafitin bozulmasını en aza indirir [1].

Küresel dökme demir bazen nodular demir olarak da adlandırılır ve çeşitli metalurjik durumlarda bulunabilir . Bir ferrit yapılı küresel dökme demir yüksek süneklik sağlarken, diğer ferrit yapılı küresel dökme demir yüksek mukavemet sağlayabilir. Perlit yapılı olan yüksek mukavemete sahiptir ve östenitik yapılı olan ise korozyona, yüksek sıcaklıklara ve ısıl şoklara en yüksek dayanım sağlar [4].

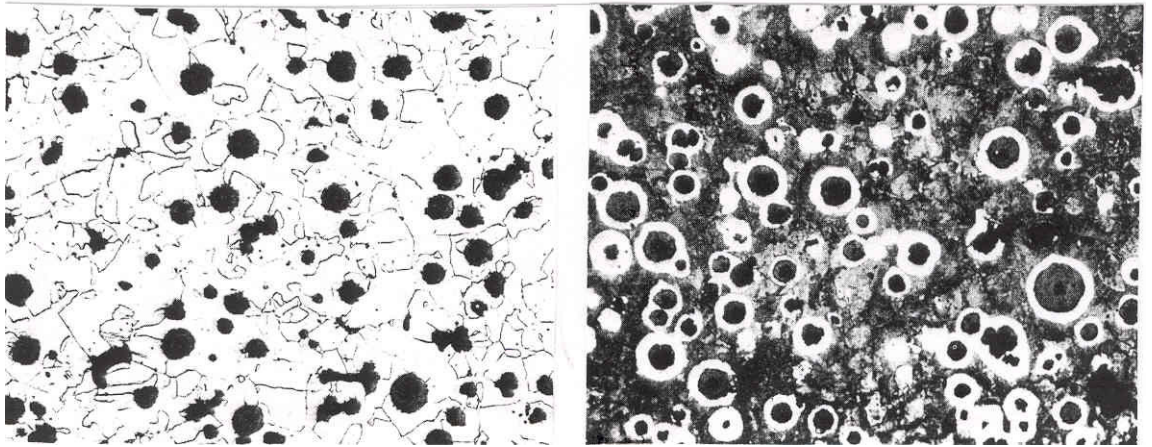
Su, kanalizasyon ve basınçlı borular, bağlantılar, valfler ve pompalar küresel dökme demirden yapılabilir . Bu ürünlerin küresel dökme demirden yapılmasının avantajları tokluğunun ve kaynak kabiliyetinin gri dökme demirlere göre daha iyi olmasıdır. üresel dökme demir borular çoğunlukla kaynaklanarak üretilirler [1].

SAE J859 standartlarına göre G: Gri dökme demir, M: Temper dökme demir, D: Küresel dökme demir için kullanılan simgelerdir. Gri dökme demirler için akme dayancı, çekme dayancı, temper ve küresel dökme demirler için akma dayancını belirlemek üzere iki rakam: ayrıca uzama değerini belirleyen iki rakam kullanılır. Örneğin; M4504 en düşük akma

dayancı 45000 psi ve en az uzaması %4 olan bir temper dökme demiri simgeler. Gri dökme demirler için uzama, 00 olarak gösterilir [2].



Şekil 4. Temper dökme demirlerin mikroyapısı %2 Nital, 100X [2].



%2 Nital

100X

%3 Nital

100X

Şekil 5. Küresel Dökme demirlerin mikroyapı fotoğrafları, a) Ferrit Yapılı, b) Perlit yapılıdır.

2. DÖKME DEMİRLERİN KAYNAĞI

Dökme demirlerin kaynağı veya lehimini 1) döküm sırasında oluşan hataları tamir etmek, 2) karmaşık parçaları birleştirerek üretmek, 3) kırılan veya aşınan parçaları tamir etmek amacıyla yapılır . Beyaz dökme demir hariç diğer dökme demirlerin hepsi kaynak yapılabilir. Ama bunların kaynak kabiliyeti çeliklere göre düşüktür. Kaynak prosedürüne

uyulduğu taktirde iyi birleşme verimi verirler (Çekme mukavemeti 483 N/mm², ye kadar çıkabilir.) [1] .

2.1. KAYNAK KABİLİYETİ

Dökme demirlerin kaynağında problem yaratan nokta çok fazla karbon içermeleridir. Dökme demirlerin üretim sürecinde ısıl işlem uygulanarak gerekli mekanik mukavemeti sağlayacak mikroyapı oluşturulabilir. Fakat, kaynak sürecindeki ısıl periyod istenen mikroyapıyı oluşturmaz. Kaynak metaline yakın bölgedeki demir hızla yüksek sıcaklıklara çıkar ve ısıdan etkilenen bölge çok hızlı soğur. Kaynak metaline yakın bölgelerde karbürler oluşur ve ısıdan etkilenen bölgenin geri kalan kısımlarında ise yüksek karbonlu martensit oluşturur. Bu iki yapı da çok kırılgandır ve kaynaktan hemen sonra yada çalışma sırasında kırılır. Kırılganlık derecesi ve kırılma eğilimi dökme demirin türüne, uygulanan ısıl işleme ve kaynak prosedürüne bağlıdır [1].

Ergitme kaynağı, kaynak bölgesinde ısıl gerilimler oluşturur. Ana metal bu gerilimleri karşılayabilecek kadar plastik deformasyona uğrayabilmelidir aksi taktirde malzeme çatlaklar [1].

Çeliklerde olduğu gibi dökme demirlerde de fosfor kaynağı kötü etkiler, fosfor % 0.1' den düşük olmalıdır. Yüksek fosforlu dökümlerin tamir amaçlı kaynağı özel bir teknik gerektirir [1].

2.1.1. Dökme Demirin Kaynağında Zorluk Yaratan Etmenler [6]

Dökme demirler, yüksek karbon içermesi nedeniyle hem farklı türlerde hem de farklı mikroyapı ve kimyasal kompozisyonlarda bulunabilir , bunlardan dolayı da metaller arasında en zor kaynak yapılan malzeme dökme demirdir.

Kaynak Metali: Kaynak metali, kaynak sırasında ergiyen ana metal ve ilave metalden oluşur. İlave metal kullanmadan veya aynı tür malzeme ilave metal olarak kullanıldığı durumda, ergimiş dökme demir hızlı soğursa karbon malzemedan grafit olarak çekilir ama grafit sert ve kırılgan olan sementiti oluşturur. Sementit miktarı, alaşım elementleri ve uygun ilave metal seçimiyle azaltılabilir. Kaynak sonrası ısıl işlem kaynak metalinde sementit miktarını azaltabilir veya sementitleri ortadan kaldırabilir.

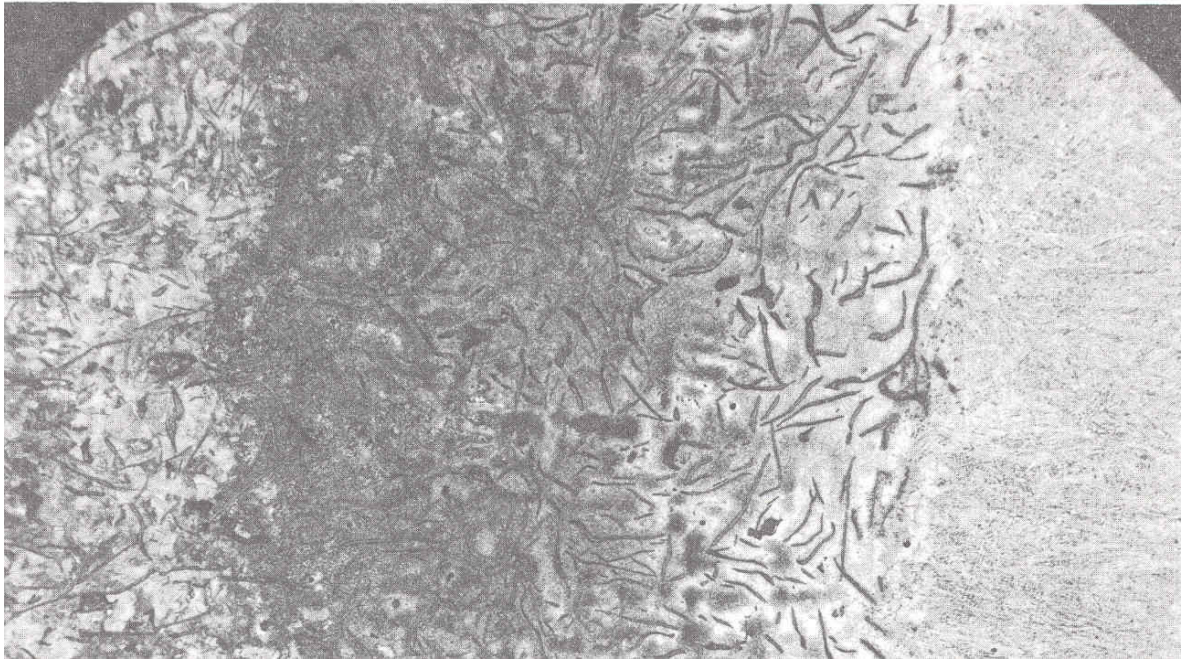
Kaynak Bölgesi: Kaynak bölgesi üç ayrı bölgeden oluşur. Birincisi, kaynak metalidir, ikincisi, kaynak sırasında ergiyen fakat, ilave metalle karışmayan ana metaldir. Üçüncüsü de

kısmi olarak ergiyen ana metaldir. İlave metalle karışım olmayan bölgelerde karbür oluşumu problem yaratır.

Isıdan Etkilenen Bölge: Ana metalin sıcaklığı, metalurjik yapıyı değiştirecek kadar yüksek olan, fakat, ergimenin olmadığı bölgesine ısıdan etkilenen bölge denir. Bu bölgelerdeki karbon, karbür oluşumuna neden olabilir. Bu bölgede ana yapı hızlı soğuma sonucunda martensite dönüşür. Kırılganlık yavaş soğutmayla veya kaynaktan sonra ısıtma işlemiyle azaltılabilir. Şekil 6, 7, 8,9'de kaynak bölgesi ve metalurjik değişimler görülebilir.

