

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

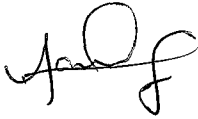
**SPIRAL KAYNAKLI MİKROALAŞIMLI PETROL VE
DOĞALGAZ BORU HATLARININ ÜRETİM
PROSESİNİN, MALZEME ÖZELLİKLERİNİN VE
KAYNAK PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ**

Metalurji Müh. Emre ATEŞ

**F.B.E. Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı Malzeme Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

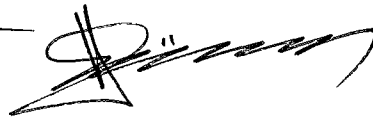
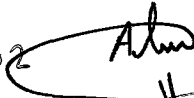
Tez Danışmanı: Prof. Dr. Adem BAKKALOĞLU



Prof. Dr. Adem BAKKALOĞLU,

Prof. Dr. Ahmet TOPUZ

Prof. Dr. Hicriye SAKAL



İSTANBUL, 2004

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	i
KISALTMA LİSTESİ.....	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	iv
ÖNSÖZ.....	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
1 GİRİŞ.....	1
2 PETROL VE GAZ BORU HATLARININ PARAMETRELERİ.....	2
3 BORU ÜRETİMİNDE KULLANILAN MALZEME ÖZELLİKLERİ.....	8
3.1 Mikroalaşımli Çeliklerde Termomekanik İşlemler.....	10
3.1.1 Birinci Sınıf Termomekanik İşlem.....	11
3.1.2 İkinci Sınıf Termomekanik İşlem.....	11
3.1.3 Üçüncü Sınıf Termomekanik İşlem.....	11
3.2 Mikroalaşımli Çeliklerin Üretimi.....	12
3.2.1 Mikroalaşımlama ve Mekanik Özelliklere Etkisi.....	12
3.2.2 Kontrollü Haddeleme.....	18
3.2.3 Kontrollü Haddelemenin Amacı ve İşlem Kademeleri.....	20
4 TOZALTI YÖNTEMİ İLE SİRİRAL DİKİŞLİ BORU ÜRETİMİ.....	24
5 TOZALTI KAYNAĞI.....	30
5.1 Tozaltı Kaynağı Metodunun Genel Prensipleri.....	30
5.2 Tozaltı Kaynağında Kullanılan Kaynak Telleri.....	31
5.3 Tozaltı Kaynağında Kullanılan Kaynak Tozları.....	31
5.4 Tozaltı Kaynağının Avantajları.....	32
5.5 Kaynak Parametreleri.....	33
5.6 Kaynak Sırasında Meydana Gelen Isıl Çevrimler.....	35
6 KAYNAK HATALARI.....	38
7 MİKROLAŞIMLI ÇELİKLER VE BORU HATLARINDAKİ GELİŞMELER..	52

8	DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	53
8.1	Seçilen Borunun Genel Özellikleri	53
8.2	Çekme Testi	56
8.3	Bükme Testi.....	57
8.4	Spiral Dikişin Makro Görüntüsü ve Geometrisi	57
8.5	Sertlik Testi.....	58
8.6	Charpy Darbe Testi	59
9	SONUÇLAR.....	62
KAYNAKLAR		64
ÖZGEÇMİŞ		67



SİMGE LİSTESİ

R_p	Akma dayanımı
R_m	Çekme dayanımı
A_{r3}	Östenit-ferrit dönüşüm sıcaklığı
T_R	Yeniden kristalleşme sıcaklığı



KISALTMA LİSTESİ

HSLA	Yüksek Dayanımlı Düşük Alaşım
COD	Çatlak Açılması
CE	Karbon Eşdeğeri
HIC	Hidrojen Kırılganlığı
HSCC	Hidrojen Gerilme Korozyon Çatlağı
SAW	Tozaltı Kaynağı
HAZ	Isının Tesiri Altındaki Bölge
API	Amerikan Petrol Enstitüsü
TMİ	Termomekanik İşlem
YSTİ	Yüksek Sıcaklık Termomekanik İşlemleri
DTSİ	Düşük Sıcaklık Termomekanik İşlemleri
TMH	Termomekanik Haddeleme



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Dayanç arttırımı ile elde edilen kütle tasarrufunun mikroalaşımli boru malzemelerde örnekleme	3
Şekil 3.1 Mikroalaşımli çeliklerde uygulanan sertleşme mekanizmalarının mekanik özelliklere etkisi	9
Şekil 3.2 TMI şematik diyagramları a)DSTİ b)YSTİ c)Isoforming	11
Şekil 3.3 Karbür ve nitrürlerin östenit içi çözünürlükleri	14
Şekil 3.4 NbC ve VN'un östenit içi çözünürlükleri	14
Şekil 3.5 Mikroalaşım elementlerinin tane boyutuna etkisi	15
Şekil 3.6 Mikroalaşımlamayla östenit yeniden kristalleşmenin engellenmesi	15
Şekil 3.7 Mikroalaşım elementlerinin darbe geçiş sıcaklığı ve akma sınırına etkisi	16
Şekil 3.8 Mikroalaşım elementlerinin ve hızlandırılmış soğumanın tokluk ve dayanım artışına etkileri	17
Şekil 3.9 Alaşım ve üretim şekline bağlı kalarak mikroalaşımli çeliklerin geliştirilmesi	18
Şekil 3.10 Kontrollü haddelemenin zaman-sıcaklık profili	20
Şekil 3.11 Farklı haddeleme yöntemlerinin gösterilmesi	21
Şekil 3.12 Çeliklerde uygulanan çeşitli sıcak haddeleme profilleri	21
Şekil 3.13 Kontrollü haddeleme prosesinde mikroyapı değişimleri	22
Şekil 4.1 Spiral dikişli boru üretiminde makine açısının şematik gösterimi	24
Şekil 4.2 Spiral boru fabrikasının akış şeması	25
Şekil 4.3 Banda spiral şeklin verilmesi	28
Şekil 4.4 İç kaynak prosesi	28
Şekil 4.5 Dış kaynak prosesi	29
Şekil 4.6 Boru makinasında kaynak akış şeması	29
Şekil 5.1 Tozaltı kaynak usulünün şematik prensibi	30
Şekil 5.2 Kaynak bölgesine oluşan mikroyapılar	36
Şekil 6.1 Kaynak dikişi ve sertlik gradyenti	39
Şekil 6.2 1067x15,88 mm ebatındaki borunun kaynak geometrisi	40
Şekil 6.3 1067x15,88 mm ebatındaki borunun gerçek / makro görüntüsü	40
Şekil 6.4 Kaynak bölgesindeki eksenden sapmalar	42
Şekil 6.5 Kaynaktaki çatlağın görüntüsü	43
Şekil 6.6 Kaynaktaki çatlağın floroskopideki görüntüsü	44
Şekil 6.7 Kaynak metalindeki gözenekler a) Yüzeydeki gözenek zincirleri b) Solucan tipi gözenek (enine kesit) c) İnce çatlaklar (boyuna kesit)	46
Şekil 6.8 Kaynak dikişindeki gözenekler	46
Şekil 6.9 Uzamış gaz boşluklarının floroskopideki görüntüsü	47
Şekil 6.10 Gaz boşluklarının floroskopideki görüntüsü	48
Şekil 6.11 Nüfuziyet noksanlığı	48
Şekil 6.12 Nüfuziyetsizliğin floroskopideki görüntüsü	49
Şekil 6.13 Nüfuziyetsizliğin ve kaynak akmasının floroskopideki görüntüsü	49
Şekil 6.14 Yanma olukları	50
Şekil 8.1 Malzemedan alınan numune ile yapılan çekme testi	56
Şekil 8.2 Kaynaktan alınan numune ile yapılan çekme testi	56
Şekil 8.3 Spiral kaynak dikişinin makro görüntüsü	57
Şekil 8.4 Numune üzerindeki sertlik noktaları	58
Şekil 8.5 Baz metal üzerindeki enerji-sıcaklık grafiği	59
Şekil 8.6 Kaynak üzerindeki enerji-sıcaklık grafiği	60
Şekil 8.7 HAZ üzerindeki enerji-sıcaklık grafiği	61

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 Arazi özelliklerine göre boru hattı inşaatının zorluk dereceleri	4
Çizelge 2.2 Boru hattı parametreleri	6
Çizelge 3.1 API 5L-42’de belirtilen çelik kriterleri	9
Çizelge 6.1 Tozaltı kaynağında dikişin formu üzerine tesir eden faktörlerin tesir şiddetleri ...	41
Çizelge 8.1 İncelemesi yapılan borunun genel tanımlaması.....	53
Çizelge 8.2 Seçilen borunun boyutsal özellikleri.....	54
Çizelge 8.3 Kimyasal analiz değerleri.....	55
Çizelge 8.4 Bükme testi.....	57
Çizelge 8.5 Spiral dikişin geometrisi	58
Çizelge 8.6 Kaynak üzerindeki sertlik gradyenti	58
Çizelge 8.7 Baz metal üzerinde yapılan test sonuçları.....	59
Çizelge 8.8 Kaynak üzerinde yapılan test sonuçları	60
Çizelge 8.9 HAZ bölgesi üzerinde yapılan test sonuçları	60



ÖNSÖZ

“SİRAL KAYNAKLI MİKROALAŞIMLI PETROL VE DOĞALGAZ BORU HATLARININ ÜRETİM PROSESİNİN, MALZEME ÖZELLİKLERİNİN VE KAYNAK PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ” adlı yüksek lisans tezimin hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Adem BAKKALOĞLU’na teşekkürlerimi arz ederim.

Ayrıca deneysel çalışmalarda gerekli tüm imkanlardan faydalandığım NOKSEL ÇELİK BORU A.Ş.’ye teşekkürlerimi sunarım.

Emre ATEŞ



ÖZET

Gelişen dünyada enerji ihtiyacı hızla artmaktadır. Bu neden ile bir taraftan mevcut enerji kaynaklarının işletilmesi ve üretimlerin ileriki yıllar için planlanması için çalışmalar yapılır iken diğer taraftan ihtiyaç duyulan enerjinin mevcut kaynaklardan taşınması için verimli sevkiyat alternatiflerinin gelişimi devam etmektedir. Soğuk bölgeler, çöller ve deniz diplerinde kullanım için dizayn edilebilen boru hatları en sık rastlanan örneklerdir.

Bu gelişmeler ile birlikte petrol ve doğalgaz kaynaklarının gelişmiş ülkelere ulaştırılmasında boru hatları artan miktarda kullanılmaya başlanmıştır.

Daha hızlı ve verimli bir sevkiyat sürdürebilmek için boru hattı malzemeleri, kaynak özellikleri tüm doğal koşullara göre adapte edilerek sürekli bir gelişim içerisinde bulunmaya başlamıştır.

Bu gelişmelerin başında düşük alaşımlı yüksek dayanımlı (HSLA) çeliklerin kullanılması gelmektedir. Bu mikro alaşımlı çeliklerin (ör. X-42, X-52, X-65-X70-X90) gelişmesi ile birlikte yüksek dayanımlı çeliklerin kullanım miktarları büyük derecede artış göstermiştir.

Hammaddelerin dayanım ve tokluk özelliklerinin iyileştirilmesi mikroalaşımlama ve kontrollü haddeleme ile sağlanmıştır. Bu prosesler ile kaynak edilmeye uygun karbonlu ve yüksek dayanımlı çelikler üretilmiştir.

Bu duruma paralel olarak tozaltı spiral kaynak için de parametre iyileştirmeleri beraber gelişmiştir. Nihai olarak ince et kalınlıkları kullanılarak (yüksek mukavemetli çeliklere doğru geçiş) daha yüksek basınçlar (yüksek transport hızlarına) sağlanmıştır. 1965'lerde ortalama 66 bar olan işletme basınçları artan çap ve çelik dayanımların artışı ile birlikte günümüzde 1400-1600 mm'lik çaplara ve 150 bar'lık işletme basınçlara ulaşılmıştır.

Bu çalışmada Bakü-Ceyhan-Tiflis boru hattının Türkiye'de NOKSEL – BORUSAN MANNESMANN – ÜMRAN konsorsiyum ile üretimi yapılan 1067 x 15.88 mm'lik boruların kimyasal, mekanik, hammadde mikro ve makro yapı özellikleri ve kaynak parametreleri incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: mikroalaşımlama, spiral kaynaklı boru, tozaltı spiral kaynağı, X-65, boruhatları, düşük alaşımlı yüksek dayanımlı, kaynak parametreleri, API 5L.

ABSTRACT

In the developing world the consumption of energy is increasing rapidly. Because of that, while running current energy sources and making plans for coming years, the innovation of efficient transportation alternatives for the transport of the required energy is continuing. The pipelines those could be designed for cold regions, desert and the conditions under seaground are the most common examples of these.

Together with these improvements the pipelines are started to be used to transport oil and gas to developed countries.

In order to sustain a rapid and efficient transportation, the pipeline materials and welding properties are being in a continuous improvement in order to adapt to the natural conditions.

The first of these improvements are the developments in high strength low alloy (HSLA) steels. With advances in microalloyed steel production (X-42, X-52, X-65-X70-X90) the usage of the high strength low alloyed steels has increased rapidly.

The improvement of strength and toughness have been obtained by microalloying and controlled rolling. With those processes high strength steels with good weldability (low carbon) were produced.

In line to these, parameter improvements have developed for submerged arc welding process as well. Finally, by using thin wall thicknesses, higher pressures have been achieved. In 1965's the working pressures were about 66 bar, however today the increasing in diameters and steel strengths caused the pressure to reach to 150 bar and the diameter to 1600 mm.

In this essay chemical, mechanical, the macro/micro structure properties and the welding parameters of the size 1067 x 15,88 mm which has been produced by NOKSEL-BORUSAN MANNESMANN-UMRAN consortium has been studied.

Keywords: microalloying, spirally welded pipes, submerged arc welding, X-65, pipelines, high strength low alloy steels, weld parameters, API 5L

1. GİRİŞ

Petrol ve gaz boru hatları enerjinin ihtiyaç duyulan kullanım yerlerine aktarılmasında kullanılır. Bu taşıma ham petrolün işlenmesi için rafinerilere doğru da yapılabilir. Uzun mesafeli boru hattı ekonomik bir taşıma aracı olarak yüksek miktarlarda kullanılmaktadır. Ayrıca ihtiyaçlar çerçevesinde teknik olarak gelişmeleri de beraberinde getirmektedir.

Bir boru hattı, optimum çalışma basıncı, sıcaklık ve akış hızında, güvenli bir işletme ortamında uzun süre çalışmaya yönelik dizayn edilir. Boru hattı her çeşit arazi koşullarına uygun olarak planlanabilir.

Daha verimli ve daha yüksek bir basınçta bir boru hattının çalışabilmesi için mümkün olan en büyük boru çapı seçilir. Ancak iç çap büyürken daha fazla et kalınlıklarına ve esas olarak dayanıma ihtiyaç duyulur. Bu dayanımın sağlanabilmesi için mikroalaşımli çelikler ve bunlardaki gelişmeler yardımcı kullanılır.

Büyük et kalınlıklarının kaynaklanabilmesi için ise tozaltı kaynak yöntemi kullanılır. Tozaltı kaynak yöntemi ile büyük bir ermiş banyo edilir ve çok iyi bir nüfuziyet sağlanır. Bunun yanında HAZ bölgesi de küçük olur.

Burada boru hatlarında kullanılan mikroalaşımli çelikler, tozaltı kaynak yöntemine etki eden parametreler ve bunların kaynak dikişi üzerindeki etkileri incenmiş olup, bu değişkenler 1067 x 15.88 mm boru numunesi ile örneklenmiştir.

2. PETROL VE GAZ BORU HATLARININ PARAMETRELERİ

Tüketimi büyük olan ve devamlı kullanılan sıvıların ve gazların (petrol, su ve doğalgaz gibi) uzun mesafelere nakledilmesi bilindiği gibi boru hatları ile yapılmaktadır. Kalkınmakta olan ülkemizde bilhassa son yıllarda, ekonomik bir enerji kaynağı olmasının yanında çevre kirliliği açısından avantajları sebebiyle doğal gazın yaygın olarak kullanılması ve büyük şehirlerin su problemlerinin çözümünde ve petrol naklinde, boru hatlarının kullanımı büyük bir artış göstermiştir (Kurttepe, 1999).