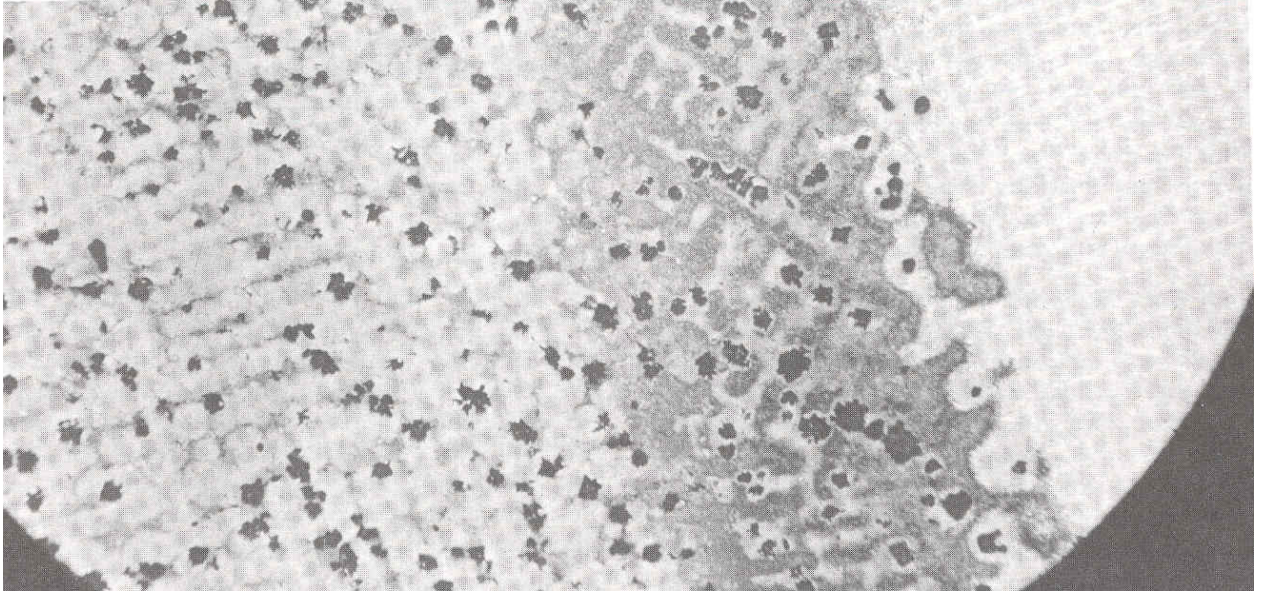
Kaynak Gerilimleri: Kaynak sırasında ve sonrasında genleşme ve çekmeler malzemede gerilimlere neden olur. Bu gerilimler dökme demirlerde çatlağa neden olur. Kontrollü ön ısıtma, uygun kaynak yöntemi, kaynak metalini ezmek ve kaynak sonrası ısıtma işlemi bu gerilimler azaltılabilir.

Gözenek: Kaynak sırasında yayılan gazlar kaynak metalinde gözeneğe neden olabilir. Dökme demirdeki grafit sıvıları emer ve malzemenin her yerine yayar. Malzeme kaynak yapıldığında bu sıvılar gaz hale geçer ve kaynak metalinde gözenek oluşturur. Ana metali kaynağa uygun hazırlanması gözenek problemini çözer.



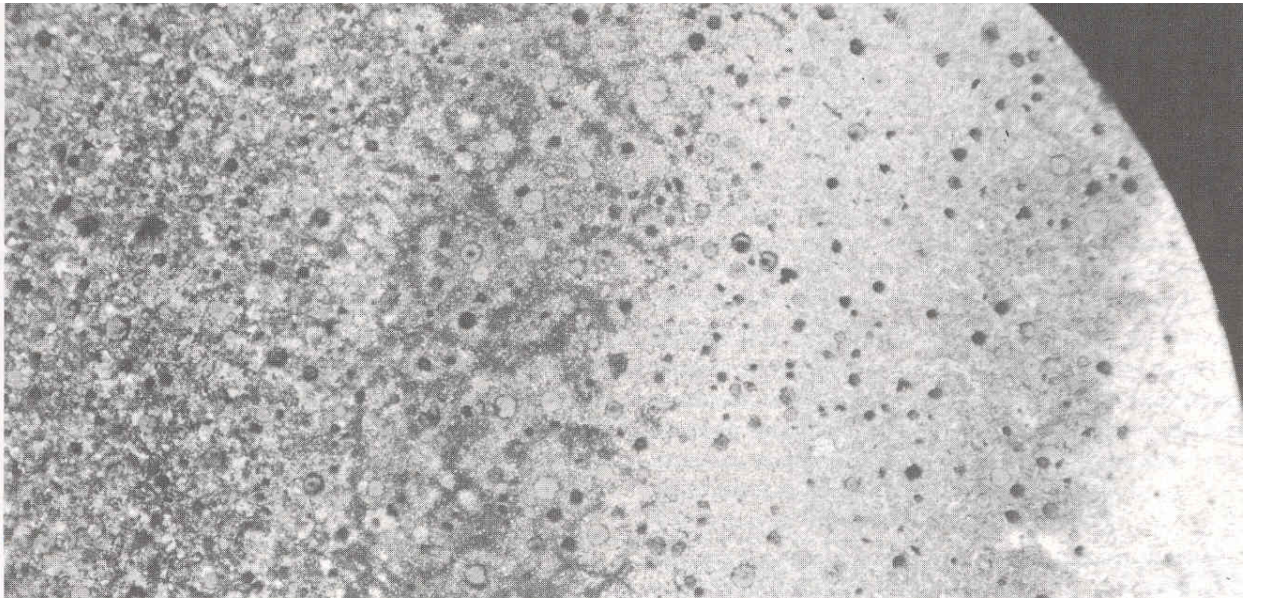
ANA METAL	ISIDAN ETKİLENEN BÖLGE	KAYNAK METALİ
-----------	------------------------	---------------

Şekil 6. Gri Dökme Demirin (ASTM A48, Grade 35) Su Verilmiş Mikroyapısı (50X), kaynak Metali, Kısmi Sertleşen Isıdan Etkilenen Bölge ve Etkilenmemiş Ana Metal [6].



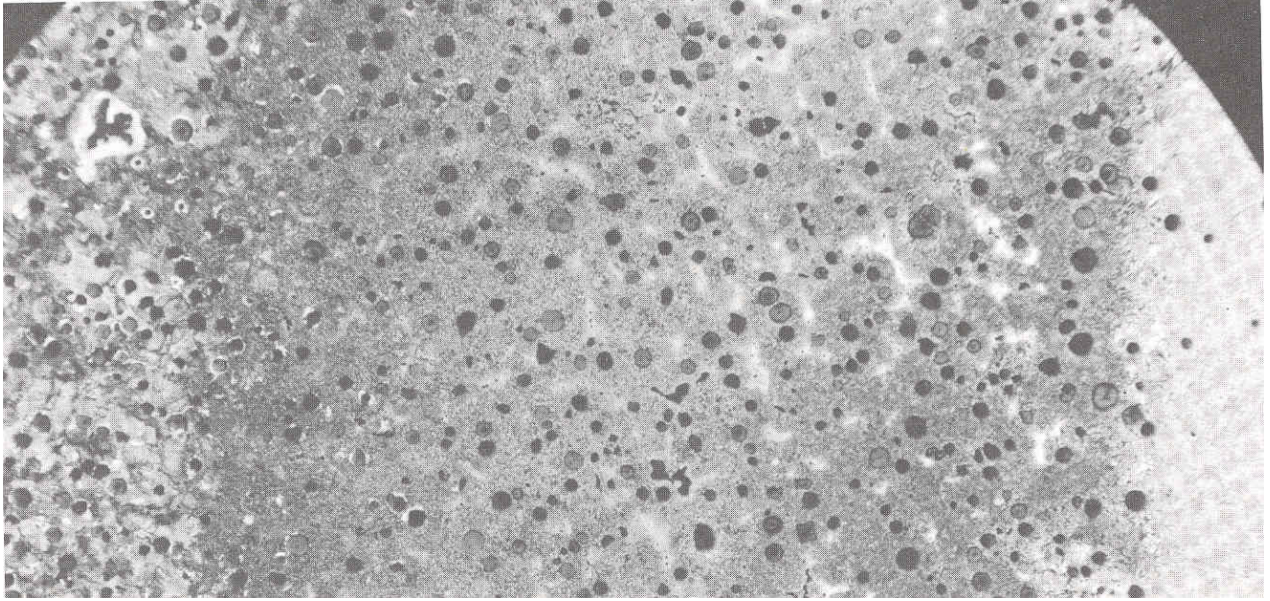
ANA METAL	ISIDAN ETKİLENEN BÖLGE	KAYNAK METALİ
------------------	-------------------------------	----------------------

Şekil 7. Temper Dökme Demirin (ASTM A220, Grade 50005), Kaynak Metalinde Kalan Temper Karbon, Isıdan Etkilenen Bölge ve Etkilenmemiş Ana Metalde Temper Karbon Küreleri (50X) [6].



ANA M.ETAL	ISIDAN ETKİLENEN BÖLGE	K. M
-------------------	-------------------------------	-------------

Şekil 8. Küresel Dökme Demirin (ASTM A536, Grade 100-70-03), Kaynak Metal, Isıdan Etkilenen Bölge ve Etkilenmemiş Ana Metalde Küresel Karbonlar (50X) [6].



ANA METAL	ISIDAN ETKİLENEN BÖLGE	K. M.

Şekil 9. Küresel Dökme Demirin (ASTM A536, Grade120-90-02), Homojen Dağılımlı Küresel Karbonlar (50X) [6].

2.1.2. Grafit Şeklinin Etkileri [1]

Dökme demirlerin kompozisyonu ve mikroyapısı kaynak sırasında ısıdan etkilenen bölgede çözünen karbon miktarını etkiler. Çok fazla karbür oluşumu ve yüksek karbonlu martensit oluşumunu en aza indirmek için, malzemede bulunan karbonun küresel olması yani yüzeyinin hacime oranının düşük olması oldukça yararlıdır. Östenitik ana yapıyla temas halinde bulunan grafit yüzey alanı ne kadar küçük olursa oda sıcaklığında mikroyapıda o derece az karbon bulunur. Gri dökme demirde bulunan grafit yaprakları çok geniş yüzey alanına sahip olması nedeniyle östenit içinde çözünmeye eğilimlidir. Fakat, her tür grafit yavaş çözüner ve çoğunlukla kaynak metalinde kalır. Genel olarak ergitme kaynağı sırasında ergime dökümün katılaşmasının tam tersi işlemdir ve döküm yaparken soğuma sırasında en son katılan bölgeler kaynak sırasında ilk ergiyen yerlerdir.