Ham petrol ve doğal gaz taşıma boru hatları, bu enerji kaynaklarının üretim alanlarından endüstriyel kullanım yerlerine ve yerleşim merkezlerine aktarımını sağlar. Boru hatları ile taşımacılığın gelişmesi 70'li yılların başlarında enerji üretim sanayinin birçok problem ile karşılaşması ile ilişkilidir.

Geleneksel petrol ve gaz alanları endüstrinin en önemli merkezlerinde bulunmaktaydı. Bu alanlar mümkün olan azami üretim hacmine ulaşınca petrol ihtiyacındaki artış yeni petrol ve gaz alanlarının geliştirilmesiyle karşılanabilirdi. Bu yeni alanlar enerjinin ihtiyaç duyulduğu alanlara uzak yerlerde kuruldu. Sonuç olarak petrol ve gaz boru hatlarının uluslararası önemi yeni bir boyut kazanmış oldu.

Ham petrol işlenmek üzere üretim merkezlerinden rafinerilere uzun mesafeli boru hatları ile taşınır. Rafineriler genellikle tüketim merkezlerine yakın yerlere kurulur. Eğer arada bir gemi taşıması gerekli ise boru hatları petrol alanları veya rafinerilerin limanlara bağlantı yapmasını sağlayacak şekilde kurulurlar. Bunun tam aksine doğal gaz birinci enerji olarak kullanıldığı için uzun mesafeli taşıma hatlarına endüstriyel veya kişisel tüketiciye kadar ulaştırılır. Taşıma lokal tedarik sistemlerinin ulaştırma noktalarında son bulur (Weisweiler ve diğerleri, 1987).

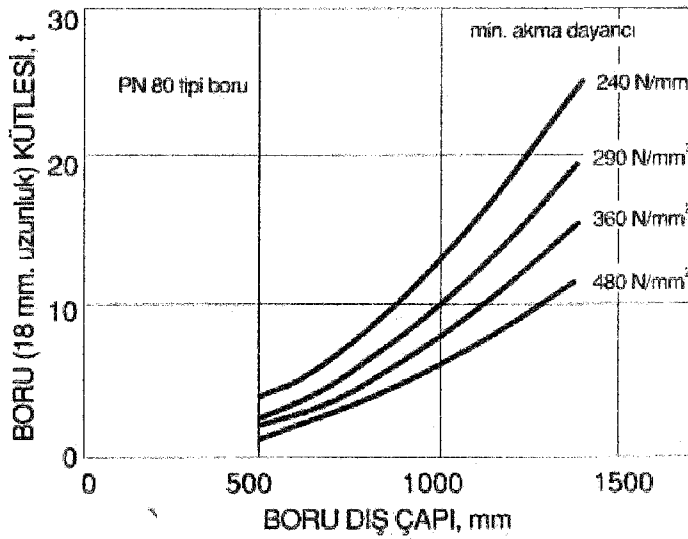
Şu anda mevcut dünya üretim hacmi ve gaz rezervlerinin coğrafik konumuna bakılırsa en büyük rezervlere ve üretim hacimlerine sahip ülkeler üretilen enerjinin asıl tüketicileri değildir. Kendi yeterli enerji kaynaklarına sahip endüstriyel ülkeler bile gerçek tüketim merkezlerine çok uzakta bulunmaktadır.

Ham petrol ve doğal gaz taşımacılığı hem bireysel olarak ülkeler açısından hem de uluslararası açıdan hayati bir öneme sahiptir. Burada en önemli adım uzun mesafeli boru hatlarının hayata geçirilmesi ile artmıştır. Uzun mesafeli boru hatları aşırı soğuk, donmaya yüz tutmuş ve ıslak alanlar veya derinliği 600 m'yi bulan deniz yatakları gibi birçok zor şartlarda bile taşımacılığın en güvenli ve en ekonomik yöntemi olmuşlardır (Weisweiler ve diğerleri, 1987)

Türkiye, son yıllarda yapımı hız kazanan petrol ve doğal gaz boru hatları ile enerji köprüsü olmaya aday bir ülke haline gelmiştir. Doğal gazın enerji maliyeti önemli bir oranda ulaşım maliyetine bağlı olup, ekonomik ulaşım ise ancak yüksek basınçlı ve büyük çaplı boru hatlarıyla mümkün olmaktadır. Bir boru hattının ekonomik olup olmaması borunun döşemesindeki koşullara ve dizayn parametrelerine çeşitli şartlar ile bağlıdır. Son kararlar projeye ilgili sonuçlara ve mümkün olan en güvenli şartlarda teknik optimizasyona dayanır. Dizayn hesaplamaları akışkanlar mekaniği ile ilişkilidir. Akışkanlar mekaniği sürtünmenin de etkisini hesaba katarak, akış özelliklerinin enerji dengesinden yola çıkılarak bulunur (Kahraman ve diğerleri)

Boru çapı bir boru hattının kapasitesini önemli ölçüde etkilediğinden mümkün olan en büyük boru çapı seçilir. Bu özellikle gaz boruları için geçerlidir. Fakat iç çapın büyümesi daha fazla duvarkalınlığında ve/veya borunun daha yüksek mukavemet ve tokluğa sahip olmasını gerektirir. Bu nedenle borunun geometrik ve mekanik özellikleri boru hattı kurulmasında ana kriterlerdir.

Alaşımsal dizaynının genel anlamda dayanca bağlı olarak gösteriminin ana nedeni, artan dayançla beraber kütle tasarrufunun eldesidir (Şekil 2.1). Temel mekanik özelliklerden olan tokluk, dayancın yanında alaşım geliştirilmesi açısından büyük rol oynamıştır. Gemi yapımı, off-shore konstrüksiyonları, basınç kazanları ve dikişli boru imalatındaki yaygın uygulama nedeniyle kaynaklanabilirlik, alaşım dizaynını aynı derecede etkileyen bir başka özellik olmuştur.



Şekil 2.1 Dayanç arttırımı ile elde edilen kütle tasarrufunun mikroalaşımlı boru malzemelerde örneklenmesi (Teknik Yayınlar, 1994)

Maksimum kapasiteli gaz taşıma borularının ekonomik ve güvenli olması için önemli şart mümkün olan en ince duvar kalınlığında sahip en geniş çaplı borular kullanmaktır. Burada önemli olan bir nokta da aşırı yüksek basınçlara dayanıklı mukavemet ve tokluğa sahip boruların kullanılmasıdır. Boru hattı ağlarının gelişimi analiz edildiğinde artan boru çapları ve yüksek işletme basınçlarına doğru bir eğilim gözlenmektedir. Söz konusu bu yüksek basınçlarda hattın (yani borunun) dayanıklılığı sadece boru çapına, et kalınlığına ve malzemenin yapısına değil aynı zamanda kaynak dikişinin kalitesine de bağlıdır (Kurtteveli, 1999).

Kaynaklı çelik boru hatları, değişik bileşimlerde ve özel çalışma koşullarında uzun mesafeler boyunca su, gaz, ham petrol gibi maddeleri taşımaktadır. Bu sebeple farklı talepler göz önüne alınmalıdır:

- Uygun fonksiyonellik (akış hızı, çalışma basıncı, sıcaklık...)
- Beklenmeyen risk olmaması (malzeme ve kaynakta hata olmaması, işletme güvenliği)
- Uzun ömür (mekanik ve elektrokimyasal etkiler: toprak kayması, vibrasyon, iç ve dış yüzeylerde korozyon)

Boru hatlarının inşaatında arazi topografyası da hattın hazırlanmasına dair önemli bir parametredir. Çizelge 2.1’de arazi özelliklerine göre zorluk dereceleri görülmektedir.

Çizelge 2.1 Arazi özelliklerine göre boru hattı inşaatının zorluk dereceleri (Weisweiler ve diğerleri, 1987)

Arazi Tipi	Zorluk Derecesi
Yeşil ve boş alan	1,0
Ormanlar	1,0 – 1.25
Yüksek dağ etekleri	1.25 – 1.50
Çöller	1.40 – 1.70
Bataklıklar	1.50 – 2.00
Deniz seviyesinin 50-100 m altı	1.80 – 2.20
Dağlık arazi	2.00 – 2.50
Deniz seviyesinin 150-500 m altı	2.20 – 2.50
0 derecenin altındaki donmuş arazi koşulları	2.40 – 2.70
Kutup bölgeleri	2.50 – 2.90
Deniz seviyesinin 500-2000 m altı	2.50 – 3.00

Geliştirilen tekniklerle akma dayanımı yüksek ve tokluk özellikleri iyileştirilmiş yeni boru çelikleri üretiminde önemli aşamalar elde edilmiştir. 1960’ların sonlarında da termomekanik

işlemlerle üretilen HSLA çelikleri geliştirilmiş ve günümüze dek yaygın olarak kullanılagelmıştır.

Petrol ve gaz endüstrisinde kullanım amacıyla geliştirilen boru hatları, temel metalurjik etkilere dayalı bir tasarımın ne denli güvenilir olduğunu açıkça gösteren HSLA çeliklerinin tipik kullanım alanlarının başında gelmektedir. Modern üretim teknikleri kullanılarak HSLA çeliklerinin haddehane tesislerinde makul düzeyde harcama ve verimlilikle oldukça iyi metalurjik özelliklerde üretilmeleri olanaklıdır (Ponschab, 1998).

Günümüzde kullanılan boru hatları çeliklerinde belirli bir tokluk düzeyi ile düşük sıcaklıktaki süneklik özellikleri, iyi kaynaklanabilirlik ve yeterli mukavemet değerleri ile birleştirilmiş olmalı ve gerektiğinde güç koşullara karşı direnci yüksek olmalıdır.

Boru hatlarında önemli olan bir nokta da denizsuyu ve toprağın altındaki boruları etkileyecek dış korozyona sebep olan etkenleri azaltmaktır. Bu amaçla boru hatları pasif ve aktif korozyon koruyucuların bir kombinasyonu ile korunurlar.

Pasif korozyon koruması tercihen her boruya birkaç mm'lik polietilen kaplamanın uygulanması ile sağlanır. Bu işlem genellikle boru üretiminde yapılır. Tamamlayıcı aktif korozyon koruması ise kaplamanın altındaki boru yüzeyinden demirin çözülmesinin imkansız hale gelmesini sağlayacak bir düzeyde elektronegativite yüklenmesini kapsar.

Boru hatlarının işlevsel ve ekolojik olarak güvenilirliğinden emin olmak için boru hattı hatalarındaki sebeplerin belirlenmesi ve engellenmesi hayati önem taşımaktadır.

Toprağa gömülü boru hatlarında aşağıdaki tipte hasarlar oluşabilir:

- üretim kaynaklı boru hataları, kaynak hatası
- kaynak işlemi esnasında meydana gelen boru bağlantılarındaki hatalar
- taşıma veya boru hattı inşaatı esnasında oluşan hasarlar
- hesaba katılmayan yüklerin neden olduğu aşırı yükler / gerilmeler
- korozyon
- diğer doğal sebepler, yer sarsıntıları

Bir boru hattı için borunun boyutlarını ve çelik kalitesini seçerken karar vermede etkili en önemli parametre boru hattının içinden geçecek maddelerin hacmidir. Sırasıyla borunun iç

çapı ve işletme basıncı belirlenir. Borunun cidarına etki eden mekanik yük ve çap ve iç basınçla orantılı olarak artar. Bu nedenle çap ve basınçtaki bir artışın olması et kalınlığının ve/veya çeliğin mukavemet özelliklerinin artmasını gerektirir.

Çizelge 2.2: Boru hattı parametreleri

Kalite Özellikleri Gerilme Çeşitleri ve Nedenleri			Medium						Route						Boru Döşeme	
			Çıkış hızı	İç Basınç		Sıcaklık		Korozif Bileşenleri		Yer üstü/yer altı	Maden bölgesi	Yüksek sıcaklık farklılıklarına maruz bölgeler	Deprem bölgeleri	Korunan bölgeler	Girth kaynağı	Denizdibi boru döşeme
				Çalışma basıncı	Anl basınç	Düşük	Değişken	Hidrojen çatlağı	Gerilme korozyon çatlağı							
Boru Geometrisi	Boru gövdesi	İç çap	x	x				x	x	x	x	x		x	x	
		Et kalınlığı	x	x	x		x		x	x	x	x	x	x	x	
		Ovalite			x		x		x	x	x	x		x	x	
		Tepe noktası			x		x		x		x			x	x	
		Doğrusallık												x	x	
	Kaynak	Yükseklik			x		x									
		Açı			x		x									
		Çentik			x		x									
Dayanım özellikleri	Boru gövdesi	Akma Dayanımı(Rp)	x	x	x		x		x	x	x	x	x		x	
		Çekme Dayanımı(Rm)		x	x		x		x		x	x	x		x	
		Uzama		x	x		x		x	x	x	x	x		x	
		Sertlik						x	x							
	Kaynak	Çekme Dayanımı(Rm)	x	x	x		x		x	x	x	x			x	
		Sertlik							x							
Tokluk özellikleri	Boru gövdesi	Çentik Darbe Enerjisi		x	x	x	x			x			x			
		Düşme-ağırlığı yırtılma enerjisi		x	x	x							x			
	Kaynak	Çentik Darbe Enerjisi		x	x	x	x			x			x			
		Çatlak açılması (COD)		x	x	x	x						x			
Kimyasal Kompozisyon	Boru gövdesi	Bireysel elementler	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	
		Karbon eşdeğeri (CE)											x	x		
Korozyon Özellikleri	Boru gövdesi	Hidrojen çatlağı (HIC)						x								

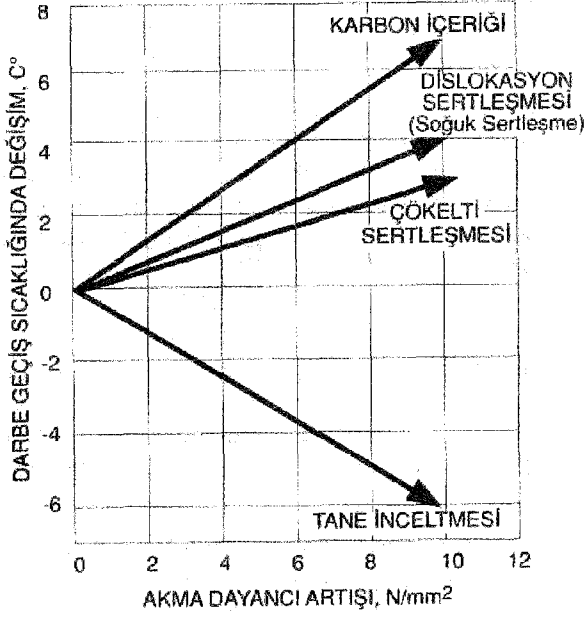
3. BORU ÜRETİMİNDE KULLANILAN MALZEME ÖZELLİKLERİ

Günümüzde mikroalaşımli çelikler özellikle boru hatları gibi yüksek dayanç ve darbe dayanımı gerektiren yerlerde oldukça yoğun bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Bu nedenle de boru hatlarının gereksinimlerini karşılamak için çelik üretim tesislerinde, gerek kimyasal bileşim gerekse haddeleme proses parametreleri ile ilgili olarak bir çok araştırma yapılmaktadır. Bu tip malzemelerde istenilen optimum dayanç ve süneklilik ile beraber yüksek kaynaklanabilirlik için uygun termomekanik haddeleme prosesi ve mikroalaşım elementlerin kullanımı belirlenmiştir (Bıyıklı ve diğerleri, 2001).

Son yıllarda, yüksek dayançlı boru çelikleri kullanım yerleri dikkate alındığında gerek gaz gerekse petrol taşımacılığında çok önemli bir yer teşkil etmektedir. Bu tip çeliklerden özellikle API X65, X70 ve X80 gibi kaliteler boru üreticilerin ihtiyaçlarına uygun mikroalaşımli çeliklerdir. Mekanik özellikler açısından yüksek dayanç, düşük darbe geçiş sıcaklığı ve iyi bir kaynaklanabilirlik özelliklerinin birleşimi ile bu çelikler kullanım sırasında çalışma şartlarına oldukça dirençli malzemeler haline gelmişlerdir. Mikroalaşımli çelikler bu mekanik özelliklere çelik üretimi ve haddelemesi sırasında termomekanik işlem adı verilen özel bir işlem uygulaması sonucu sahip olurlar (Sheet Products&Process Research Team, 1998).