Dökme demirler tipik olarak aşağıdakileri içerir :

- % 3.5 C (Karbon)
- % 2.5 Si (Silisyum)
- % 0.5 Mn (Mangan)
- % 0.04 P (Fosfor)
- % 0.06 S (Kükürt)

Böyle bir kompozisyona sahip bir dökme demire % 0.07 Mg (Magnezyum) eklenmesi küresel grafit oluşumunu teşvik eder. Manganez veya kükürt miktarındaki artış grafit oluşumunu düşürür fakat, yüksek silisyum, grafit oluşumunu teşvik eder. Yüksek fosfor miktarı dökme demirin kırılabilirliğini artırır.

2.1.3 İlave Metalin Etkisi [1].

İlave metalin kompozisyonu ve metalik özellikleri dökme demirlerin kaynağında çok önemlidir. Her kaynak pasosu yapıldığında ilave metal ve ana metal veya daha önce yığılmış kaynak metalini birlikte ergitilir. İlave metalin kompozisyonunun ana metalle veya daha önce yığılan metalle yaptığı karışım nedeniyle değişmesine, seyrelme denir.

Kaynağı, iyi bir kaynak metalini elde edecek şekilde en az ısı girdisiyle yaparak seyrelme en aza indirilmelidir. Yüksek karbon, silisyum, fosfor ve kükürt değerleri dökme demirlerin mekanik özellikleri ve kaynak metalinin sağlamlığı üzerinde ters etkisi vardır. Örneğin; dökme demirler, karbonlu çelik ilave metal ile kaynak edildiğinde, yığılan metalin karbon miktarı seyrelme nedeniyle artar. Kaynak metalini sert ve az sünek olabilir, kaynaktan sonra ısı işleme yapılmazsa kaynak metalini işlemek zor olur. Çatlaklara karşı çok duyarlı olabilir ve kaynak gerilmelerini karşılayamaması sonucunda dökme demirlerdeki ısıdan etkilenmiş bölgenin yakınında çatlaklara neden olur.

Dökme demirlerde kullanılan kaynak metalinin mekanik özellikleri yapılan işin başarılı olmasında en önemli bölümü oluşturur. Kaynak metalinin akma dayanımı düşük ise, dökme demirlerin soğuma sürecinde oluşan gerilmeler göreceli olarak düşüktür. Bu çatlak eğilimini azaltır. Çalışma sırasında, yumuşak kaynak metalini sürünebilir ve dökme demirlerde bulunan gerilmeleri giderebilir. Nikel ve nikel alaşımlı kaynak metalleri bu açıdan etkilidir ve dökme demirlerin ark kaynağında en çok kullanılanlar nikel ve nikel alaşımlarından üretilen ilave metallerdir. Bu tip kaynak metallerinin diğer avantajı da kaynaktan sonra işlenebiliyor olmasıdır.

2.1.4. Ön Isıtma [1].

Sert ve kırılabilir ısıdan etkilenen bölgenin oluşumu soğuma sırasında çatlaklara neden olabilir. Düşük ısı girdili ark kaynağı ısıdan etkilenen bölgenin genişliğini sınırlandırır fakat yine de bant şeklinde sert, kırılabilir bir yapı kaynak metaline yakın bölgede oluşabilir. ısıdan etkilenen bölgenin sertliği ön ısıtma ile birlikte kaynaktan sonra yavaş soğutmakla sınırlandırılabilir. Ön ısıtma kaynaktan sonra hem kaynak metalinde hemde ısıdan etkilenen

bölgede yavaş soğumayı sağlar. Östenitik dönüşüm sürecinde ve sonrasında yavaş soğuma martensit miktarını ve sertliği düşürür.

Ön ısıtma sıcaklığı ve ön ısıtma süresi kaynağı yapılacak dökme demirin türüne bağlıdır. Döküm parçanın ağırlığı, kaynak yöntemi ve ilave metal tipi ön ısıtmaya etki eden etmenlerdir. Önerilen ön ısıtma ve pasolar arası sıcaklıklar Tablo 2’de verilmiştir. Genelde, ferrit yapılı küresel ve ferrit yapılı temper dökme demirler perlit yapılarından daha düşük ön ısıtmalarla kaynaklanabilir çünkü; ferrit yapılı dökme demirler daha iyi sünekliğe sahiptir.

Dökme demirleri oksiasetlenle kaynak yaparken ısı girdisi ihtiyacını azaltmak için ön ısıtma gerekir. Dökme demirden üretilen ilave metal kullanırken yüksek ön ısıtma gerekir çünkü kaynak metalinin sünekliği oda sıcaklığında çok azdır. ENi-CI veya ENi-CI-A elektrodları gibi düşük mukavemet ve sünek kaynak metali sağlayan ilave metaller oda sıcaklığında veya hemen üzerindeki sıcaklıklarda kullanılabilirler. Kaynak metali soğuma sırasında akar ve kaynakta çatlağa neden olabilecek kaynak gerilimlerini giderir.

Karmaşık şekilli dökümlerin ön ısıtmasında veya büyük parçalarda ön ısıtmanın küçük bir bölgeye uygulanması nedeniyle oluşacak farklı genleşmeler nedeniyle çatlaklar oluşabilir. Bölgesel ön ısıtma kademeli yapılmalıdır.

Tablo 2.Dökme Demirlerin Kaynağında Önerilen Ön Isıtma ve Pasolar Arası Sıcaklıklar

Dökme Demirin Türü	Anafaz Mikroyapısı	Sıcaklık Aralığı, °C	
		Ark Kaynağı	Oksiasetlen Kaynağı
Gri	—	20-315	430-650
Temper	Ferrit	20-150	430-650
Temper	Perlit	20-315	430-650
Küresel	Ferrit	20-150	205-650
Küresel	Perlit	20-315	205-650

Döküm, kaynak yapılacak alanı saran bölgelere yada döküm parçaların tamamı eşit şekilde ön ısıtma yapılması önerilir. Ön ısıtma sıcaklığı kaynak sırasında korunmalı ve dökümün sıcaklığı, oda sıcaklığına düşmeden kaynak tamamlanmalıdır. Mümkünse ön ısıtma modeli dökümün oda sıcaklığına soğumasından sonra kaynaklanmış birleşimin basma kuvvetleri altında olmasını sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Isısal gerilimleri en aza

indirmek için ön ısıtma öncesinde parçanın biçimi iyi analiz edilmelidir. Isısal gerilimler daha sonra parçayı kullanılamaz hale getirebilir. Uygun ısı kontrolünü sağlamak için, ön ısıtma ve pasolar arası sıcaklıklar ölçülmelidir.

2.1.5. Yüzey Nüfuziyeti [1]

Dökümün üst yüzeyi ve yabancı maddeler kaynak bölgesinden ve yakın bölgelerden temizlenmelidir. Çalışan döküm parçalar yağlarla ve gresle doyar. Mümkünse, döküm parça 370°C' de 30 dakika eşit olarak ısıtılmalı veya kısa bir süre için oksifuel gaz torçla yada homogen ısıtan bir fırında 540°C'ye ısıtılmalıdır. Diğer alternatif de kaynak bölgesini ilk paso ile ısıtmak ve bu pasoyu genelde çok gözenekli olduğundan daha sonra temizlemektir. Bu kaynak ve temizleme işlemi sağlam bir kaynak metali elde edene kadar tekrarlanır. Sonra, kaynak normal yolla tamamlanır. Plastik, macun ve silikon kaynak esnasında gözeneklere neden olduklarından, bu malzemelerle doymuş parçalara tamir amaçlı kaynak yapılmamalıdır.

Elektrokimyasal temizleme işlemi yüzeyin grafitten, kumdan, silikondan, oksitlerden ve diğer maddelerden temizlenmesini sağlar. Aşındırıcı temizleme de küresel ve temper dökme demirlerin kaynak yüzeylerini hazırlamakta uygun yöntemdir. Yüzeyi oksitleyici alevle yakmak veya dökümü 900°C'de kuvvetli karbürleyici ortamda ısıtmak bazı uygulamalar için uygundur .

Herhangi bir temizleme işlemini uygulamadan önce, kaynakta kullanılacak yöntemin ve ilave metalin ıslanma testi yapılmalıdır.

2.1.6. Kaynak Sonrası Isıl İşlem [1]

Tamamen elastik deformasyona uğramış kaynaklarda, ağır şartlarda kullanmak amacıyla yapılmış kaynaklarda ve talaş kaldırarak işlenecek parçalarda yapılan kaynaklarda termik gerilimleri giderme ısıl işlemi yapılması istenir. Normalde gerilim giderme kaynaktan hemen sonra parçanın tümünde sıcaklığı 590 ile 620°C arasına çıkartarak yapılır. Döküm bu sıcaklıkta kalınlığın her 2.54 cm. için yaklaşık bir saat tutulur. Soğuma hızı sıcaklık 370°C' ye düşene kadar saatte 10°C' yi aşmamalıdır. Gerilim giderme işlemiyle sertlikte biraz düşme sağlanabilir fakat, karbürlerin 590°C' de kararlı olmasından dolayı sertlikteki düşme az olabilir. 900°C' de ısıl işlemi izleyen 590°C' ye veya daha düşük sıcaklığa yavaş soğuma en yüksek yumuşamaya ve gerilim gidermeye neden olur. Optimum sünekliği sağlamak için bu ısıl işlem kaynak bölgesine kaynaktan hemen sonra uygulanmalıdır. Gerilim giderme sıcaklığı seçilirken mukavemetteki düşme de hesaba katılmalıdır.

Küresel dökme demirlerde en iyi sonuçları elde etmek için kaynağı yapılmış parça, kaynaktan hemen sonra 590°C ile 650°C arasındaki fırına yerleştirilmelidir ve sıcaklık 900°C'ye yükseltilmelidir. Döküm parça bu sıcaklıkta 2 ila 4 saat tutulmalıdır. Daha sonra 700-705°C'ye soğutulmalı, bu sıcaklıkta 4 saat tutulmalıdır ve daha sonra da 590°C'ye fırında soğutulmalıdır [1]. Döküm parça oda sıcaklığına fırında veya havada soğutulmalıdır.

Eğer döküm yüksek ön ısıtma sıcaklığıyla ve pasolar arası sıcaklıkla kaynak yapılırsa, sıcak kumda, kireç içinde veya izolasyonlu bir ortamda yavaş soğutulmalıdır. Temper dökümlerde kaynaktan sonra tekrar ısıl işlem yapılmalıdır.

2.1.7. İlave Metal Seçimi

Dökme demirlerin kaynağı için ilave metal seçerken aşağıdaki faktör düşünülmelidir;

- 1) Dökme demirin türü,
- 2) Kaynak bölgesinde istenen mekanik özellikler,
- 3) İlave metalle ana metalin seyrelme toleransı,
- 4) Kaynak metalinin akma ve kaynak gerilimi giderme kabiliyeti,
- 5) Kaynak bölgesinin işlenebilirliği,
- 6) Renk uyumu,
- 7) Uygulanabilecek kaynak yöntemi,
- 8) Maliyeti.

Örtülü elektrodla kaynak, özlü tel kaynağı, gazaltı kaynağı ve oksii-asetilen kaynağı ile dökme demirlerin kaynağını yapmak için ilave metaller vardır. Özel durumlarda dökme demirler TIG yöntemine uygun ilave metalle kaynak yapılabilir. İlave metaller ve uygun kaynak yöntemleri Tablo 3'de verilmiştir [1]. OERLIKON ürünleri de Tablo 4'de verilmiştir.

RCI Grubu : Oksii-asetilen kaynağı için tasarlanmıştır.

ECI Grubu : Dökme demir çekirdekli örtülü elektrod.

E St Grubu: Çelik çekirdekli örtülü elektrod.

E Ni Grubu: Nikel bazlı çekirdekli örtülü elektrod. kaynağı işlenebilir.

Bakır Bazlı Grup: Sert lehimleme ve yüzey hazırlama işlemleri için tasarlanmıştır [4].

Dökme demir çekirdekli elektrodlarla kaynak ana metalle (döküm malzemeyle) aynıdır. Ancak, burada döküm parça fırında oldukça yüksek bir ön ısıtmaya tabi tutulmalıdır, aksi takdirde bu elektrodlar kullanılamazlar. E St grubu düşük maliyet ve yüksek mukavemet özelliklerinden dolayı kullanılabilirler ancak kaynak işlenemez. E Ni elektrodlarla yumuşak,

sünek, işlenebilir ve ana malzemeye göre düşük mukavemetli ama yüksek maliyetli kaynaklar elde edilir [4].

2.2. ARK KAYNAĞI

2.2.1. Kaynak Tasarımı

Karbonlu çelikler için kullanılan birleşme tasarımı dökme demirlerin kaynağında da uygundur [1]. İnce kesitli dökme demirler V- veya U- kaynak ağzı açılarak kaynak yapılabilir [6]. Önerilen kaynak ağzı tasarımları Şekil 10'da verilmiştir [6]. Kök açıklığı, kök yüzeylerinde iyi kaynaklanmayı ve ergimeyi sağlayacak kadar geniş olmalıdır. Dökme demirin kesiti 12.7 mm.'den büyük olduğunda, açılan kaynak ağzı kaynak sırasında oluşacak gerilmeleri dağıtarak bölgesel olarak azaltacak şekilde tasarlanmalıdır (Şekil 11) [6]. Kalın parçalar iki tarafından çift V- veya çift U- kaynak ağzı açılarak kaynak yapılmalıdır [1].

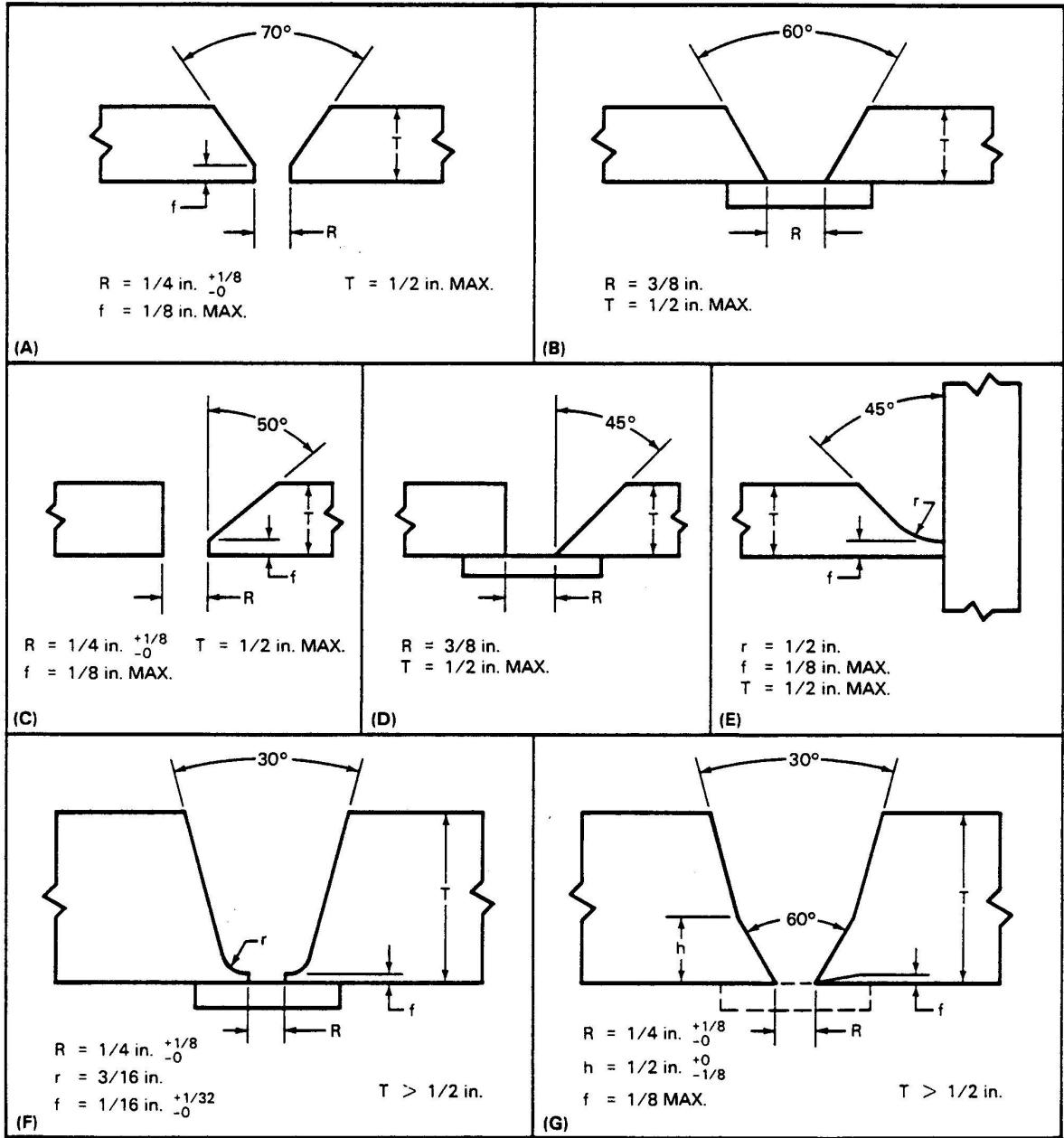
Çatlayan dökümlerin tamiri yapılırken çatlağın büyümesini önlemek için çatlağın başına ve sonuna matkap ile 3.3 mm'lik veya daha büyük çaplı delik açılmalı, daha sonra çatlağı ortadan kaldırmak için ve tamir kaynağını yaparken elektrodun veya torçun kolay hareket etmesini sağlayacak kadar bölgede dökme demir çıkartılmalıdır [1].

2.2.2. Örtülü Elektrod Kaynağı [1]

Dökme demirler nikel, nikel alaşımları, hafif alaşımlı çeliklerle, östenitik çeliklerle (E-106, Citochromax, Inconel (Tenacito 196)) ve bakır alaşımlı örtülü elektrodlarla kaynak yapılabilir. İlave metal seçimi kaynağı yapılacak dökme demirin türüne ve kullanım alanına göre yapılır. Her durumda, dökme demirlerde seyrelme en düşük seviyede tutulmalıdır. Dökme demir için örtülü elektrodlar Tablo 3'de ve OERLIKON ürünleri de Tablo 4'de verilmiştir.

Nikel Alaşımlı Elektrodlar

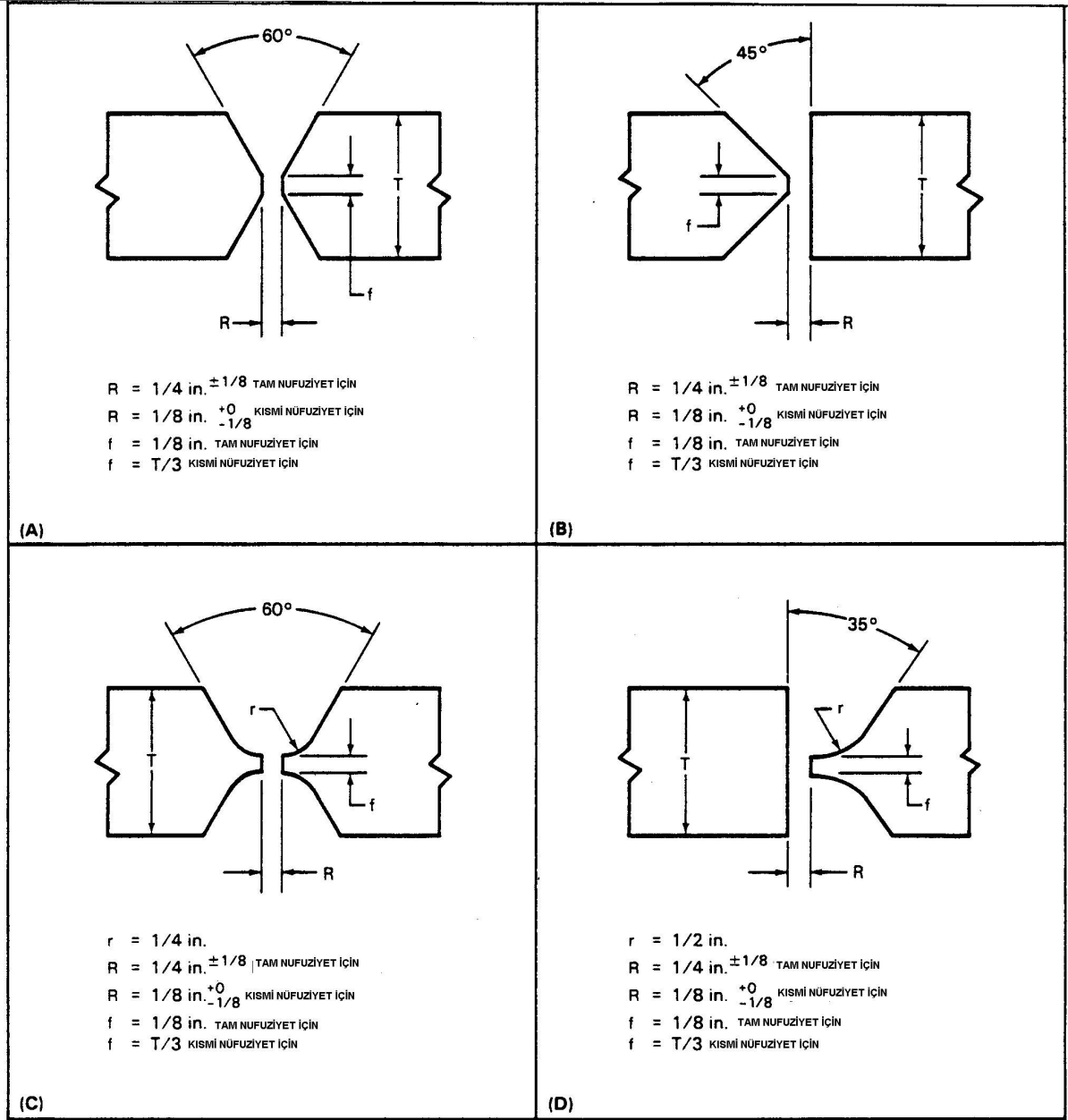
ENi-CI ve ENiFE-CI (E114, E115, Citefonte Ni, Superfonte Ni ve E116) gibi nikel alaşımlı elektrodlar özellikle dökme demirlerin kaynağını yapmak için tasarlanmıştır. Her tür elektrodan yığılan metalin karbon miktarı çözünürlük sınırının çok üzerindedir. Fakat karbon kaynak metalinin soğuması sırasında grafit olarak atılır. Bu reaksiyon hacimin artmasını sağlar ve soğuma sürecindeki kaynak metalinin çekmesini en aza indirir. Böylece, kaynak metalinde ve dökme demirin ısıdan etkilenen bölgesinde oluşan ısı gerilmeleri düşer.