Termomekanik haddelenmiş çeliklerde mikroyapıda istenen özelliklerin sağlanması haddeleme prosesi ile çok ilgilidir. Mikroyapıda, çelik özelliklerinde istenilen yüksek dayanç, süneklilik ve kaynaklanabilirlik için ferrit tane boyutunu küçültmek en etkili yöntemdir. Yeniden kristalleşme olmaksızın deformasyon ile östenit tanelerinin uzamasına ilaveten dinamik veya statik yeniden kristalleşme sonucu tane boyutunu küçültme termomekanik haddeleme prosesinin ana özelliğidir. Böylece östenit-ferrit dönüşümünden sonra yapıda küçük ferrit taneleri oluşur.

Şekil 3.1’de değişik sertleştirme mekanizmalarının mikroalaşımli çeliklerin dayanç ve tokluk özelliklerine etkileri gösterilmiştir. Tane inceltme mekanizmasıyla dayanç ve tokluk aynı anda artırılmıştır. Çökelti ve dislokasyon sertleşmesi mekanizmaları ile dayancın daha da artışı öngörülmüştür. Ancak bu tip dayanç artışı tokluk kayıplarına (=darbe geçiş sıcaklığında artışı) neden olur (Bakkaloğlu, 2000).



Şekil 3.1 Mikroalaşımli çeliklerde uygulanan sertleştirme mekanizmalarının mekanik özelliklere etkisi (Bakkaloğlu, 2000).

Endüstride petrol ve gaz boru hatlarında yaygın olarak kullanılan uluslararası API 5L üretim standardındaki çelik kaliteleri Çizelge 3.1’de belirtilmiştir.

Çizelge 3.1: API 5L-42’de belirtilen çelik kaliteleri (API, 2002).

Kalite & Sınıf	C (max, %)	Mn (max, %)	P (max, %)	S (max, %)	Ni+V+Ti (max %)
----------------	------------	-------------	------------	------------	-----------------

PSL 1:

A25 C I I	0.21	0.60	0.030	0.030	
A25 C I II	0.21	0.60	0.080	0.030	
A	0.22	0.90	0.030	0.030	
B	0.26	1.20	0.030	0.030	0.15
X 42	0.26	1.30	0.030	0.030	0.15
X 46, X 52, X 56	0.26	1.40	0.030	0.030	0.15
X 60	0.26	1.40	0.030	0.030	0.15
X 65	0.26	1.45	0.030	0.030	0.15
X 70	0.26	1.65	0.030	0.030	0.15

PSL 2:

B	0.22	1.20	0.025	0.015	0.15
X 42	0.22	1.30	0.025	0.016	0.15
X 46, X 52, X 56	0.22	1.40	0.025	0.017	0.15
X 60	0.22	1.40	0.025	0.018	0.15
X 65	0.22	1.45	0.025	0.019	0.15
X 70	0.22	1.65	0.025	0.020	0.15
X 80	0.22	1.85	0.025	0.021	0.15

Mikroalaşımli çeliklerde kullanılan maksimum % 0,2 civarında karbür veya nitrür yapıcı alaşımlar çeliğin doğrudan ya da dolaylı olarak dayanç ve/veya diğer özelliklerini etkilerler. Alaşımlandırma olarak da Nb, V ve Ti kullanılır. Termomekanik işlem sırasında çökeltilerin şekli ve dağılımları değişir.

3.1. Mikroalaşımli Çeliklerde Termomekanik İşlemler

Geçmişten günümüze çelikler için gerekli olan dayanımı sağlamada kullanılan en etkili ve en önemli kimyasal element karbon olmuştur. Fakat karbon elementi çeliğin kaynaklanabilirlik ve şekillendirilebilirlik gibi özelliklerine olumsuz etkide bulunduğundan çeliklere uygulanan ve bu şekildeki dayanç arttırma işlemleri sınırlandırılmıştır. Bu yüzden de konstrüksiyonlarda emniyet için gerekli olan dayanım ve tokluk artırımının birlikte sağlanması amacı ile sertleştirme ve menevişleme gibi maliyet arttırıcı olan ısı işlemlere başvurulmuştur. Yüksek dayanımlı çeliklerin daha geniş uygulaması için, bugün, karbon uygulaması yerine geçen alternatif dayanım kazandırıcı mekanizmalar önerilmiştir.

Bu mekanizmalar içerisinde hem dayanımı hem de tokluğu arttıran en etkili yöntem tane küçültmektir. Termomekanik haddeleme prosesi, bu amacı gerçekleştirmek için kullanılan endüstriyel bir teknolojidir (Yüksel, 2001).

Termomekanik işlem terimi, malzemenin mekanik özelliklerini geliştirmek amacıyla mekanik işlem ile ısı işlemin kontrollü bir şekilde bir arada uygulandığı işlemleri kapsamaktadır. Bu işlemlerle konvansiyonel ısı işlem ve mekanik işlemlerin ayrı ayrı uygulanması ile elde edilemeyen mikroyapı ve özellikler sağlanır.

Termomekanik işlem (TMI), plastik şekil verme ve ısı işlemin uyumlu bir kombinasyonudur. Bu işlemde, ilk yapıda daha doğrusu belirli bir reel yapıda plastik şekil vermeye meydana gelen kafes hatalarından yararlanılır. Bu yöntemle alışılmış tarz ısı işlem ya da şekillendirme sıcaklığından yapılan soğutma ile ısı işleme nazaran, konstrüksiyon parçalarında ve takımlarda çok daha yüksek dayanım ve aşınma dayanımı elde edilir.

Mekanik özellikler için etkin olabilecek mekanizmalardan (dislokasyon sertleşmesi, katı çözelti sertleşmesi, tane sınırı sertleşmesi, çökeltme sertleşmesi) optimal olarak yararlanabilmesi ve malzemedeki beklentilerin farklı oranlarda müştereken en iyi oranlarda karşılanabilmesi için, malzeme bileşiminin ve termomekanik işlemin birbiriyle uyum içerisinde olması gerekir. Çeliklere uygulanan termomekanik işlemler üç grupta toplanmıştır.

3.1.1. Birinci Sınıf Termomekanik İşlem

Bu işlemde deformasyon östenitin kararlı olduğu A3 sıcaklığının üstündeki sıcaklıklarda yapıp su verilerek martenzit dönüşümü sağlandığında **YÜKSEK SICAKLIK TERMOMEKANİK İŞLEMİ (YSTİ)** olarak adlandırılır. Bu tarz işlemin, mevcut şekillendirme teçhizatlarına çok iyi uyumu olduğundan, yaprak yay, beton çeliği, yüksek dayanımlı çelikler (kontrollü haddeleme ve kontrollü soğutma) ya da kalıpta dövme parçaları gibi çok geniş kullanım alanı mevcuttur ve yaklaşık olarak tüm alaşımsız ve alaşımlı çeliklerde uygulanır.

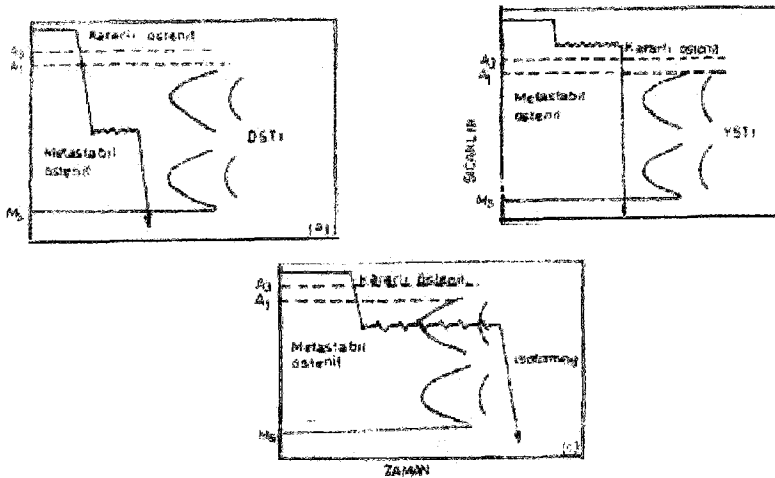
Deformasyon A1 sıcaklığının altındaki kararsız östenit bölgesinde gerçekleştirilirse, bu işlem **DÜŞÜK SICAKLIK TERMOMEKANİK İŞLEMİ (DSTİ)** olarak adlandırılır.

3.1.2. İkinci Sınıf Termomekanik İşlem

Östenit dönüşümü sırasında şekillendirmenin yapıldığı 2. grup TMİ yöntemlerinde perlit kademesi sahasında ara kademe veya perlit kademesinde şekillendirme söz konusudur. Şekillendirme olayının kombinasyonu ile dönüşüm, şekillendirilmeyen malzemeye göre daha hızlı meydana gelir.

3.1.3. Üçüncü Sınıf Termomekanik İşlem

Bu grup işlem ilk işlem olup östenit, martenzit veya ferrit-perlit yapısına dönüştükten sonra çeliğe, A1 sıcaklığının altındaki bir sıcaklıkta ($0,3T_m < T < 0,5T_m$) deformasyon uygulanır.



Şekil 3.2 TMİ şematik diyagramları a)DSTİ b)YSTİ c)Isoforming (Yüksel, 2001).

3.2. Mikroalaşımli Çeliklerin Üretimi

Mikroalaşımli çeliklerin üretimi 4 aşamada gerçekleştirilir;

1. Döküm
2. Östenitleştirme (yeniden ısıtma)
3. Haddelme
4. Soğutma

Bu aşamalardan en önemlileri östenitleştirme ve haddelmedir. Östenitleştirme işlemi (1100-1200°C'de), konvansiyonel hadde öncesi kütük tavlamasından farklı olarak, sadece çeliğin yumuşatılması için değil, çelik içindeki karbür ve nitrürlerin çözülmesi için de yapılmaktadır. Katılaşma sırasında oluşan vanadyum, titanyum ve niobyum karbürlerin etkisini en yüksek seviyede kullanabilmek için çelik içi tüm mikroalaşım elementlerini, östenit tanesinin büyümesine imkan tanımadan çözündürmek gerekir. Bu yüzden işlem sıcaklığının önemi büyüktür. Sıcaklık, mikroalaşım elementlerinin çözünmesine izin verecek kadar yüksek, tane büyümesine neden olmayacak kadar düşük olmalıdır.

Östenitleştirme işleminden sonra uygulanan kontrollü haddelme işlemi ise genellikle 2 veya 3 ayrı basamak içerir. Yüksek sıcaklıkta haddelme (veya "roughing") ve düşük sıcaklıkta haddelme sürekli ise, işlem sıcak haddelme, süreksiz ise kontrollü haddelme olarak adlandırılır.

Haddelme işlemi sonunda uygulanan soğutmanın hızına bağlı olarak ferrit tane boyutu küçülür ve böylece dayanç artar (Önem, 1999).

3.2.1. Mikroalaşımlama ve Mekanik Özelliklere Etkisi

Birçok HSLA çeliği birden fazla mikroalaşım elementi içermektedir. Mikroalaşım elementlerinin ana rolü; ferrit tane boyutunu küçültmek ve çökeltme sertleşmesine katkıda bulunmaktır. Genelde mikroalaşım Nb, Ti ve V gibi karbür, nitrür veya karbonitrür oluşturan elementlerin küçük bir miktarını içerir.

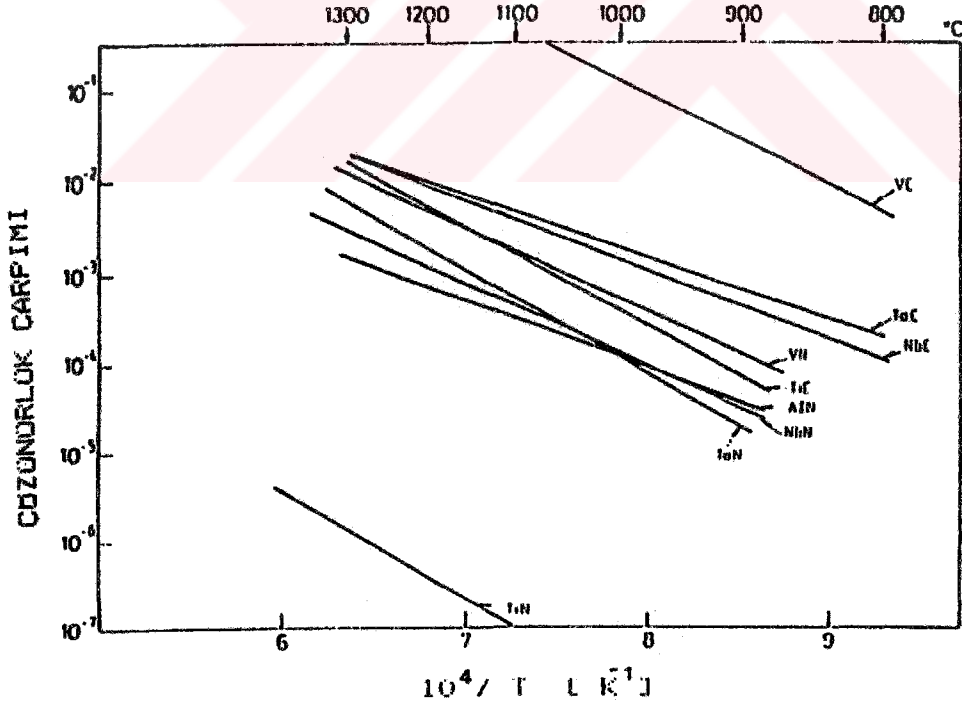
Termomekanik işlem sırasında bu alaşım elementleri aşağıda verilen fonksiyonlardan bir veya birkaçını yerine getirmektedir:

- Östenitleştirme sıcaklığında küçük östenit tane boyutunun korunması;

- Tane sınırı hareketinin engellenmesi ile yeniden kristalleşmiş tanelerin büyümesini yavaşlatmak;
- Yeniden kristalleşmeyi geciktirmek veya önlemek

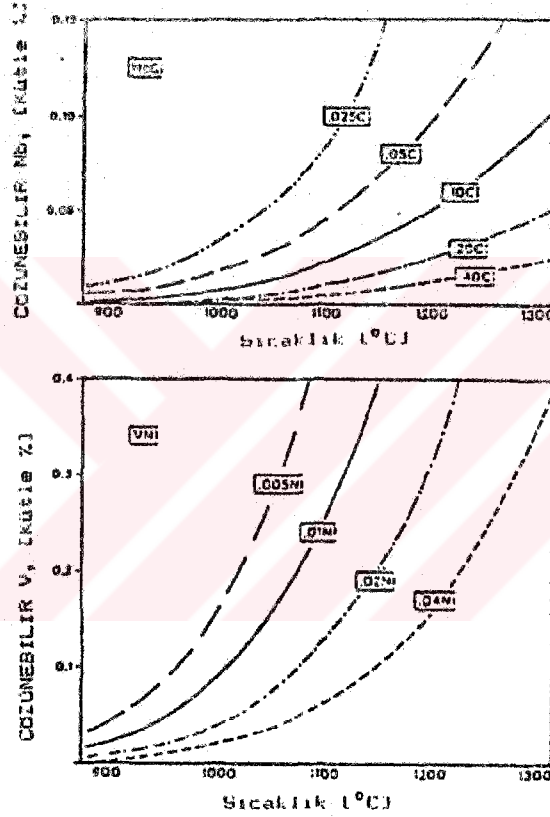
Mikroalaşım elementlerinin tane sınırı hareketine ve yeniden kristalleşmeye etkisi karbonitrür çökeltilerinin sonucudur. Mikroalaşım bileşiklerinin partikülleri östenitte çözünmeden kalmış çökeltiler ve soğumada artan fazla doyumun etkisiyle oluşan çökeltilerdir. Çökeltilerin hacimsel miktarına, dispersiyon derecesine ve kararlılığına bağlı olarak etkileri belirlenir. Çözelti durumundaki mikroalaşım elementlerinin östenit yeniden kristalleşmesine etkisi çok zayıftır. Çökelmiş partiküller ile tane sınırı hareketinin engellenmesi çözünenin etkisinden çok daha fazladır.

Ana alaşım elementleri Nb, V, Ti yüzey merkezli kübik yapıda karbürler, nitrürler ve karbonitrürler oluşturmaktadır. Bu alaşım elementlerinin karbon ve azota karşı ilgileri farklıdır. Şekil 3.3'de karbür ve nitrürlerin çözünürlüğü sıcaklığın fonksiyonu olarak verilmiştir. Genelde serbest enerji farklı çökeltilerin kararlılığını (çözünürlüğünü) belirler.



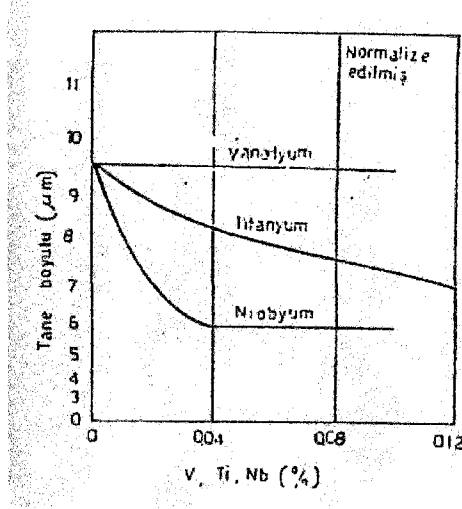
Şekil 3.3 Karbür ve nitrürlerin östenit içi çözünürlükleri (Karagöz ve diğerleri, 1991)

Şekilden de görüldüğü gibi karbürlerin çözünürlüğü nitrürlerin çözünürlüğünden daha fazladır. VC diğer karbürlere nazaran aynı sıcaklıkta östenit içinde daha fazla çözünür. Sonuç olarak soğumada daha yüksek hacimde çökelti oluşturur ve daha fazla çökelti sertleşmesine neden olur. Bununla birlikte NbC, VC'e göre daha zor çözeltiye geçer, bu nedenle önhaddelemde tane sınırı hareketini engeller. VC ve VN'un yüksek çözünürlüğü vanadyumun tane büyümesi kontrolü için kullanımını engellemektedir. Bununla birlikte çökeltme sonucunda büyük miktar partikül oluşumu vanadyumun çok daha etkili çökeltme sertleştiricisi olarak kullanımını sağlar.



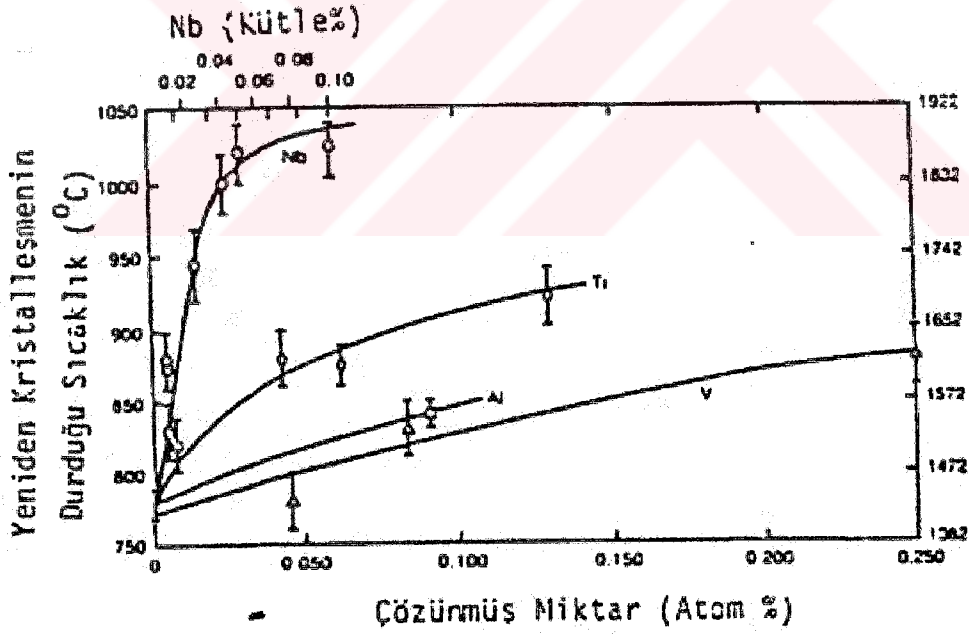
Şekil 3.4 NbC ve VN'un östenit içi çözünürlükleri (Karagöz ve diğerleri, 1991)

VN ve NbC'ün östenit içinde çözünürlüğü Şekil 3.4'de sıcaklığın fonksiyonu olarak gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi NbC çözünürlüğü östenitleştirme sıcaklığı ile yoğun olarak karbon miktarına bağlıdır. TiN en düşük çözünürlüğe sahip olması nedeni ile östenit tane büyümesinin engellenmesinde en etkili bileşiktir. Şekil 3.5'de Nb, Ti ve V'un tane boyutuna etkisi görülmektedir. Vanadyumun östenit içindeki çözünürlüğü çok yüksek olduğu için tane boyutuna etkisi yok denecek kadar azdır.



Şekil 3.5 Mikroalaşım elementlerinin tane boyutuna etkisi (Karagöz ve diğerleri, 1991)

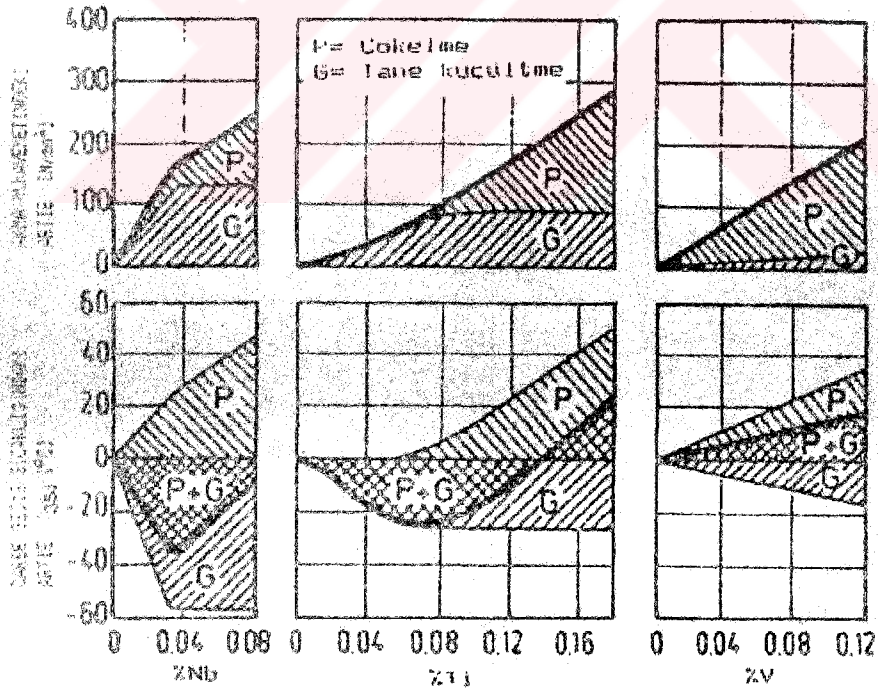
Yeniden kristalleşmenin durdurulduğu sıcaklık (T_R) mikroalaşım elementinin tipine ve miktarına bağlıdır (Şekil 3.6). Niobyum T_R sıcaklığını yükseltmede çok etkilidir, vanadyumun etkisi ise azdır.



Şekil 3.6 Mikroalaşımla östenit yeniden kristalleşmesinin engellenmesi (Karagöz ve diğerleri, 1991)

Nb östenitte küçük çökelti oluşturmasıyla düşük sıcaklık tokluğunun eldesinde önemli bir rol oynar. Ancak yüksek Nb içeriği sınırlandırılmıştır, çünkü uygulamada niobyum karbonitrürleri östenitleştirmede kısmen çözünmeden kalır. Nb mukavemet ve tokluğun artmasında da etkilidir, çünkü Nb deforme edilmiş östenit tanelerinin yeniden kristalleşmesini geciktirir ve tane boyutunu küçültür. Aynı zamanda düşük de olsa çökeltme sertleşmesi etkisine de sahiptir. Nb, Ti ve V'un akma mukavemetine ve darbe geçiş sıcaklığına etkisi Şekil 3.7'de görülmektedir. V'un çökeltme sertleşmesi etkisinden dolayı çeliğin akma mukavemeti artan V miktarı ile artar. Tane inceltme etkisinin zayıf olması nedeni ile V'un tokluğa etkisi negatiftir. En yüksek tane küçültme etkisi Nb'dadır; etken miktar sınırı %0,04 Nb'dir. Bu miktar Nb alaşımında tokluk maksimum seviyededir. Ti ise çökelti sertleştirme karakteristiği ile V'a benzer. Östenit tane küçültücü etkisi ise Nb ile V'un etkileri arasındadır.

Mikroalaşım elementlerinin dışında HSLA çelikleri ortalama %1,5 Mn içerirler. Mn'in oluşan iğnesel ferritin tane boyutunu küçültücü etkisi bu miktara kadar oldukça kuvvetlidir. Mn'in akma sınırını artırıcı etkisinin de bu miktarlarda yavaşlaması ile optimum Mn miktarı %1,3-1,7 olarak belirlenir.



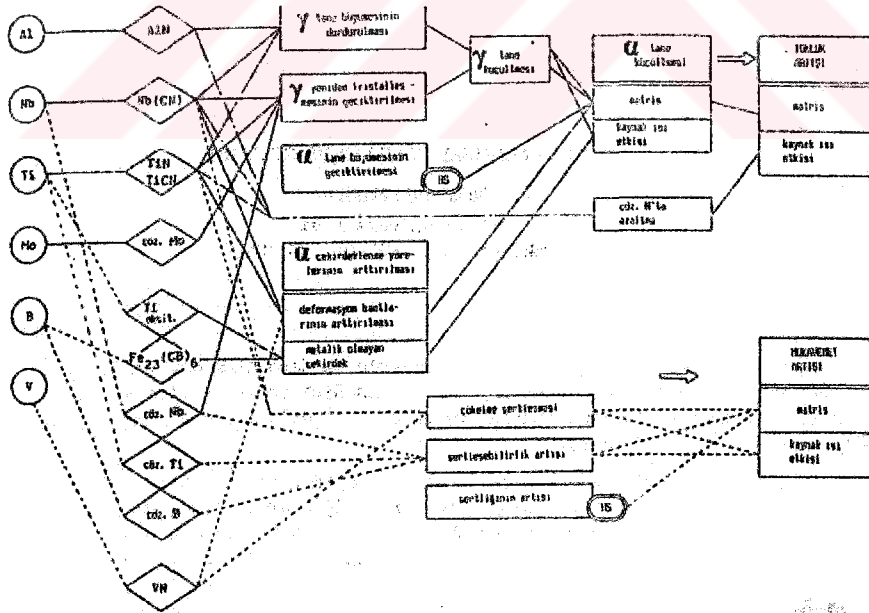
Şekil 3.7 Mikroalaşım elementlerinin darbe geçiş sıcaklığı ve akma sınırına etkisi (Karagöz ve diğerleri, 1991)

Karbon miktarı ise kullanım alanı ile direkt ilişkilidir. Tokluk ve kaynaklanabilirlik özelliklerine negatif etkisi yüksek olması nedeni ile karbon miktarı modern mikroalaşım

çeliklerde %0,1'in altına düşürülmüştür. (Ancak otomotiv sanayiinde kullanılan dövme parçalarda sadece kontrollü soğuma mekanizması ile çalışılabildiğinden karbon miktarı %0,25'in üzerindedir).

Mikroalaşım elementlerinin ve hızlandırılmış soğutmanın off-shore konstrüksiyonlarda kullanılan çelik ve kaynak geçiş bölgesinin mekanik özelliklere etkisi Şekil 3.8'de gösterilmiş, ilgili tane küçültme ile tokluk artımı aşağıda özetlenmiştir:

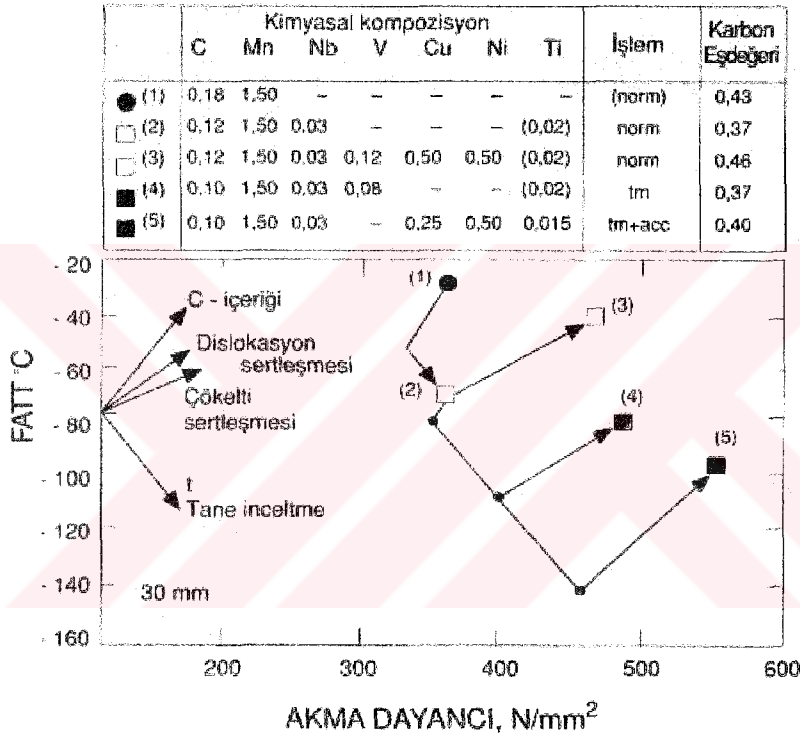
- Niobyum ve titanyum ilavesi östenitleştirme sıcaklığında östenit tanelerinin büyümesini sınırlar.
- Haddeleme sırasında östenit tanelerinin küçülmesinde, V, Nb ve Ti katkısı etkilidir. Bu alaşım elementleri, östenitin yeniden kristalleşmediği bölgeyi genişletir ve östenit tanelerinin büyümesini geciktirir. Bu alaşım elementleri arasında, Nb önemli bir etkiye sahiptir.
- Nb, V ve Ti ilavesiyle östenit-ferrit dönüşüm sıcaklığı (A_{r3}) düşer, deformasyon bantlarının sayısı artar ve çökeltiler etkili boyutlarında kalır; böylece düşük sıcaklıkta haddeleme mümkün olur. Haddelemeden sonra hızlandırılmış soğutma ferrit tane boyutunu küçültür ve mukavemeti artırır.



Şekil 3.8 Mikroalaşım elementlerinin ve hızlandırılmış soğutmanın tokluk ve dayanım artışına etkileri (Karagöz ve diğerleri, 1991)

Alaşımlama ve termomekanik işlem ile mikroalaşımlı çeliklerin gelişmesi Şekil 3.9'da gösterilmiştir. Örnek olarak Fe 37 tipi yalın karbon çeliğinden X-70 tipi mikroalaşımlı çeliğin

geliştirilmesi izlendiğinde ilk etapta karbon miktarı % 0.06'ya düşürülmüş, %0.06Nb katkısı, Mn miktarının %1.5'a yükseltilmesi ve termomekanik işlem ile tane boyutu ASTM 12 seviyesine küçültülmüştür. İlave olarak %0.3 Mo ilavesi ile iğnesel ferrite dönüşümde dislokasyon sertleşmesi elde edilerek dayanım hemen hemen iki katı artırılmış, 450 N/mm²'e çıkarılmıştır. Diyagramdan görüldüğü gibi mikro alaşımlı çelikler 700 N/mm²'lik bir dayanıma erişmiştir. Tokluk göstergesi FATT ise -20°C'den -100°C'ye düşmüş böylece oldukça yüksek bir tokluk artışı elde edilmiştir. Uygulanabilen sertleştirme mekanizmasına bağlı olarak belirli dayanım seviyelerinde farklı tokluk değerleri kombinasyonu mümkündür.