METRIK DÖNÜŞÜM

in.	mm
1/32	0.8
1/16	1.6
1/8	3.2
3/16	4.8
1/4	6.4
3/8	9.5
1/2	12.7

Şekil 10. İnce Kesitli Dökme Demirler İçin Önerilen Yüksek Nüfuziyet Sağlayan Kaynak Ağızı Tasarımları (CJP)



METRİK DÖNÜŞÜM

in.	mm
1/32	0.8
1/16	1.6
1/8	3.2
3/16	4.8
1/4	6.4
3/8	9.5
1/2	12.7

Şekil 11. Kalın Kesitli Dökme Demirler İçin Önerilen Yüksek Nüfuziyet Sağlayan Kaynak Ağzı Tasarımları (CJP) ve Kısmi Nüfuziyet Sağlayan Kaynak Ağzı Tasarımları (PJP)

Tablo 3. Dökme Demirlerin Kaynağı için İlave Metaller İlave Metaller

İlave Metal	Türü	Kaynak Yöntemi	AWS Std. / AWS Sınıfı
<u>Dökme Demir</u>			
Gri demir	Kaynak çubuğu	Oksiasetlen K.	A5.15 /RCI
Gri demir	Çıplak elektrod	Çıplak metal A.K.	-
Alaşımli gri demir	Kaynak çubuğu	Oksiasetlen K.	A5.15/RCI-A
Küresel demir	Kaynak çubuğu	Oksiasetlen K.	A5.15/RCI-B
<u>Çelik</u>			
Karbonlu çelik	Örtülü elektrod	Ö.E.A.K	A5.15/ESst
Karbonlu çelik	Örtülü elektrod	Ö.E:A.K.	A5.1/E7018
Karbonlu çelik	Çıplak elektrod	Gazaltı A.K.	A5.18/E70S-2
<u>Nikel Alaşımları</u>			
% 93 Ni	Çıplak elektrod	Çıplak metal A.K.	A5.14/ERNi-1 A5.14/ENi-CI
% 95 Ni	Örtülü elektrod	Ö.E.A.K	A5.15/ENi-CI-A A5.15/ENiFe-CI
53 Ni-45 Fe	Örtülü elektrod	Ö.E.A.K	A5.15/ENiFe-CI-A
53 Ni-45 Fe	Özlu tel	Ö.T.A.K	-
55 Ni-40 Cu-4 Fe	Örtülü elektrod	Ö.E.A.K	A5.15/ENiCu-A
65 Ni-30 Cu-4 Fe	Örtülü elektrod	Ö.E.A.K	A5.15/ENiCu-B
<u>Bakır Alaşımları</u>			
Pirinç	Kaynak çubuğu	Oksiasetlen K.	A5.27/RCuZn-B
Pirinç	Kaynak çubuğu	Oksiasetlen K.	A5.27/RCuZn-C
Nikel pirinci	Kaynak çubuğu	Oksiasetlen K.	A5.27/RBCuZn-D
Bakır-kalay	Örtülü elektrod	Ö.E.A.K	A5.6/ECuSn-A
Bakır-kalay	Çıplak elektrod	Gazaltı A.K.	A5.7/ERCuSn-A
Bakır-aluminyum	Örtülü elektrod	Ö.E.A.K	A5.6/ECuAl-A2
Bakır-aluminyum	Çıplak elektrod	Gazaltı A.K.	A5.7/ERCuAl-A2

Tablo 4. OERLIKON'un Dökme Demirlerin Kaynağında Kullanılmak Üzere Ürettiği Ürünler ve Standartları

OERLIKON ÜRÜNÜ	İlave Metal Türü	AWS Standardı		DIN Standardı	
A 1110	K.Ç.	A 5.15	RCI	-	
E-114	Ö.E.	A 5.15	E Ni-CI	8573	E NiG22
E-115	Ö.E.	A 5.15	E Ni-CI	8573	E NiG22
E-116	Ö.E.	A 5.15	E NiFe-CI	8573	ENiFeG23
E-119 Cu	Ö.E.	-	-	-	-
CITEFONTE Ni	Ö.E.	A 5.15	E Ni-CI	8573	ENiBG13
SUPERFONTE Ni	Ö.E.	A 5.15	E Ni-CI	8573	ENiBG21
CITEFONTE Mo	Ö.E.	A 5.15	E Ni-Cu-B	8573	ENiCuBG13
SUPERFONTE Mo	Ö.E.	A 5.15	E Ni-Cu-B	8573	ENiCuBG21
SUPERCITO	Ö.E.	A 5.1	E 7018	1913	E 5154B10
SUPERCITO F-230/4	Ö.E.	A 5.1	E 7018	1913	E 5154B10
UNIVERS	Ö.E.	A 5.1	E 7016	1913	E5154B10
A 1211	K.Ç.	-	-	8513	LCuZn40(L-Ms60)
A 1211 AG	K.Ç.	-	-	8513	LCuZn40(L-Ms60)
A 1101	K.Ç.	-	-	8513	LCuNi10Zn42
A 1101 AG	K.Ç.	-	-	8513	LCuNi10Zn42
CITEBRONZE	Ö.E.	A 5.6	E CuSn-C	1733	EL-CuSn7
ALBRONZE	Ö.E.	A 5.6	E CuAl-A2	1733	EL-CuAl8
CUFIL-AL	K.T.	A5.7	ER CuAl-A1	1733	S-CuAl8

ENi-CI nikel elektrodu (E114, E115, Citefonte Ni, Superfonte Ni), ENiFe-CI (E116) elektrodundan daha yumuşak kaynak metali oluşturur. Kaynak metalinin işlenebilirliği istendiği zaman bu önemlidir. ENiFe-CI (E116)'yla oluşan kaynak metalinin de işlenebilirliği özellikle çok pasolu kaynaklarda oldukça iyidir. Genelde bu elektrod kaynak metalinin yüksek mukavemeti ve sünekliliği nedeniyle iyi bir seçimdir. bu kaynak metali dökme demirden gelen fosfora yüksek toleranslı ve sıcak kırılmaya daha dayanımlıdır.

Elastik deformasyona çok az dayanımı olan dökümler bu iki nikel alaşım elektroduyla da kaynak yapılabilir. Kaynak yüksek elastik deformasyonlar altında yapıldığı zaman ENiFe-CI (E116) elektrodu tercih edilir. Bu elektrodla dökme demirlerin hafif alaşımli çeliklerin, paslanmaz çeliklerin ve nikel alaşımlarının kaynağı yapılabilir.

V- kaynak ağızı için 60° ile 80° derece kaynak ağız açısı uygundur. Kalın parçalarda U- kaynak ağızı için 20° ile 25° derece kaynak ağız açısı ve 4.8 ile 6.4 mm kök yarıçapı kullanılabilir [1]. Elektrod için kullanılacak kaynak akımı üretici tarafından önerilen aralıklarda fakat kolay çalışmayı sağlayacak, istenen kaynak görünümünü, biçimini sağlayacak ve iyi ergimeyi sağlayacak mümkün olan en düşük değerlerde olmalıdır.

Düz, yatay pozisyonlar dışında; dik pozisyonda kaynak akımı %25 düşürülmelidir ve tavan pozisyonunda da kaynak akımı %15 düşürülmelidir.

Elektrod, kaynak genişliği elektrod çapının üç katını aşmayacak şekilde uygulanmalıdır. Eğer büyük bir boşluk doldurulacak ise öncelikle yan yüzeyler kaynak metaliyle sıvanmalı ve boşluk kademeli olarak tamir edilen bölgenin merkezine doğru doldurulmalıdır. Büyük döküm parçalarda geri adım metodu, eşit ısı yayılımını sağlar.

Ön ısıtma yapmak her zaman gerekli değildir fakat genellikle ön ısıtma uygulanır. Ön ısıtma özellikle hem ince hemde kalın kesitlere sahip parçalarda farklı ısı yayılımını engellemekte oldukça yararlıdır. Ön ısıtma boşluk istemeyen uygulamalarda çok yararlıdır, çünkü delikler kaynakta ve ısıdan etkilenen bölgede çatlak oluşumuna neden olurlar.

Sıcak kaynak dikişinin ezilmesi, kaynak gerilimlerini azaltır ve ölçütlerin sabit kalmasını sağlar. Bu işlem yuvarlak başlı bir çekiçe orta şiddette darbeleri tekrarlayarak yapılmalıdır ve kaynak metalini kırmadan deforme edecek yeterli kuvvet uygulanarak yapılmalıdır. Kaynak sonrası ısıl işlem, kaynak metalini ve ısıdan etkilenen bölgenin işlenebilirliğini geliştirmek (iyileştirmek) için uygulanır.