Şekil 3.9 Alaşım ve üretim şekline bağlı kalarak mikroalaşımlı çeliklerin geliştirilmesi
(Teknik Yayınlar, 1994)

3.2.2. Kontrollü Haddelenme

Kontrollü haddelenmede amaç çok küçük ferrit tane boyutunun elde edilmesidir. Küçük taneli yapı çeliğe yüksek dayanım ve tokluk özelliklerini kazandırır. Haddelenme sırasında yeniden kristalleştirme kontrol altında tutulmalı, dönüşüm sırasında ortaya çıkacak ürünlerin boyut kontrolü için soğuma hızı kontrol altında olmalıdır.

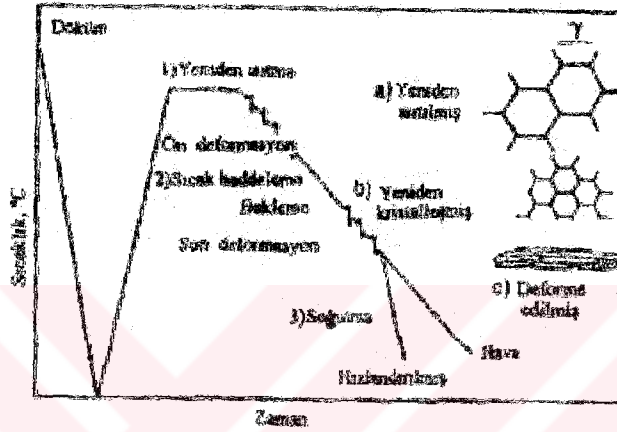
Bunun yanında haddelemede tane boyutunun kontrolü haddeleme sıcaklığına ve deformasyon araçlarına bağlıdır. Kontrollü haddelemede küçük tane, yüksek akma dayanımı, yüksek darbe dayanımı gibi özellikler elde edilmesi yanında sıcak haddeleme sonrası yapılan normalizasyonun uygulanmasına gerek kalmaz.

Mikroalaşım elementlerini arzulanan özellikler doğrultusunda efektif kullanabilmek için sıcak deformasyon, kontrollü haddeleme olarak gerçekleşir. Kontrollü haddeleme genelde iki ayrı sıcaklık basamağında yapılmaktadır.

- Yüksek sıcaklık deformasyonu (roughing) daima östenitin rekristalize olduğu sıcaklık aralığında yapılır. Yüksek sıcaklıklarda (ortalama 1100 – 1200°C) östenit tane boyutu birbirini izleyen deformasyon ve yeniden kristalleşme ile mümkün olduğu kadar küçültülmelidir. Östenitleştirme sıcaklığı ve mikroalaşım elementlerinin çözünürlüğü ilk östenit tane boyutunu ve östenitin yeniden kristalleşmesini kuvvetli bir şekilde etkiler. Östenitleştirme sıcaklığına bağlı olarak, mikroalaşım elementleri ya tane küçültücü ya da çökeltme sertleştiricisi olarak etki eder. Artan östenitleştirme sıcaklığı ile mikroalaşım elementleri de artarak östenitte çözünür ve haddeleme sırasında, özellikle son haddelemede karbonitrür olarak çöker. Ancak yüksek östenitleştirme sıcaklıkları tane büyümesine neden olabilir. Düşük sıcaklıklarda ise daha fazla miktarda mikroalaşım çöktürmeleri östenitte çözünmeden kalacaktır. Bu çöktürmeler tane sınırı hareketine engel teşkil ederek daha küçük östenit tane boyutunu mümkün kılar. Deformasyon etkisiyle (gerinme nedenli) çöktürmeler – çözünmemiş çöktürmelerde olduğu gibi – yeniden kristalleşmemiş östenitin tane büyümesini engeller. Haddelemede etken faktörler hadde sıcaklığı yanısıra deformasyon derecesi, deformasyon süresi ve hadde geçişleri arası süredir. (Karagöz ve diğerleri, 1991).
- Düşük sıcaklık deformasyonu (finishing) östenitin rekristalize olmadığı sıcaklık aralığında ve bazı koşullarda östenit/ferrit iki faz alanında yapılır. Yeniden kristalleşme sıcaklığı (T_R) altında yapılan deformasyonla östenit tanelerinin yeniden kristalleşmesinin engellenmesi sonucu mikroyapı deforme edilmiş, uzamış östenit tanelerinden oluşur. Mikroalaşım elementlerinin östenit yeniden kristalleşmesini ya katı çözümleri etkisiyle ya da gerinme sonucu oluşmuş 20-50 nm boyutlu karbonitrür çöktürmeleriyle tane sınırı hareketini önleyerek engellediği bilinmektedir.

Mikroalaşımlama çok düşük karbon içeren çeliklerden hemen hemen ötektoid kompozisyonlu çeliklere kadar yapılır. Yaygın olarak kullanılan V, Ti, Nb gibi elementler – tek, ikili ve üçlü kombinasyonlar halinde – mikroyapı içerisinde oluşturdıkları karbonitrür

çöktelleri ile tane boyutunu inceltmelerinin yanısıra çökelti sertleşmesi mekanizmasıyla mukavemeti arttırırlar. Mikroalaşımlarıyla birlikte uygun bir termomekanik işlemin uygulanması gerekir. Kontrollü haddeleme adı altında gerçekleştirilen bu işlemde genelde 1200-1000 °C'de yapılan ön deformasyona düşük sıcaklıklarda (700-800°C) nihai deformasyonu eklenir. Östenit-ferrit dönüşümünde ise değişik soğuma hızları kullanılarak ince taneli ferrit yanısıra az miktarda martenzit/beynit veya perlit elde edilir.



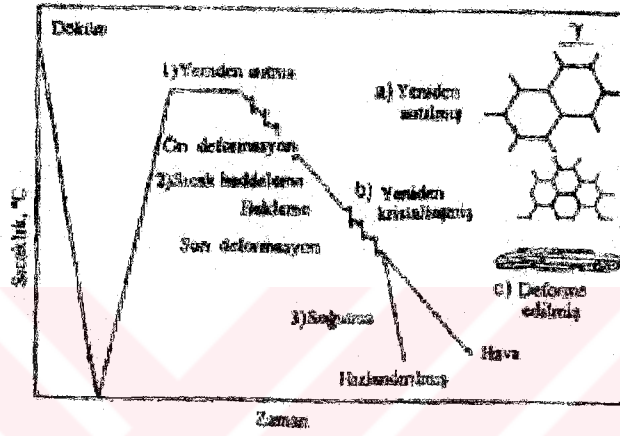
Şekil 3.10 Kontrollü haddelemenin zaman – sıcaklık profili

Bu yolla elde edilen malzemelerin yüksek dayanımlı olmasından dolayı talaşlı imalatı zordur. Ayrıca kaynakla birleştirilmesinde mekanik özellikler üzerinde olumsuz sonuçlar gözlemlenmiştir (Yüksel, 2001).

3.2.3. Kontrollü Haddelemenin Amacı ve İşlem Kademeleri

Sıcak haddeleme işlemlerinde, farklı işletme sıcaklık parametreleri uygulaması ile nihai sıcak haddelenmiş ürün özelliklerinin iyileştirilmesi yöntemine kısaca Termomekanik Haddeleme (TMH) denir.

çöktelleri ile tane boyutunu inceltmelerinin yanısıra çökelti sertleşmesi mekanizmasıyla mukavemeti arttırırlar. Mikroalaşımlarıyla birlikte uygun bir termomekanik işlemin uygulanması gerekir. Kontrollü haddeleme adı altında gerçekleştirilen bu işlemde genelde 1200-1000 °C’de yapılan ön deformasyona düşük sıcaklıklarda (700-800°C) nihai deformasyonu eklenir. Östenit-ferrit dönüşümünde ise değişik soğuma hızları kullanılarak ince taneli ferrit yanısıra az miktarda martenzit/beynit veya perlit elde edilir.



Şekil 3.10 Kontrollü haddelemenin zaman – sıcaklık profili

Bu yolla elde edilen malzemelerin yüksek dayanımlı olmasından dolayı talaşlı imalatı zordur. Ayrıca kaynakla birleştirilmesinde mekanik özellikler üzerinde olumsuz sonuçlar gözlemlenmiştir (Yüksel, 2001).

3.2.3. Kontrollü Haddelemenin Amacı ve İşlem Kademeleri

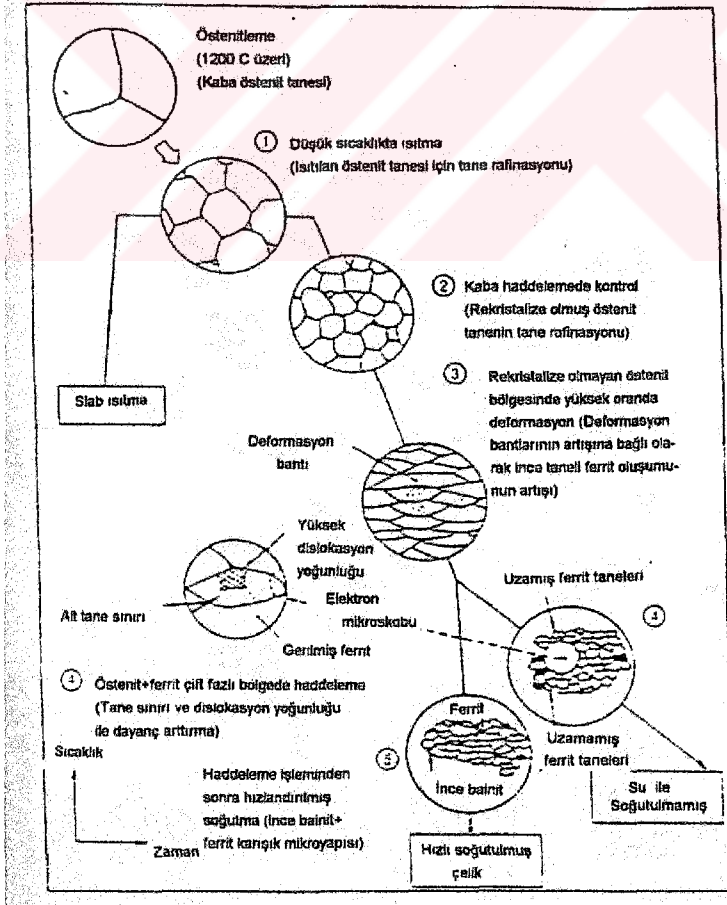
Sıcak haddeleme işlemlerinde, farklı işletme sıcaklık parametreleri uygulaması ile nihai sıcak haddelenmiş ürün özelliklerinin iyileştirilmesi yöntemine kısaca Termomekanik Haddeleme (TMH) denir.

Kontrollü haddelenenin amacı;

Termomekanik haddeleme işleminin amacı, sıcak haddelenmiş malzemenin aşağıdaki özelliklerini iyileştirmektir.

- Akma dayanımının arttırılması
- Tokluğun iyileştirilmesi
- Kaynak yapılabilirliğinin iyileştirilmesi
- Gevrek kırılma özelliğinin iyileştirilmesi
- Düşük enerji sünek kırılma dayanımının arttırılması
- Eğme ve katlama gibi sıcak işleme özelliklerinin iyileştirilmesi
- Isıl işlem gerekliliğinin giderilerek maliyetin düşürülmesi.

Kontrollü haddeleme prosesinde mikroyapı değişimleri Şekil 3.13'de gösterilmektedir.



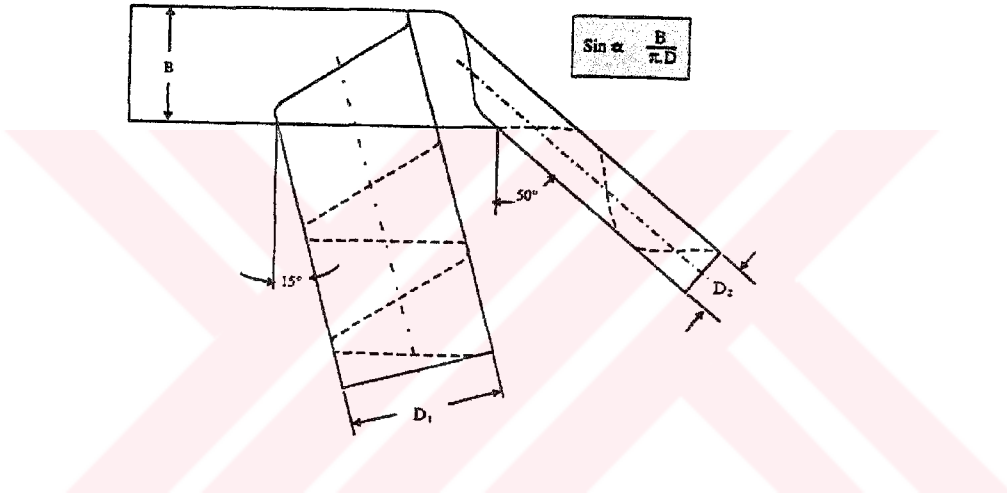
Şekil 3.13 Kontrollü haddeleme prosesinde mikroyapı değişimleri (Yüksel, 2001)

Kontrollü haddeleme işleminin kademeleri;

1. Tav fırınında yapılan östenit tane büyümesinin gerçekleştiği tavlama işlemi
2. Yeniden kristalleşme bölgesinde yapılan deformasyon işlemi olarak tanımlanan kaba haddeleme: Bu haddeleme işleminin başlarındaki pasalarda uygun ezme miktarı seçildiğinde ince, düzenli deforme edilmiş, yeniden kristalleşmiş östenit tane yapısını elde etmek mümkün olmaktadır.
3. Kaba haddeleme ve şerit haddeleme işlemleri arasında malzemenin bekletilmesi: Bu beklemede sürenin ve sıcaklığın doğru, uygun bir şekilde yapılması çok önemlidir.
4. Yeniden kristalleşmenin olmadığı iki faz içeren bölgedeki deformasyon olarak tanımlanan nihai (şerit) haddeleme işlemi: Bu haddelemede uygun sıcaklık seçimi, üründe istenilen özelliklerin oluşmasını doğrudan etkilemektedir.
5. Çıkış masasındaki hızlı soğutma işlemi: Bu kademede ise soğutma hızının uygun olarak seçilmesi, elde edilecek ürün özellikleri açısından önem taşımaktadır.
6. Nb ve V elementlerinin çökmesiyle akma dayancında artış meydana getiren sarma sıcaklığında bekleme işlemi: burada ise sarma sıcaklığının uygun olarak seçilebilmesi önemlidir. Bütün bu kademelerdeki parametrelerin optimum olarak seçilmesi kontrollü haddelenmiş çeliklerden istenen özelliklerin elde edilmesini sağlayacaktır.

4. TOZALTI YÖNTEMİ İLE SPİRAL DİKİŞLİ BORU ÜRETİMİ

Tozaltı kaynak yöntemi ile spiral dikişli boru üretimi, bandın şekillendirme, kaynak, ultrasonik test ve boy kesme işlemlerinin yapıldığı makine ile başlayıp hidrostatik test, X-Ray kontrol, boru ucu kaynak ağzı açma gibi bir dizi işlem ile devam eder. Spiral kaynaklı boru üreten makinalarda ana prensip, tahrik silindirleri tarafından itilen sac malzemeye şekillendirme makaraları yardımı ile spiral bir hareketin yaptırılmasıdır. Malzemenin sac olarak makine üzerinde ilerlediği bölümün, malzemenin kaynak sonrası boru olarak ilerlediği bölüm ile yaptığı açı, boru çapını (çevresini) belirleyen en önemli etkidir. Bu açı makinaya yerleştirilen bant genişliği ve elde edilmek istenen boru çapı göz önüne alınarak belirlenir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 Spiral dikişli boru üretiminde makine açısının şematik gösterimi (Kahraman ve diğerleri, 1999)

Saç rulonun makinaya yüklenmesinden sonra boru üretiminde sürekliliği sağlamak için biten rulo ile yeni rulonun uçları birbirine kaynatılır. /1/ Yapılan bu işlem genelde boru endüstrisinde uç kaynak adını alır. Alın altına getirilen bant uçlarına hafif bir kaynak ağzı açılır (22,5°-30° arası) ve sonrasında tam otomatik tozaltı kaynağı ile kaynatılır. Buradaki kaynakta bir bakır altlık kullanılması sağlam bir kaynak dikişi eldesi için önemlidir. /18/ Daha sonra, malzeme kalınlığına bağlı olarak kaynak ağzı açma işlemine geçilir. Bandın her iki kenarına genelde (2/3.t) oranında kaynak ağzı açılır. /18/ Kaynak ağzı açma işleminden sonra, şekillendirme makaraları ve iç baskı grubunun yardımı ile banda spiral bir şekil verilir. /1/. Şekil 4.2’de spiral boru fabrikasının akış şeması görülmektedir.

BORU ÜRETİMİ VE TEST AŞAMALARI AKIM ŞEMASI (API BORULAR)

Rulo Açma

BORU ÜRETİMİ

Doğrultma

Rulo Uç Kaynağı

Kenar Kesme

Kaynak Ağız Açma

Şekil Verme

Kaynak

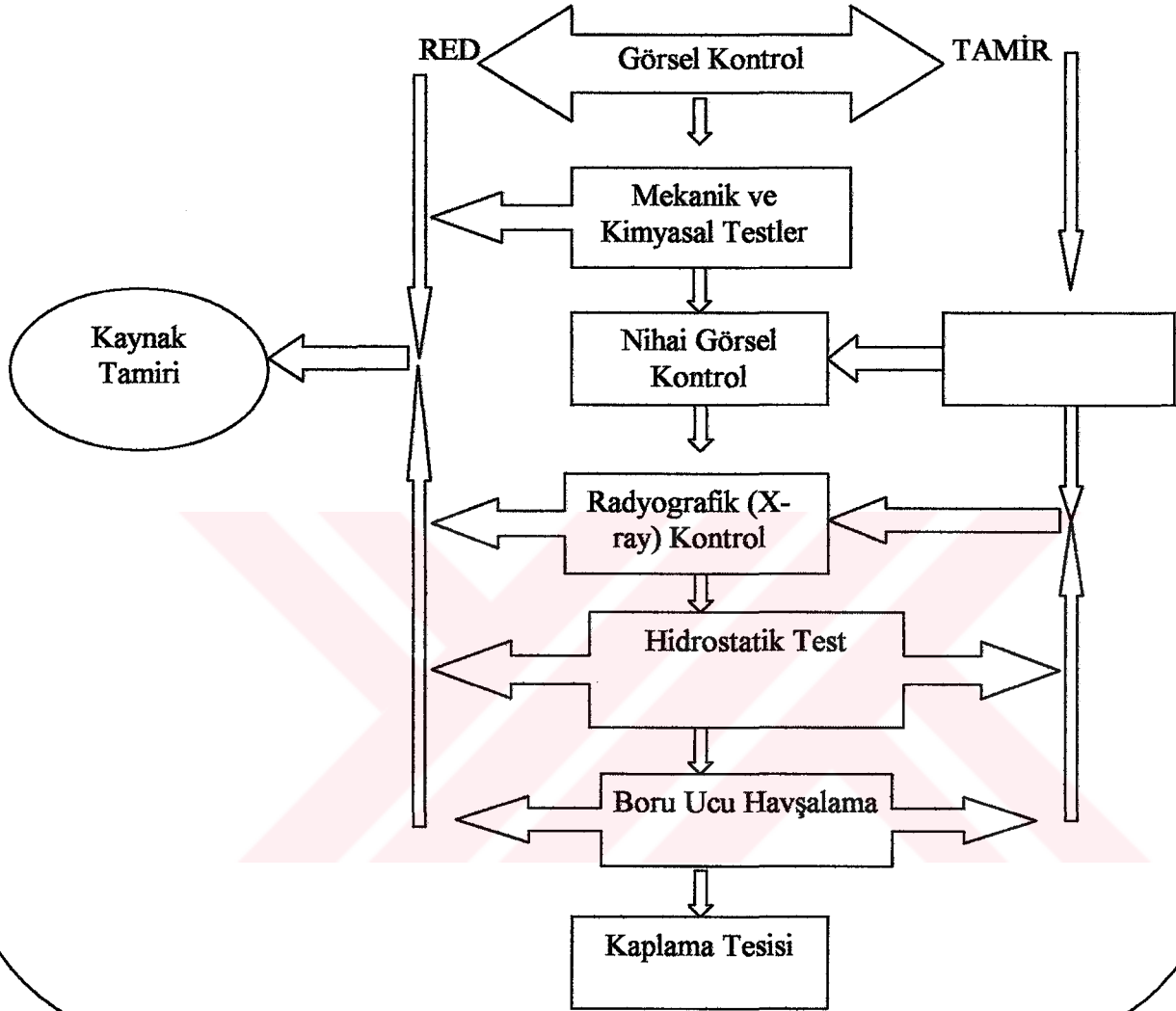
Ultrasonik Kontrol

Ultrasonik Laminasyon Kontrolü

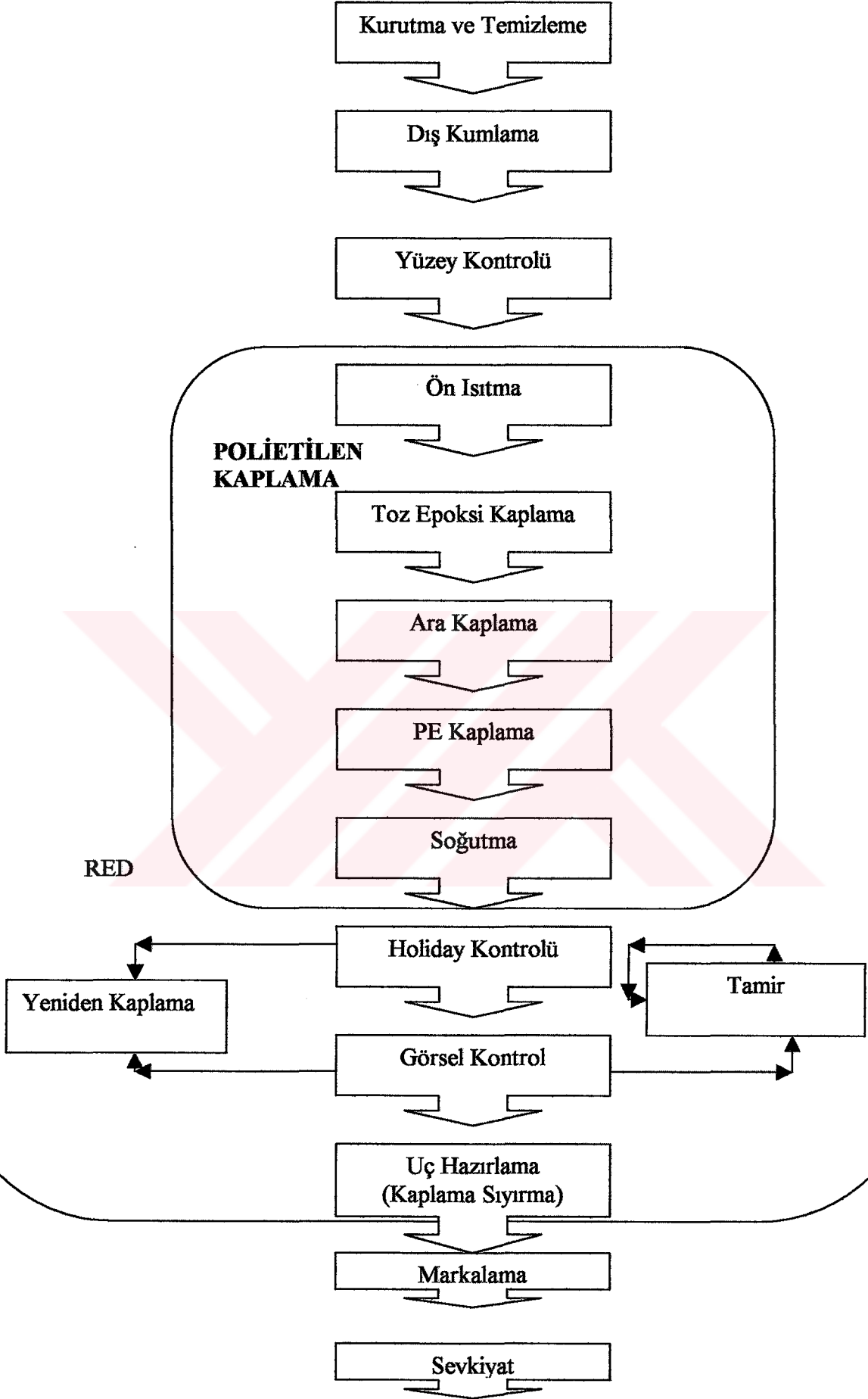
Ultrasonik Kaynak+HAZ Kontrolü

Boy Kesme

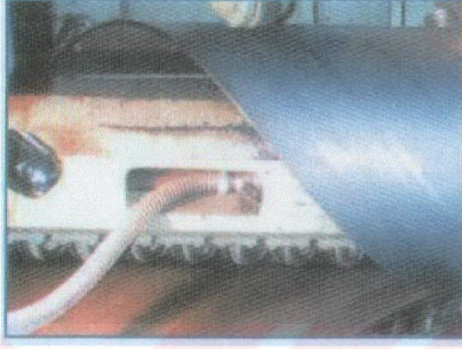
ÇIPLAK BORU



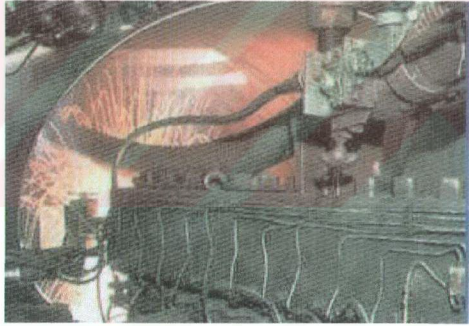
KAPLAMA



Şekil 4.3'de şekillendirme makaraları ile banda spiral şeklin verilmesi görülmektedir. Spiral dikişli boru kaynağının ilk aşaması boruya spiral şekil verilen bu bölgede yapılan iç kaynaktır. /1/ (Şekil 4.3).

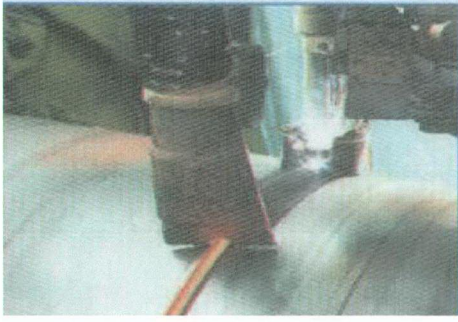


Şekil 4.3 Banda spiral şeklin verilmesi (Katalog, 2001)



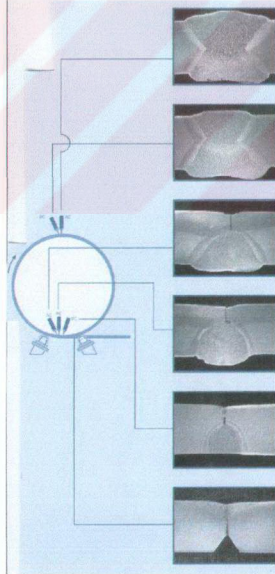
Şekil 4.4 İç kaynak prosesi (Katalog, 2001)

İç kaynakta seçilen parametrelerin kaynağın kalitesine etkisi büyüktür. Büyük ölçüde nüfuziyet eksikliği ve gaz boşluğu bu bölgedeki kötü kaynak koşullarından dolayı meydana gelmektedir. Bu sebeple boru imalatında iç kaynağa özen gösterilir ve sürekli bir operatör kontrolü altındadır. /18/ Dış kaynak ise iç kaynaktan ayrı olarak daha ileri bir aşamada yapılır. (Şekil 4.5)



Şekil 4.5 Dış kaynak prosesi (Katalog, 2001)

Kaynak işlemi tozaltı kaynak yöntemi ile tek ya da çoklu kafa kullanılarak yapılabilir. (Şekil 4.6). Birden fazla kafa kullanımı ile kaynak banyosuna daha fazla akım iletimi ve buna bağlı olarak da kaynak hızını arttırabilme imkanı vardır. Bu durumda, derin bir nüfuziyetin sağlanması için birinci kafada DC akım türü tercih edilirken, birbirine yakın birden fazla arkın üflemesi problemini aşmak içinse diğer kafalarda AC akım kullanılır. İlk arkta nüfuziyet ana etken olduğu için yüksek akım şiddeti ve dolayısıyla büyük çaplı kaynak teli, diğer arklarda ise daha düşük akım şiddeti ve tel çapları kullanılır (Tsay ve diğerleri, 2001).

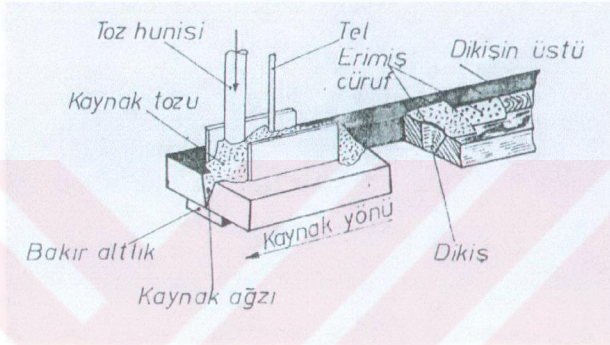


Şekil 4.6 Boru makinasında kaynak akış şeması (Katalog, 2001)

5. TOZALTI KAYNAĞI

5.1. Tozaltı Kaynak Metodunun Genel Prensipleri

Tozaltında kaynak usulü, bilhassa İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra gelişerek endüstride önemli bir yer tutmuştur. Bu kaynak usulünde ark, otomatik olarak kaynak yerine gelen bir çıplak elektrodla iş parçası arasında oluşur ve yine devamlı olarak kaynak yerine dökülen bir toz yığını altında yanar.



Şekil 5.1 Tozaltı kaynak usulünün şematik prensibi (Anık, 1983)

Tozaltı kaynağı yüksek güçlü bir kaynak usulüdür. Bir paso ile 85 mm, iki paso ile 180 mm ve çok paso ile de 300 mm kalınlığa kadar kaynak yapma imkanı vardır. Kaynak yapılabilecek minimum sac kalınlığı da yaklaşık olarak 1,2 mm'dir. Bu yöntemde, normal et kaynağına nazaran kaynak teli daha yüksek akım şiddetleriyle de yüklendiğinden oldukça büyük bir erimiş banyo elde edilir ve daha derin nüfuziyet sağlanır. Tozaltı kaynağında erimiş ilave metalin; erimiş haldeki esas metale oranı genellikle $1/2$ mertebesinde (Anık, 1983).

Kaynak telinin hareketi, tel hareket mekanizması vasıtasıyla sağlanır. Sabit bir ark boyu elde etmek için, telin hareket hızıyla erime hızı arasında bir denge sağlanacak şekilde, telin hareket hızı otomatik olarak ayarlanır. Kaynak bölgesi, devamlı olarak dökülen bir toz yığını vasıtasıyla havanın tesirlerinden korunur ve dışarıya ultraviyole ışın, duman vb. çıkmaz. Oluşan ark, kaynak telini, kaynak tozunu ve bölgesel olarak esas metali eritir. Kaynak tozunun erimeyen kısmı, çok fazla kirlenmedikçe tekrar kullanılabilir.

Tozaltı kaynak yöntemi için gerekli olan donanımlar:

a) Güç Kaynağı: Değişken gerilimli doğru akım kaynak makinaları, özellikle çevresel dikişlerin kaynağında tavsiye edilir. Sabit gerilimli doğru akım makinaları ve alternatif akım makinaları da kullanılabilir.

b) Tel Hareket Mekanizması: Herhangi bir otomatik veya yarı otomatik tel besleme cihazı kullanılabilir. Tel hareket mekanizmasının şu özelliklere sahip olması istenir:

1. Telin hareket hızını hassas bir şekilde sabit tutabilmelidir.
2. Telin hareket hızını geniş bir ayar alanı içerisinde değiştirebilmelidir.
3. Telin ilerlemesini sağlayan makaralar tarafından tele uygulanan basınç, kolay ayarlanabilmelidir.
4. Tel kangalının değiştirilmesi kolayca yapılabilmelidir.
5. Teli sevkeden mekanizmaya başlangıçta telin verilmesi kolay olmalıdır.
6. Küçük ve sağlam bir konstriksiyona sahip olmalıdır.