Nikel-bakır-demir (ENiCu-A ve ENiCu-B (Citefonte Mo, Superfonte Mo)) örtülü elektrodlarla dökme demirlerin kaynağı da nikel (ENi-CI (E114, E115, Citefonte Ni, Superfonte Ni)), ve nikel-demir (ENiFe-CI (E116)) elektrodlarıyla yapıldığı gibi yapılır. Kaynak metalinden karbonun grafit olarak çekilmesi de aynıdır. Fakat, nikel-bakır-demirin dökme demirle sulanmasından oluşan kaynak metali çatlaklara karşı daha hassastır. Bu nedenle, uygun kaynak teknikleri kullanarak seyrermenin sınırlanması gerekir.

Hafif Alaşımli Çelik Elektrodlar

Hafif alaşımli çelik elektrodlar; örneğin E 7018 ve E St türleri (Univers -E 7018'dir ve alaşımatsızdır), özellikle renk uyumunun istendiği ve işlenebilirliğin çok önemli olması küçük döküm hatalarının tamiri için kullanılır. Seyrelme, çelik kaynak metalinin karbon miktarını yükseltir ve böylece sertleşebilirliğini artırır. Bu nedenle, kaynak yöntemi seyrelemeyi en aza indirecek şekilde tasarlanmalı ve soğuma hızı kaynak metalinin sertliğini en düşük seviyede tutacak şekilde olmalıdır.

Ferrit yapıli küresel ve ferrit yapıli temper dökme demirlerin kaynağından hafif alaşımli çelik malzemelerin kaynağına kadar hafif alaşımli çelik elektrodlar kullanılabilir. Fakat, çelik kaynak metali dökme demirden daha çok çeker ve kaynak sınırlarında gerilimlerin oluşmasına neden olur. Bu gerilimler, dökme demirlerin ısıdan etkilenen bölgelerinde çatlaklara neden olabilecek boyutta olabilir. Çelik elektrod kullanımı, yalnızca çekme ve eğme kuvvetleri altında bulunmayacak parçalarla sınırlandırılmalıdır. Her durumda ön ısıtma uygulanmalı ve kaynak yöntemi kaynaktan önce değerlendirilmelidir.

Gri Demir Elektrodlar

Gri dökme demir elektrodlarla çıplak metal ark kaynağı gri dökme demirlerin tamir amaçlı kaynağıyla sınırlandırılmıştır. Oksiasetlenen kaynağından daha hızlı bir yöntemdir ve işlenebilir kaynak metali özel yöntemlerle üretilir.

Dökümlerde çatlağı önlemek için ön ısıtma uygulanmalıdır. Kaynak sırasında kaynak yüzeyleri ergimeli ve yığılan kaynak metaliyle karışmalıdır. Ark aniden kesilmemeli fakat ark uzunluğu kademeli olarak artırılmalı ve kraterlerin yavaş soğumasını ve böylece çatlağı önlemek için kısa bir süre bu ark uzunluğunda kalınmalıdır.

İşlenebilir kaynak metali için ana metal ön ısıtma yapılmalı, kaynak kalın elektrodlarla ve geniş akışkan kaynak banyosu oluşturmak için yüksek amperlerde düz pozisyonda yapılmalıdır. Kaynak banyosunu desteklemek amacıyla kökde ve tamir bölgesinin kenarlarında karbon barajlar kullanılabilir. Kaynak bölgesinde martensit oluşumunu önlemek için oda sıcaklığına soğuma hızı kontrol edilmelidir.

Bakır Alaşım Elektrodlar

Dökme demir, bakır alaşımli elektrodlarla arkla kaynak yapılabilir. Bakırda, sıcakken yumuşak ve sünek olan alfa fazı, önemli miktarda bulunur. Soğuma sırasında yumuşak kaynak metalinin akması kaynak gerilimlerini sınırlandırır ve çatlak eğilimini azaltır. Çekme deformasyonunun büyük bir kısmı kaynak metali 260°C'den önce oluşur ve kaynak metalinin

plastik esnemesiyle bu gerilimler ortadan kalkar. Kaynak metalinin mukavemeti sıcaklık düştükçe artar ve süneklikte çok az bir değişim olur.

Bakır alaşımlı elektrodların iki türü Tablo 3’de ve OERLIKON ürünleri de Tablo 4’de verilmiştir. Bakır-aluminyum kaynak metallere iki katıdır. Ark kaynağının oksiasetlenen kaynağına göre iki avantajı; hızlı ve düşük çarpılmalı olmasıdır. Aynı zamanda, ısıdan etkilenen bölge dar ve çatlak eğilimi azdır.

Kaynak kök yüzey alanları büyük olması, kaynak alanı sağladığı için yeterli mukavemet sağlar. 90° ile 120°’lik V-kaynak açısı önerilir. Kaynak yapılacak bölgeler temizlenmeli, ıslanmayı önleyecek grafitten temizlenmelidir.

Dökme demirin tümüne uygun ön ısıtma yapılmalıdır. Bakır alaşımı ilave metallerle, dökme demirlerin birleşme yüzeylerinde iyi ısıtma sağlayacak ısı girdisiyle ve az sulanmayla köşe giriş yataklarında yığılma yapılabilir. Mümkünse ark daha önceki pasoya doğrultulmalı, hiç bir zaman köşeye veya dökme demire doğrultulmamalıdır. Birleşme bölgeleri kaynaktan önce ilave metalle sıvanabilir. Kaynak dikişi oda sıcaklığına yavaş soğutulmalıdır.

2.3. GRİ VE TEMPER DÖKME DEMİRLERİN KAYNAĞI [4]

Bu grafit yaprakları dökme demire gri renk ve bazı özellikler verir. Gri dökme demir kaynak yapıldığı zaman, kaynak bölgesine yakın alanların sıcaklığı, kritik bir sıcaklık olan 790°C’ye yükselir. Döküm parça kaynak bölgesinin ve ısıdan etkilenen bölgenin ısını çekerek bu bölgelerin soğumasına (orjinal dökümün soğumasından daha hızlı) neden olursa; bu bölgelerde kırılma, çatlak oluşturma hassasiyetli yapılar elde edilir .

Yavaş soğumayı sağlamak için en iyi yöntem döküm parçayı ön ısıtmaya tabi tutmaktır . Fakat, bazı dökümlerde ön ısıtma yapılamaz. Kaynak yöntemi ve elektrod seçimi döküm parçasına ön ısıtma yapılabileceğine göre tespit edilir.

2.3.1. Elektrod Seçimi ve Kaynak Prosedürü: Pratik olarak gri dökme demir ve temper dökme demir kaynak işlemi aynıdır. Ana fark temper dökme demirlerde kaynak sonrası tekrar temperlemenin özelliklerinin kazanılmasının gerekli olmasıdır.

Küçük Parçalar: Dökme demirlerin kaynaklarının büyük kısmını küçük parçaların tamir kaynağı oluşturur. Küçük parçalara kolaylıkla ön ısıtma yapılabilir, kaynaklanabilir ve kaynak sonrası işlemek gerekmez. Bunlar genellikle iyi mukavemet değerleri ve düşük maliyeti nedeniyle genellikle E St elektrodlarıyla kaynak yapılır. Bu tip elektrodlar köşelere

V-kaynak ağızlarına, kirli ve yağ , su gibi sıvılarda çalışmış parçalara nüfuziyeti sağlamak için en iyi elektrodlardır. E Ni elektrodları temiz yüzeylerde daha iyi bir bağlama (yapışma) sağlar, kaynak dikişinin ve ergime bölgesinin yumuşak ve daha sünek olmasını sağlar.

E St elektrodlarıyla çok pasolu kaynak yapılmazsa kaynak dikişi işlenemez. E Ni elektrodlarıyla yapılan kaynaklar paso sayısı dikkate alınmaksızın işlenebilir. Soğuma hızını yavaşlatmak için küçük parçalarda (260°C) ön ısıtma önerilir. Ön ısıtmanın ek bir avantajı da kaynak yüzeyinden yağ ve suyun temizlenmesidir.

Büyük Parçaların Ön Isıtma Kaynağı: Ön ısıtma özellikle yüksek şoklara ve büyük yüklemelere maruz kalmış büyük parçalara önerilir. Önerilen yöntem parçayı sıcak-kızıl hal alıncaya kadar ısıtmak ve karbon arkı ile dökme demir ilave metaliyle veya dökme demir elektrodla (ECI(Electrodes for Cast Iron)) kaynağı yapmaktır. Bu yöntemle dökme demire en yakın kaynak metali elde edilir. Döküm yavaş soğutulursa kaynak metali işlenebilir.

Büyük Parçaların Ön Isıtmasız Kaynağı: Ön ısıtma yapılabilecek fırına sahip değilsek veya parça çok büyük ise, ön ısıtma yapmadan kaynağı yapmalıyız. Eğer parça küçük yüklerle yükleniyorsa ön ısıtma gerekmebilir. Bu uygulamalarda E Ni elektrodu kullanılır çünkü, bu elektrodlar ön ısıtma olmadan da yumuşak ve sünek kaynak metali sağlar.

Su Sızdırmaz Kaynaklar: Bu tip parçalarda ön ısıtma uygulanamayabilir çünkü, ön ısıtma yan yüzeylerin eğilmesine neden olabilir. Burada, döküm parça temiz, yüzey hazırlama iyi yapılmış olmalı ve düz kaynak yapılacak ise E Ni elektrodları çatlağa eğilimi düşük bir kaynak metali sağlar. Yığılan metal işlenebilir ve kaynak bölgesini tekrar ısıtmak ve yumuşatmak için ikinci paso kaynak yapılırsa, ısıdan etkilenen bölgede kolaylıkla işlenebilir. Eğer kaynak kolay ve düz pozisyonda yapılamıyorsa ve döküm kirli ise E St bir elektrod önerilir fakat hem yığılan metal hem de ısıdan etkilenen bölge sert olacaktır ve bu nedenle işlenemez .

Hataları Düzeltme: Döküm kaynağı genellikle dökümhanelerde hataları tamir etmek veya işleme hatalarını düzeltmek için kullanılır . En çok kullanılan uygulama E Ni elektroduyla kaynak yapmaktır. Elde edilebilecek en yumuşak kaynak bölgesine sahip olmak için mümkün olan yerlerde lokal ön ısıtma veya hızlı soğumayı engelleyebilecek birden fazla paso yapılmalıdır.