5.2. Tozaltı Kaynağında Kullanılan Kaynak Telleri

Tozaltı kaynağında kullanılan kaynak telleri, yüksek kaliteli ve bilhassa elektrik ocaklarında eritilerek üretilen çeliklerdir. Normal tellerden farkı, kimyasal bileşimi ile kaynak yerinin metalurjik emniyeti bakımından gerekli olan manganez miktarının yüksek oluşundandır. Çeşitli maksatlar için genellikle 1,2 ile 12 mm çapında kalibre edilmiş kaynak telleri kullanılır. Bu tellerin yüzeylerinin tamamen düz ve pürüzsüz olması, yağ, pislik, pas gibi maddelerin bulunmaması gerekir. Kaynak telleri genellikle bakır ve bronz kaplı olarak piyasaya sunulur. Tellerin üzerindeki bakır tabakası, meme içinde akım geçişini iyileştirdiği gibi paslanmaya karşı da telleri korumaktadır. Pasa karşı korunmanın sağlandığı durumlarda çıplak kaynak telleri de kullanılabilir. Üzeri paslı teller, memede kontak zorluklarına ve memenin çabuk aşınmasına sebep olurlar (Anık ve diğerleri, 1998).

5.3. Tozaltı Kaynağında Kullanılan Kaynak Tozları

Tozaltı kaynağında kullanılan bir kaynak tozu, genel olarak örtülü bir elektrodla yapılan kaynakta örtünün sağladığı aynı işi görür. Yani kaynak işlemine fiziksel ve metalurjik bakımlardan tesir eder. Fiziksel olarak yaptığı etkiyi, meydana gelen cürufun kaynak

banyosunu havaya karşı koruması, dikişe uygun bir form vermesi ve çabuk soğumasına engel olması şeklinde gösterebiliriz. Metalurjik olarak yaptığı tesir ise kaynak banyosuna ilave ettiği elemanlarla yanma kaybını azaltması veya dengelemesidir. Metalurjik tesire esas metal ile kaynak telinin de tesiri vardır. Esas metal, kaynak teli ve kaynak tozunun bileşimi, dikişin kimyasal bileşimine etki eden üç önemli faktördür.

İyi bir kaynak tozunun aşağıdaki hususları yerine getirmesi istenir:

- a. Kaynak işlemi sırasında arkın kararlılığını sağlamalı ve alternatif akımla yapılan kaynakta bilhassa akım sıfır noktasından geçerken, arkın sönmemesini sağlamalıdır.
- b. İstenen kimyasal bileşime ve mekanik özelliklere sahip bir kaynak dikişi vermelidir.
- c. Uygun ve temiz bir iç yapı sağlamalıdır.
- d. Kaynak dikişinde herhangi bir çatlak veya gözenek oluşumuna sebep olmamalıdır.
- e. Kök pasolarının ve dar aralıkların kaynağında cüruf kolayca kalkabilmelidir.
- f. Çeşitli kaynak hatalarına sebep olabilecek organik maddeleri ihtiva etmemelidir.
- g. Depolandıklarında nem çekmemeleri için, nem çekme miktarı mümkün olduğu kadar az olmalıdır.
- h. Kaynak esnasında katı, sıvı ve gaz fazları arasındaki bütün reaksiyonların, kaynak metali katılacağı kadar geçecek olan kısa zaman içerisinde meydana gelmesini sağlamalıdır.

5.4. Tozaltı Kaynağının Avantajları

Tozaltı kaynağının sağladığı avantajları şu şekilde sıralayabiliriz:

- a- Yüksek akım şiddetleri kullanılabilindiğinden oldukça büyük erimiş banyo elde edilir ve dolayısıyla da daha derin bir nüfuziyet sağlanır. Bu sayede ağız açmadan iki paso ile 18 mm ve açık olarak da 140 mm kalınlığındaki parçalar kolaylıkla kaynak yapılabilir.
- b- Erime gücü yüksektir. 60 kg/saat'lik erime gücüne erişilebilir.
- c- Akım şiddetinin yüksek olması ve derin nüfuziyet, yüksek kaynak hızlarına çıkabilmeyi mümkün kılar. Yüksek hızlarda bile nüfuziyet çok iyidir.
- d- Derin nüfuziyet sağlandığından ve sıçrama kaybı bulunmadığından, tozaltı kaynağındaki kaynak teli sarfiyatı oldukça azdır.

e- Parçaya verilen toplam ısı miktarının düşük olmasından dolayı, kaynaklı parçada oluşan distorsiyon azdır ve ısının tesiri altında kalan bölge (HAZ) küçüktür.

f- Kaynak tozu, kaynak bölgesinden ultraviyole ışınlarının yayılmasını önler. Bu yüzden, özel bir koruyucu emniyet tertibatına ihtiyaç yoktur.

g- Ark ısısından en iyi şekilde faydalandığı için, elektrik enerjisi sarfiyatı, normal elektrik ark kaynağına göre çok düşüktür.

h- Tozaltı kaynağında, sürekli ve kesintisiz kaynak yapma imkanı vardır.

i- Elektro-mekanik bir ayar sistemi kullanıldığından, kaynak işlemi için kalifiye eleman gerekmez.

j- Kaynak yerinin düzgün ve iyi bir şekilde cüruflla örtülmesi, emniyetli bir katılma ve kaynak banyosunun degazajı sayesinde minimum kaynak hatasına sahip, yüksek kaliteli kaynak dikişleri elde edilir.

5.5. Kaynak Parametreleri

Kaynak akımı, kaynak gerilimi, kaynak ağızı biçimi, tel çapı, akım cinsi ve kaynak hızı gibi kaynak parametreleri, kaynak işleminin etkinliğini ve elde edilen kaynak bağlantısının kalitesini belirleyen önemli faktörler olup, kaynaklanan metalin türü ve parça geometrisi göz önüne alınarak saptanırlar. Tozaltı kaynak yöntemi ile spiral dikişli boru üretiminde, belirli bir kalınlığa kadar parçaya ağız açmadan kaynak yapma imkanı olmakla birlikte, özellikle 7 mm'den daha kalın parçalara çeşitli tipte ağızlar açılır. Ağız açısı büyüdükçe nüfuziyet artmakta ve dikişin yüksekliği azalmaktadır. Kaynak ağızı açısının 60°'den küçük olması, toz kalıntı ve çatlak riski nedeniyle tavsiye edilmemektedir.

Akım şiddeti, dikişin şekli üzerinde etkinliği en fazla olan parametrelerin başında gelir. Kaynak akımı, kaynak telinin ergime hızı ve miktarını kontrol eder. Bunun yanı sıra, ergiyen esas metal miktarını ve nüfuziyet derinliğini etkiler. Akımın artması ile ergime hızı artar ve nüfuziyet büyür. Akımın aşırı fazla olması halinde ise, düzensiz bir ark oluşur ve aşırı dar bir dikiş meydana gelir. Seçilen kaynak hızına göre akımın aşırı düşük olması ise nüfuziyet yetersizliğine sebep olur. Ark geriliminin değişimi, dikişin genişliği ile yüksekliğini etkiler. Ark geriliminin artması ile birlikte, nüfuziyet azalır ve kaynak kepi daha geniş ve düz bir şekil alır. Ark geriliminin kaynak akımına göre düşük kalması halinde, esas metaldeki ergime iyi bir kaynak dikişi oluşturmaya yetmez. Kaynak hızı, kaynak dikişinin metalurjik açıdan

kalitesini belirleyen en önemli parametrelerden birisidir. Kaynak hızı ayrıca kaynak bağlantısının mekanik ve tokluk özellikleri üzerinde son derece etkili olan ısı girdisini de etkilemektedir. Düşük bir hızla yapılan kaynakta eriyen ilave metal miktarı artar dolayısıyla da kaynak banyosu büyür. Aşırı hız düşümü halinde ise, çatlama riskinin çok yüksek olduğu şapkalı kaynak kepi oluşur. Kaynak hızı yükseldikçe, nüfuziyet ile dikiş genişliğinin azaldığı görülür. Kaynak hızının aşırı yüksek olması halinde nüfuziyet azalır, yanma oluğu, gözenek ve düzensiz bir dikiş oluşum riski artar. Kaynak tel çapı ve kullanılacak olan kafa sayısı ise malzeme kalınlığına, kaynak ağız biçimine ve seçilen kaynak hızına bağlı olarak belirlenir. Tel çapı arttıkça, telin yüklenebileceği akım seviyesi artar ancak aynı akım değerinde daha ince tel çapına kıyasla erime miktarı dolayısıyla nüfuziyet azalır (Zeren ve diğerleri, 1999).

Özetle kaynak parametrelerinin kaynak özelliklerine etkileri:

Akım Şiddeti: Diğer değişkenler sabit tutularak akım şiddeti artırıldığında, nüfuziyet ve erime gücü artar. Çok yüksek akım şiddeti düzensiz bir ark oluşturur ve yanma olukları ile çok dar kaynak dikişi oluşmasına sebep olur. Çok düşük akım şiddeti ise düzensiz bir ark oluşturur.

Gerilim: Diğer değişkenler sabit tutularak gerilim artırıldığında daha geniş ve düz kaynak dikişi elde edilir. Ayrıca gözenek oluşmasına karşı emniyet sağlanır, aralığın büyük olduğu durumlarda parçalar arasında köprü kurabilme imkanı artar, nüfuziyet azalır, kaynak tozunun alaşımlandırma etkisi artar. Çok yüksek gerilim ise kötü görünüşlü kaynak dikişi oluşmasına ve cüruf kalıntılarının artmasına neden olur. Ayrıca oluşan içbükey kaynak dikişi, çatlak oluşumuna sebep olabilir.

Gerilimin azalmasıyla nüfuziyet artar ve dar, dışbükey bir kaynak dikişi oluşur. Çok düşük gerilim ise çok dar ve dışbükey kaynak dikişi verir.

Kaynak Hızı: Kaynak hızının, dikişin formuna büyük etkisi vardır. Kaynak hızı; dikişin eni, dikiş yüksekliği ve nüfuziyet bakımından istenen özellikleri sağlayacak şekilde seçilmelidir. Çok yüksek kaynak hızı, yanma olukları ve gözenek oluşumuna neden olur. Ayrıca arkın üflemesine neden olur. Çok düşük kaynak hızı ise cüruf yoğunlaşmasına, sıçramalara neden olur ve kötü görünüşlü bir kaynak dikişi verir.

Kutup Durumu: Doğru akımda direkt kutuplama, (elektrodun (-) kutba bağlandığı durum) iyi bir nüfuziyet ve düzgün bir kaynak dikişi verir. Ayrıca gözenek oluşumuna karşı emniyet sağlar.

Doğru akımda ters kutuplama (elektrodun (+) kutba bağlandığı durum) erime gücünü %30 artırır, fakat bu durumda nüfuziyet azalır ve kaynak dikişinin alaşımlanması biraz artar. Ters kutuplama daha çok kaplama işlemlerinde kullanılır. Alternatif akım kullanılması durumunda nüfuziyet azalır.

Kök Pasosu: Yetersiz yapılmış bir kök pasosu, ark üflemesinden dolayı gözenekli ve kötü bir kaynak dikişinin oluşmasına neden olur. Genellikle en iyi yol, kaynak işlemine kökten başlamaktır.

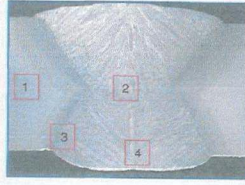
Kaynak Tozu Miktarı: Kaynak tozu, oluşan arkı tamamen örtecek miktarda olmalıdır. Az miktarda kaynak tozu kullanılırsa, oluşacak olan ultraviyole ışınlardan kaynakçı zarar görür ve kaynak dikişinde gözenekler meydana gelir. Çok fazla kaynak tozu ise dar bir kaynak dikişi oluşmasına sebep olur.

Temizlik: Kullanılan elektrodların passız olmasına dikkat edilmelidir. Kullanılan tozlar da bir elekten geçirilerek cüruf ve diğer kalıntılar giderilmelidir. Kaynak yapılacak bağlantı yerindeki pas, toz, yağ, nem vb. maddeler, kaynak yapılmadan önce giderilmelidir. Eğer herhangi bir kirlilik veya yabancı madde hala mevcutsa, kaynak dikişi katılaşmadan önce gazların çıkabilmesi için kaynak hızı düşük olmalıdır.

5.6. Kaynak Sırasında Meydana Gelen Isıl Çevrimler

Bir kaynak bağlantısının özelliğine etki eden faktörlerin en önemlisi, kaynak işlemi esnasında uygulanan sıcaklığın dağılım ve değişimi karşısında esas metalin gösterdiği davranıştır. Kaynak edilen malzemenin kaynak dikişine bitişik kısımlarında metalin ergime sıcaklığından ortam sıcaklığına kadar değişik sıcaklık derecelerinde ısınmış, mekanik yapı ve iç yapı özellikleri itibariyle gerek esas metalden gerekse kaynak metalinden farklı özellikler içeren bölgeler ortaya çıkar (Şekil 5.2) (Madazaloğlu, 1987).

API 5L Grade X65 - Size : 1219 x 14.3 mm



1. Base Metal



2. Center of the Inside and Outside Weld



3. HAZ and Inside Weld



4. Inside Weld

Şekil 5.2 Kaynak bölgesinde oluşan mikroyapılar (Katalog, 2001)

Kaynak yapılan bir parçada kaynak bölgesini, eriyen ve ısının tesiri altında kalan bölge (HAZ) olarak ikiye ayırabiliriz.

Eriyen bölge, kaynak bölgesinde meydana gelen türbülansın dolayı katılaşmadan önce iyice birbirine karışmış olan esas metal ve kaynak metalinden ibarettir. Tozaltı kaynağında esas metalin erime oranı, kaynak parametrelerine göre değişmesine rağmen genellikle 1 / 2 mertebesinde dir.

Belirli bileşim ve miktardaki kaynak metali ve esas metalin karışımından oluşan eriyen bölgenin hesaplanan bileşimi, kimyasal analiz sonuçları ile aynı değildir. Bunun sebebi, bazı alaşım elemanlarının kaynak esnasında yanma dolayısıyla kayba uğramasıdır. Esas metalin dezoksidasyonu; verilen fiziksel ve kimyasal şartlar altında, oksijene karşı ilgisi esas metale ilgisinden daha büyük olan ve bu gaye için katılmış bir elemanla sağlanır.

Isının tesiri altında kalan bölge, eriyen bölgenin esas metal ile birleştiği kısımdan itibaren yaklaşık olarak 1450 ile 700°C arasındaki bir sıcaklığa maruz kalan bir bölgedir. Eğer ısının tesiri altında kalan bölgede erişilen en yüksek sıcaklık, kaynağın merkezine olan mesafenin

bir fonksiyonu olarak bilinir ve esas metalin yapısı da tanınırsa, kaynak işlemi sonunda oluşacak yapıyı tahmin etmek mümkündür. Fakat birçok durumda soğuma hızını da hesaba katmak gerekir. Özellikle 900°C'nin üzerinde tavlanan bölge, kalın parçalarda soğuma daha da hızlı olacağından, bir nevi su verme işlemine tabi tutulmuş sayılır. Sonuç olarak da çeliğin bileşimine göre bu bölgede çok yüksek sertlikler elde edilir ve gevrek bir bölge meydana gelir. Bundan dolayı ısının tesiri altında kalan bölge, kaynak bağlantısının en kritik bölgesidir ve birçok çatlama ve kırılma bu bölgede olur.