Çeliğin Dökme Demire Kaynağı: Çeliğin dökme demire kaynağında kullanılacak OERLIKON ürünleri Citochromax, E 106 ve Tenacito 196'dır. Hasar gören dökme demirler bazen hafif alaşımlı çeliklerle kaynaklanarak yamanır. Aynı zamanda, bazen çeliklerde üretim

sırasında dökümlerle kaynaklanır. Çeliğin dökme demirle kaynağıyla oluşan birleşim hiç bir zaman iki çelik parçanın kaynağında oluşan birleşimin tokluğuna ulaşamaz. Fakat bazen E St elektrodu ile yapılan kaynaklarda yeterli mukavemet sağlanabilir. Çelikle oluşan bağ güçlü fakat dökme demirle yapılan bağ genellikle kırılgandır. E Ni elektrodu dökme demirle daha sağlam bir bağ kurar fakat maliyeti yüksektir. Düşük maliyetli E St elektrodunun oluşturduğu curuf boyanacak yerlerden temizlenmelidir fakat bu temizleme işlemi ekstra bir maliyet getirir.

İnce saclarla dökme demirlerin kaynağının yapılacağı üretimlerde küçük çaplı, düşük hidrojenli E7018 (Supercito, Supercito F-30/4) elektrodları, düşük amperlerle uygulanmalıdır. Dökme demirlerde kaynak bölgesi kırılgan olacaktır, bu nedenle bu tür birleştirme büyük yüklerin ve eğme yüklerinin altında çalışacak parçalarda uygulanmamalıdır. Aynı zamanlarda su sızdırmaz kaynaklarda da bu yöntem önerilmez. E Ni elektroduna ucuz bir alternatif olması dolayısıyla özenli bir şekilde çalışarak kaynak yapılabilir. E 7018 (Supercito, Supercito F-30/4) elektroduyla yapılan kaynaklar genel bir temizlemeden sonra boyanabilir. Yanmış dökme demirleri (ızgara v.b.), kaynak yaparken en iyi sonucu verecek elektrod, OERLIKON ürünü Inox C'dir.

2.3.2. Tamir Kaynağı İçin Hazırlıklar:

Çatlakların Belirlenmesi: Dökme demirlerin kaynağı en çok çalışma sırasında oluşan çatlakların tamiri için kullanılır. Dökümlerdeki yüzey çatlaklarının yerlerini belirlemenin en basit yolu; hasar gören bölgeyi toz ve yağdan temizlemek için temizleyici (kerosene-soaked rag) sürülmeli, tüm çatlaklara sızması sağlanmalı sonra bu temizleyici kurulanmalıdır. Hemen ardından tebeşir tozu püskürtülmelidir. Bir iki dakika sonra çıplak gözle görülemeyen çatlaklar kerosenin tebeşir tozuna doğru yükselmesi sayesinde görülebilir olacaktır. Çatlak belirlemek amacıyla tasarlanan ve satılan özel penetrantlar bulunabilir. Kalıplarda kullanılan penetrant yöntemi de dökümlerdeki çatlakları belirlemede kullanılabilir.

Birleştirilecek Bölgenin Temizlenmesi: Dökümün temiz olduğundan emin olunmalı, yüzey su, yağ, pas ve diğer yabancı maddelerden arındırılmalıdır. Mümkün ise dökümün yüzeyi ince taşlama ile temizlenmeli böylece yüzey kum ve yabancı maddelerden de temizlenebilir. Özellikle E Ni elektrodu kullanılırken gözenek oluşumu engellemek için, çatlaklara ve boşluklara sızan yağ ve su da uzaklaştırılmalıdır. Bunun için en iyi yol; dökümü kısa bir süre kızıl sıcak hale ısıtmak veya daha düşük bir sıcaklığa (205°C) ısıtmak ve burada

yaklaşık bir saat bekletmektir. yağ ve sudan doyan dökümlerde ilk paso gözenek oluşturur fakat, daha sonraki pasolar bölgenin ısıtılmış olmasından dolayı daha iyi sonuç verir.

Kaynak Ağzının Hazırlanması: V-Kaynak ağzı hazırlanmalı böylece kaynak metalinin alanı malzemenin alanına eşit olur ve fazla nüfuziyet olmadan ve ana metalle ilave metal fazla karışmadan kaynak yapılabilir. Çatlak tamirinde, ark ısısı çatlakların ilerlemesine yol açabilecek gerilimler oluşturur. Bunu engellemek için, çatlak sonlarına delikler açılmalı, işleyerek veya başka bir yöntemle çatlak bölgesi çıkartılarak V-kaynak ağzı açılmalıdır. İş parçasının temiz ve kuru olduğundan emin olunmalıdır.

Ön Isıtma ve Son Isıtma: Eğer kaynaktan önce ön ısıtma yapılırsa ve çok yavaş soğutulursa daha yumuşak ve sünek bir kaynak bölgesi elde edilir. 205°C'ye kadar ön ısıtma genellikle yeterlidir fakat daha yüksek (480°C) ön ısıtmalar daha iyi sonuç verir. En iyi sonuç bu sıcaklığı kaynak süresince korumakla elde edilir. Eğer döküm, kaynak yaparken ön ısıtma sıcaklığının altına düşerse, soğumasına izin vermeden tekrar ısıtılmalıdır. Yavaş soğumayı sağlamak için, kaynak yapılmış döküm kaynaktan hemen sonra ısının yayılımı ve dökümün ani soğumasını engellemek için kirece, kuru kuma veya izole edebilecek bir malzemeye konulmalıdır .

Ön Isıtmasız Kaynak: Ön ısıtma döküm kaynağının tokluğunu arttırırsa da, küçük parçaların çoğu ön ısıtma yapmadan kaynak yapılabilir. Yavaş soğuma her zaman gereklidir. Yumuşak bir kaynak metali ve ısıdan etkilenen bölge isteniyorsa, ön ısıtmanın uygulanmadığı yerlerde iki paso kaynak yapılması önerilir. İlk paso, yavaş soğumayı, yumuşak ve işlenebilir kaynak metali için tavlamaı sağlayacak ikinci paso için, ön ısıtmayı sağlar.

Ön ısıtmasız kaynak yapılacak büyük parçalarda en önemli nokta, dökümün mümkün olduğu kadar soğuk tutmaktır. Küçük çaplı elektrodla, küçük amperlerde çalışılmalı. Kısa yığılı kaynaklar aralıklı olarak yapılmalı böylece, bir kısa paso yapılırken diğerinin soğuması sağlanmalıdır. Dökümün soğuması için kaynağın belli aralıklarla kesilmesi gerekir. Sıcaklığı düşük tutmanın en önemli nedeni farklı ısıtma ve genişmeden doğabilecek çatlakları önlemektir.

Ana Metal Karışımı : Boşluksuz ve curuf kalıntısız iyi bir ergime sağlayabilmek için yeterli akım kullanılmalı. Dökme demirin ergimesini en aza indirmek için her koşul sağlanmalıdır. E St elektroduyla kaynak yapıldığında ana metalle yapılan karışımdan dolayı yüksek karbonlu çelik kaynak metali elde edilir. Eğer bu metal hızlı soğursa çok sert, kırılğan olur, kırılabilir ve kaynak metali işlenemez.

E Ni elektrodu kullanmak bu sorunu çözer, çelik elektrodların tersine demirdışı alaşımlar dökme demir ana metallere yığıldığında fazla sertleşmezler. Bu nedenle, kaynak dikişi işlenebilir fakat, dökme demirin ergime bölgesine yakın bölgelerinde sertleşme çelik elektrodlarda olduğu gibidir.

Çekme Kontrolü: Çeliğin katılaşma sürecindeki çekmesi, dökme demirinkinden daha fazladır. Bu nedenle çelik elektrodan gelen ergimiş çelikle, dökme demire kaynak yaparken çelik kaynak metali dökme demirden daha çok çeker. Bu farklı çekmeler hem kaynak metalinde hem de dökme demirde gerilimler yaratır. Dökme demirdeki kök paso kaynak metali, eğer son ısıtma işlem uygulanmadan soğumasına izin verilirse çekme kuvvetleri altında olacaktır. Aynı zamanda, kaynak metalinin çekmesi nedeniyle dökme demirde gerilimler oluşur. Dökme demir daha yumuşak olduğundan malzeme kaynak yüzeylerinin dışından bir yerden kırılarak çalışamaz hale gelir. Eğer kaynak ince bir malzemedeyse, birbirine bağlı çatlaklar malzemenin kırılmasına neden olabilir.

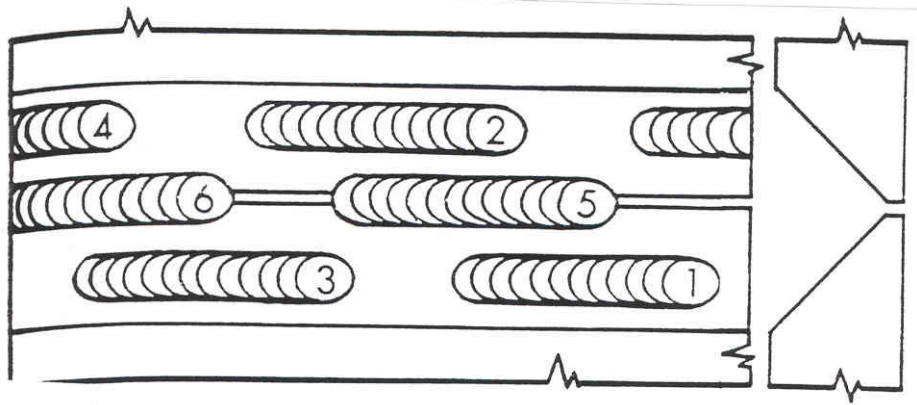
Gerilimleri azaltmak için kaynak kısa pasolarla yapılmalı ve her pasonun soğuması için yeterli zaman tanınmalıdır. Örneğin; 15 ile 30 saniye arasında kaynak yapıp, bu kaynağın soğuması için 3 ile 5 dakika beklenmelidir. İş parçalarının çeşitli bölgelerine kısa pasolar yapılmalı, operatör başka bir bölgeye kaynak yaparken daha önce yapılan kaynağın soğumasına ve çekmesine izin verilmelidir (Şekil 12). Diğer bir alternatif de kaynak metalini, soğumadan ve çekmeden, yuvarlak uçlu bir aletle hafifçe dövmek ve ezmektir. Bu işlem kaynak metalinin esnemesini sağlar. Pek çok durumda kısa kaynak ve kaynak dikişini ezmek en iyi kombinasyondur.

Yüksek Grafitli Dökümler: Büyük grafit yapraklarına çok miktarda sahip dökme demirlerin kaynağı zordur çünkü, kaynak metali grafit yapraklarına yapışmaz ve kaynamaz. Bunun yerine damlacıklar oluşturur, ergiyen döküm yüzeyinde çalışılmasını zorlaştırır. Bu en çok tekrar tekrar ısıtılan dökümlerde ; fırın parçalarında ve egzoz manifoldlarında olur. Dökme demirler için E St elektrodları için tasarlanan örtü, bu yapraksı grafitleri dışarı atar ve metalin yapışmasını kolaylaştırır.

Sıvama: Büyük V-kaynak ağzlarının kaynağında bazen yan yüzeyleri E St elektrodu ile çizgi halinde kaynak yapılır ve daha sonra geri kalan boşluk hafif alaşımlı çelik elektrod ile (E7018 (Supercito, Supercito F-30/4)) doldurulur. Bu işleme sıvama denir. İki yan yüzeyde yığılan metaller deformasyonsuz soğuduğu ve yığılan metalin küçük bir miktarı kalan boşluğu doldurduğu için gerilim altında kalır böylece çekme azaltılır.

Saplama: Daha önce açıklandığı gibi dökme demirin hızlı soğumasıyla birleşik karbonun miktarını artırır ve böylece sertlik ve kırılmalık artar, kaynak sınırının dışında mukavemet düşer. Dökme demirlerde, yeterli kalınlık varsa mekanik bir yöntem olan saplama ile mukavemet arttırılabilir. Çelik vidaların çapı yaklaşık 6.5 mm. ile 9.5 mm. arasında olabilir. Dökümlerdeki çatlaklar V- şeklinde kesilmeli, vida deliği ve dişleri açılmalıdır. Böylece vidalar 5 mm. ile 9 mm. arasında yüzeyin üzerinde olmalıdır ve en azından vidaları çapı kadar döküm parçanın içinde olacak şekilde vidalanmalıdır. Şekil 13 (a) saplamanın uygulanmasını göstermektedir.

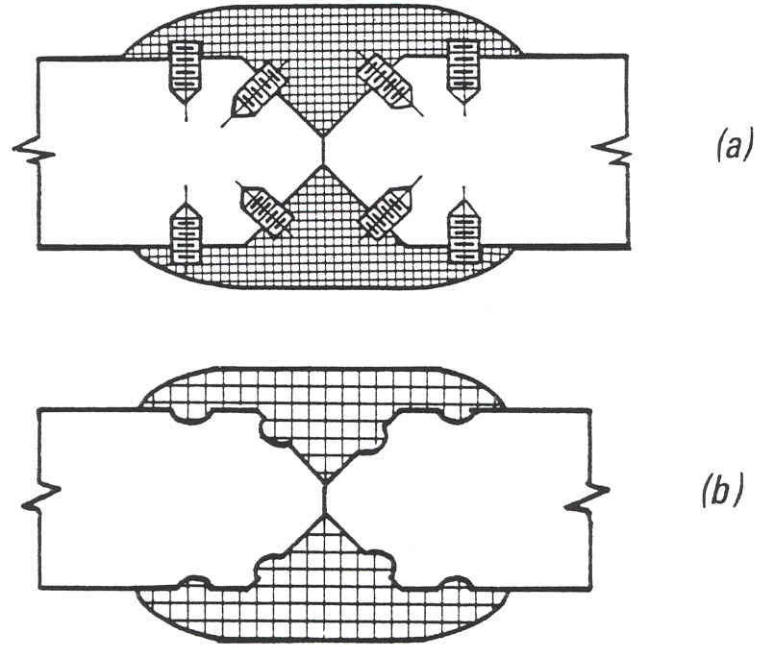
Vidaların kesit alanı kaynak yüzeyinin %25 ile %35'ini kaplamalıdır. Bu koşullar altında vidaların mukavemeti kaynak mukavemetini artırır ve korur. İlk olarak her vidanın etrafına bir iki paso kaynak yaparak, kaynaşmanın hem vidada hem dökme demirde sağlandığından emin olmak iyi bir uygulama olarak düşünülmektedir. Mümkünse düz



Şekil 12. Uzun Kaynak Ağzlarında Oluşabilecek Gerilimleri Azaltmak İçin Kısa Pasoların Yapılış Yöntemi. Her Pasoyu Soğumadan Ezmek veya Dövmek Gerilimleri Azaltır.

kaynaklardan kaçınılmalıdır. Kaynak aralıklarıyla yapılmalı ve her kaynak soğumadan önce ezilmelidir.

Eğer döküm yeterli kalınlıkta ise her iki yüzeyden V-kaynak ağzı açılması önerilir. Pek çok durumda, bu bölgede çok iyi nüfuziyet sağlanması istenir. Bazı durumlarda, saplama değil de kaynak ağzının şekillendirerek veya yuvarlak burunlu bir araçla döküme kaynağı kilitlemek daha iyi olabilir (Şekil 13 (b)) .



Şekil 13. a) Saplama Yapılmış Birleştirme, b) Kaynak Ağzını Şekillendirerek Kaynak Metalini Döküm Parçaya Daha İyi Yapılmasını Sağlanması, Saplamaya Alternatif Bir Yöntemdir.

2.4. KÜRESEL DÖKME DEMİRLERİN KAYNAĞI [3]

Küresel dökme demir ferrit veya perlit yapılı olduğundan kaynaklanabilir. Maksimum mukavemet ve süneklik istendiğinde parça tamamen tavlanmış durumda olmalıdır. Kaynak yaparken dikkat edilecek husus, çatlak oluşumunu engellemek için ısıtma ve soğutma hızlarını düşürmektir. Parça ne kadar karmaşık ve büyük ise o kadar uzun süre yüksek sıcaklıklarda ısıtma işlemi gerekir. Parçayı 290-400°C arasında ön ısıtma yapmak ve hızlı soğumasını engellemek için dışarıdan ısı verilmelidir. İyi bir nüfuziyet elde edebilmek için dökme demirin kaynak yüzeylerinden bir miktar malzeme işlenerek kaldırılmalıdır.

Küresel dökme demirler en ticari kaynak yöntemleriyle kaynak yapılabilir. Kullanılan yöntemi dikkate almaksızın küresel dökme demirler için üretilen elektrodları kullanmak en tercih edilen yöntemdir. Bu elektrodlar %60 nikel (Ni) ve %40 demir (Fe) kompozisyonuna sahiptir E 116 ve dökümün yapısını koruyarak kaynak yapabilmek için özel örtüleri vardır. Örtülü elektrod ark kaynağı için E 310-15, E 310-16 (Inox-C) ve E7018 (Supercito, Supercito F-30/4) elektrodları başarıyla uygulanabilir. Seyrelmeyi ve bölgesel ısınmayı en aza indirmek için en düşük amperlerde çalışılmalıdır .

Parçalar izoleli malzemeyle örtülmeli ve böylece yavaş soğuma sağlanmalıdır. En iyi sonucu almak için kaynak sonrası 435°C' de 4 saat veya 540°C' de 2 saat ısıl işlem yapılması gerilim gidermek için uygulanmalıdır .

3. ÖRNEKLER:

3.1. Dökme Demir Dişli Yuvasının Tamiri [6]:

Dişli yuvası çalışma sırasında çatlamış ve yağ sızıntısına neden olmuştur. Çelik malzemedan yeni taban üretilmiş ve döküme kaynakla birleştirilmiştir. Yuvayı güçlendirebilmek için çelik köşebentler eklenmiştir.

Yöntem:

Ana Metal: Küresel dökme demirin düşük karbonlu çeliğe kaynağı.

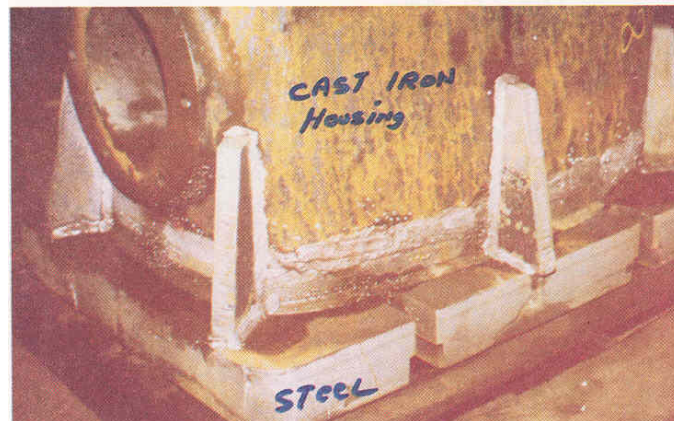
Kaynak Yöntemi: Örtülü elektrod ark kaynağı.

İlave Metal: ENiFeCI (E116), Ø 3.2 mm. ve Ø 4 mm.

Kaynak Parametreleri: DC, Elektrod pozitif kutupta, 95-150 A, 22-25 V.

Ön Isıtma Sıcaklığı: 315°C.

Pasolar Arası Sıcaklık: 370°C, kaynaktan sonra yavaş soğutma.



3.2. Dikey Torna Kulesinin Tamiri [6]:

Dikey torna kulesinin 1321mm çaplı alt tabanı aşınmıştır. Düşük karbonlu çelik halka ile kaynatılarak kullanılabilir hale getirilmiştir. Pasolar, çarpılmayı en aza indirecek şekilde yapılmıştır. Her paso kaynaktan sonra çekilenmiştir.

Yöntem:

Ana Metal: Gri dökme demirin düşük karbonlu çeliğe kaynağı.

Kaynak Yöntemi: Örtülü elektrod ark kaynağı.

İlave Metal: ENiFeCI (E116), Ø 3.2 mm. ve Ø 4 mm.

Kaynak Parametreleri: DC, Elektrod pozitif kutupta, 95-150 A, 22-23 V.

Ön Isıtma Sıcaklığı: 315°C.

Pasolar Arası Sıcaklık: 370°C, kaynaktan sonra çok yavaş soğutma.



KAYNAKÇA:

- [1] 'Welding Handbook', Cilt 4, American Welding Society, 1984, Böl. 5
- [2] 'Demir ve Çeliklerin Metalografisi' Prof.Dr. Erdoğan Tekin, Böl. 9
- [3] 'Physical Metallurgy', Avner, 1985.
- [4] 'The Procedure Handbook of Arc Welding' , The Lincoln Electric Company, 1994, Böl. 8.1.1- 8.1.6
- [5] 'Metals Handbook', American Society for Metals, 8. Baskı, 8. Cilt, 86-94
- [6] 'Guide for Welding Iron Casting' American Welding Society, 1989, Böl. 2