İyi bir kaynak bağlantısının elde edilebilmesi için, ısı kaynağının yeterli enerjiyi üretebilmesi gereklidir. Isı girdisi olarak da tanımlanabilecek olan bu enerji, esas metalde yeterli ergimeyi oluşturacak kadar yüksek olmalı ancak ısıdan etkilenen bölgede de (HAZ) istenmeyen mikroyapı değişimlerine yol açmamalıdır. Kaynak bölgesinde ulaşılan tepe sıcaklığı kaynak sırasında meydana gelen ısı değişimleri etkileyen en önemli parametrelerden birisidir. Kaynak işlemi sırasında malzemede ulaşılabilecek olan tepe sıcaklığı ısı girdisine ve ısı kayıplarına bağlı olarak değişir. Isı girdi hızı, ısı kayıplar hızından yüksek olduğu müddetçe malzeme sıcaklığı yükselir. Her ikisinin birbirine eşit olduğu anda malzeme tepe sıcaklığına erişmiş olur. Kaynak parametrelerinin belirlenmesi aşamasında, HAZ genişliğini belirlemek ya da HAZ içindeki spesifik bir bölgede ulaşılabilecek olan tepe sıcaklığını sınırlamak son derece önemlidir. Böylelikle, özellikle X-65, X-70 gibi yüksek dayanımlı düşük alaşımlı malzemeler için kaynak sırasında uygulanacak olan ısı girdisi de kontrol altına alınmış olur.

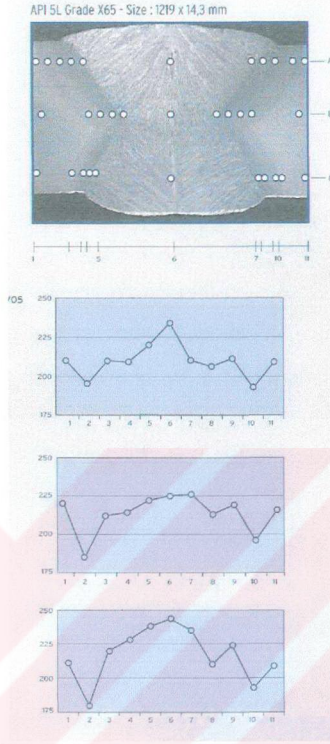
6. KAYNAK HATALARI

Kaynak parametrelerinin uygun seçilmemesi, uygun olmayan ek kaynak metali-kaynak tozu kullanımı ya da kötü bir kaynak tekniğinin uygulanması sonucunda istenmeyen bir dizi kaynak hatası ile karşılaşılması olasıdır. Tüm kaynak hataları kaynak dikişinde bir zayıflama ve süreksizlik oluşturarak bağlantının kullanımı sırasında geri dönüşü olanaksız çatlak, kırılma ya da performans eksikliğine sebep olabilir. Uygulamada sıkça karşılaşılan hata türleri aşağıdaki gibidir.

- kaynak dikişindeki şekil bozuklukları
- çatlaklar
- gözenek
- nüfuziyet yetersizliği
- yanma oluğu
- kalıntılar

Kaynak Dikişindeki Şekil Bozuklukları

Yüksek basınçlara maruz boru hatlarında kaynak yetersizliğinden çıkan problemlerle karşılaşmamak için, kaynak geometrisinin de mutlaka kontrol altına alınması gerekir. Şekil 6.1'de gaz boruları için geometrik açıdan ideal bir kaynak dikişi ve sertik gradyenti görülmektedir. Kaynak geometrisindeki (dikiş kaçıklığı, bindirme, işlerlik, genişlik/derinlik oranı, kep yüksekliği ve açısı gibi) düzensizlikler yük altında bağlantının tokluk davranışını olumsuz yönde etkilemektedir.

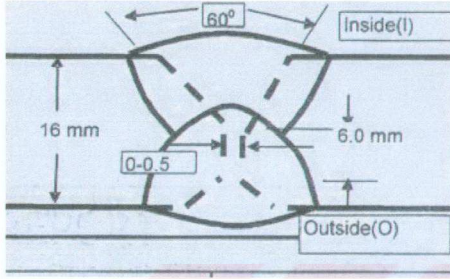


Şekil 6.1 Kaynak dikişi ve sertlik gradyenti (Katalog, 2001)

Dikiş genişliği, gerek kaynak ağzı açılmış kısmı tam olarak kapatarak yanma oluşuna sebebiyet vermeyecek gerekse gazların kaynak banyosundan dışarıya rahatça çıkmasına imkan sağlayacak genişlikte olmalıdır. Her bir dikişin nüfuziyet derinliği işlerlik problemi yaratmayacak düzeyde olmalıdır. İşlerlik iç ve dış dikişin birbirine geçme miktarı olarak tanımlanabilir. İç ve dış dikişin eksenleri arasındaki kaçıklık miktarı, gerek nüfuziyet gerekse işlerlik açısından son derece önemlidir. Bu nedenle, eksenel kaçıklık miktarı kontrol altında tutulmalıdır. Kaynak kepi, ergiyen telin gerek iç gerekse dış dikişte oluşturduğu çıkıntı kısmıdır. Kaynak kepi yüksekliği ve şapka açısı çentik etkisi nedeni ile belirli değerler içinde tutulmalıdır. Dikiş genişliği ve kaynak ağzı şekli değişmediği müddetçe kaynak kepi yüksekliğinin artması ile birlikte şapka açısı da artar. Müsaade edilebilir kaynak kepi yüksekliğini, API 5L standardı 12,7 mm'den daha ince malzemelerde max. 3,17 mm ve 12,7 mm'den kalın malzemelerde ise max. 4,76 mm olarak vermiştir. Ancak, şapka açısının da göz

önüne alınması halinde, kep yüksekliğinin max.2 mm olarak sınırlandırılmasında fayda vardır. Şapka açısı da 30° ile 50° arasında olmalıdır.

Şekil 6.2'de 1067x15,88 mm ebatındaki petrol borusunun şematik kaynak boyutları görülmektedir.



Şekil 6.2 1067x15,88 mm ebatındaki borunun kaynak geometrisi



Şekil 6.3 1067x15,88 mm ebatındaki borunun gerçek / makro görüntüsü

Tozaltı kaynağında dikişin formu çok geniş sınırlar arasında değişir. Kaynak dikişinin kesiti incelendiğinde bir iç ve bir de dış dikiş formu olmak üzere iki farklı formun mevcut olduğu görülür.

Dikiş formu; nüfuziyet derinliği (t), erime genişliği (b) ve dikiş yüksekliği (h) ile karakterize edilir. Buna göre; iç dikiş formu: $b/t=0,5-10$; dış dikiş formu: $b/h=1-8$ arasında değişir. /20/

Dikişin formuna tesir eden başlıca faktörler şunlardır:

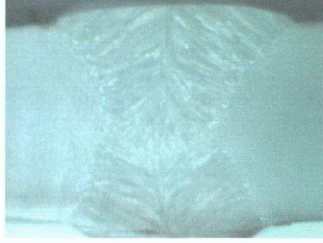
- Akım şiddeti
- Akım yoğunluğu (tel çapı)
- Ark gerilimi
- Kaynak hızı
- Kaynak ağzının hazırlanma şekli
- Ağızlar arasındaki aralık
- Kaynak yapılan parçanın bulunduğu düzlemdeki eğimi
- Akımın cinsi ve kutup durumu
- Kaynak kablosunun bağlantı yeri
- Kaynak tozunun tane büyüklüğü ve yığılma yüksekliği
- Kaynak telinin memenin dışında kalan kısmının uzunluğu

Bütün bu faktörlerin, dikişin formuna olan etkileri Çizelge 6.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1 Tozaltı kaynağında dikişin formu üzerine tesir eden faktörlerin tesir şiddetleri

Kaynak faktörleri (Yükseldikçe)		Nüfuziyet	Dikişin eni	Dikiş yüksekliği
Akım şiddeti (Amper)		Fazla miktarda artar	Artar	Fazla miktarda artar
Ark gerilimi (Volt)		Azalırlar	Fazla miktarda artar	Azalırlar
Kaynak hızı (cm/dak)		Önce artar, sonra sabit kalır. Yüksek hızlarda sistematik olarak azalırlar	Fazla miktarda artar	Azalırlar
Parçanın meyili	Aşağıya doğru	Fazla miktarda azalırlar	Artar	Azalırlar
	Yukarıya doğru	Fazla miktarda azalırlar	Azalırlar	Fazla miktarda artar
Kaynak telinin kaynak yönünde meyili		Fazla miktarda azalırlar	Artar	Azalırlar
Meme mesafesi (mm)		Az miktarda azalırlar	Artar	Azalırlar veya artar
Ağız meyili		Değişmez	Artar	Fazla miktarda azalırlar
İki parça arasındaki aralık (mm)		Fazla miktarda artar	Artar	Fazla miktarda azalırlar
Kaynak tozunun tane büyüklüğü (mm)		Az miktarda azalırlar	Az miktarda azalırlar	Az miktarda azalırlar

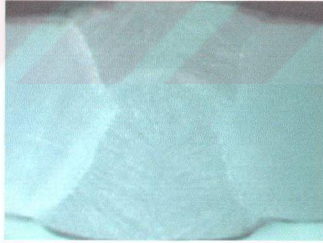
1067 mm çapındaki spiral kaynaklı borularda kaynak geometrisindeki eksenden kaçıklıklar Şekil 6.4'de görülmektedir.



a) 1067x14,27 mm



b) 1067x12,70 mm



c) 1067x14,27 mm

Şekil 6.4 Kaynak bölgesindeki eksenden sapmalar

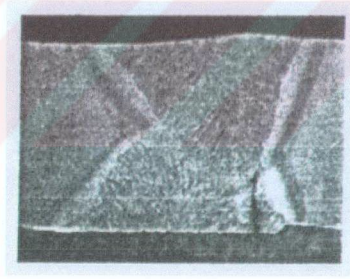
Çatlaklar:

Çatlaklar boyutlarına, yönlenmelerine ve oluşum sebeplerine göre alt gruplara ayrılabilen malzeme ayrılmalarıdır. Oluşum zamanlarına göre çatlaklar “sıcak çatlaklar” ve “soğuk çatlaklar” olarak ikiye ayrılabilir. Sıcak çatlaklar katılma esnasında soğuk çatlaklar katı halde belirli bir sıcaklıkta oluşurlar.

Sıcak çatlaklar birincil tane sınırlarında düşük ergime noktalarına sahip fazların bir sonucu olarak oluşurlar. Çatlak oluşum zamanına bağlı olarak katılma çatlakları ve sıvılaşma çatlakları arasında bir farklılık oluşur. Katılma çatlakları katılma sıcaklığı civarında kaynak metalinin soğuması sırasında direkt olarak oluşur. Soğuk çatlaklar kaynak üstü alanlarda oluşur.

Soğuk çatlakların oluşumu malzeme sertliğinin yanısıra hidrojen içeriği ve kalıntı gerilme şartlarına da bağlıdır (Tsay ve diğerleri, 2001).

Kaynak metalinde ve ısıdan etkilenen bölgede ortaya çıkan çatlaklar ise, diğer hatalara kıyasla en tehlikeli olanıdır (Şekil 6.5). Dış zorlamaların türü ne olursa olsun çatlaklar daima bağlantının dayanak değerini düşürür; bu nedenle, kaynak dikişinde çatlağa kesinlikle müsaade edilmez.



Şekil 6.5 Kaynaktaki çatlağın görüntüsü

Kaynak metalinde meydana gelen hataların en tehlikelisi çatlaklardır ve çatlamlara şu faktörler sebep olur:

- a) Gazı alınmamış esas metal
- b) Segregasyon bölgeleri
- c) Esas metalin karbon miktarının yüksek olması

- d) Silisyum veya manganez miktarının fazlalaşması
- e) Konstrüksiyonun rijit olması
- f) Kaynak dikişinin erken zorlamaya uğraması
- g) Yanlış bir çalışma tekniğinin seçilmesi

Kaynak çatlakları daha çok kalın et kalınlıklı boruların imalatında görülür. Çünkü soğuma hızındaki artış sonucu oluşan iç gerilmeler çatlamaya karşı eğilimi artırır. Özellikle düşük ortam sıcaklıklarındaki kaynaklarda risk fazladır. Bunun yanı sıra parçalar arası kaynak açıklığı, yanlış kutuplama, ilk pasoda yanlış elektrod kullanımı, kaynak dikiş şeklindeki orantısızlık çatlamları artırır. Şekil 6.6'da 2032 x 17.00 mm'lik boru üretiminde tespit edilen çatlak görülebilmektedir.



Şekil 6.6 Kaynaktaki çatlağın floroskopideki görüntüsü

Çatlak oluşumunu önlemek için akım şiddeti ve gerilimin ayarlanması, negatif kutuplamanın seçilmesi, kök açıklığının ayarlanması, ön ısıtma yapılması, elektrot çapının artırılması, pasolar arası ısı değişiminin ayarlanması gerekmektedir.

Boru hattı çeliklerinin “sülfid gerilmesi ile korozif çatlaması” ve “hidrojen çatlaması” na karşı dirençleri petrol / gaz uygulamalarındaki çelikler için çok önemlidir. Hidrojen atomlarının çelik matrisi ve metalik olmayan kalıntıların arayüzeylerde çok hızlı hareket edebilmesinden dolayı uzamış MnS kalıntıları hidrojen çatlakları için en çok etkilenen bölgelerdir. P, Mn, C gibi segregasyon elementleri soğuma esnasında çelik içerisinde sert bantların oluşmasına neden olur. Bu bantlaşmış yapının varlığı çeliklerin sadece hidrojen çatlamasına karşı direncini düşürmez aynı zamanda darbe tokluğunu ve çekme testinde kesit alanını düşürür. Özellikle kontrollü haddelenen sistemlerde hidrojen çatlakları perlit bantları veya çelikteki düşük sıcaklık dönüşüm mikroyapılarında gelişir (Tsay ve diğerleri, 2001).

Aynı dayanç seviyesi altında ferrit / perlit karışımlarının çelik içerisinde temperlenmiş martenzite mikroyapısal dönüşümü “ sülfid gerilmesi ile korozyon” çatlamlarına karşı direnç artırır. İlave olarak düşük karbonlu beyrit veya düşük karbonlu beyrit / ferrit karışımları boru hattı çeliklerinin sülfid çatlaklarına karşı direncini geliştirir. Bantlaşmış bir yapıda hidrojen hareketi haddeleme yönünde, haddeleme yönünün tersine göre daha büyüktür (Tsay ve diğerleri, 2001).

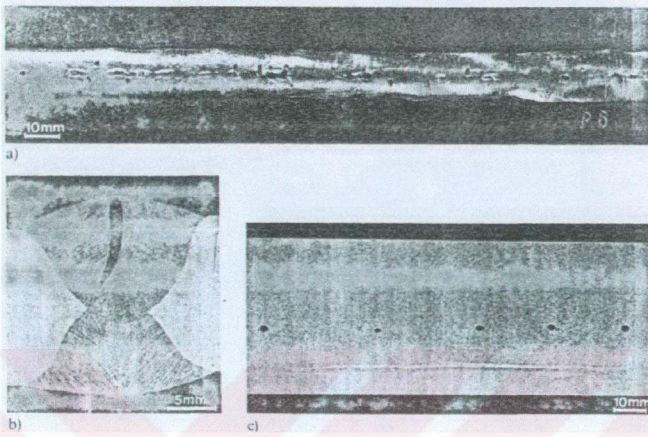
Genel olarak kaynaktaki ısının tesiri altındaki bölge (HAZ) kaynaktan sonra katılaştır. Katılaştıran mikroyapılar genellikle hidrojen kırılabilirliğine ve gerilme korozyon çatlaklarına daha duyarlıdır. Bu tip mikroyapıların oluşumunu engellemek için karbon eşdeğeri veya alaşım elementlerinin ilavesi sınırlandırılmak zorundadır. Karbon miktarının 0.01-0.05 aralığına düşürülmesi merkez segregasyon bölgesinin sertliğini ve yüksek mukavemetli boru hattı çeliklerinin hidrojen çatlaklarına olan etkisini düşürür. Genellikle termo mekanik kontrol işlemi olarak bilinen kontrollü haddeleme ile hızlandırılmış soğuma işleminin bileşimi ile çelik üretiminde belirgin avantajlara ulaşılmıştır. Termomekanik haddelenmiş çeliklerin mikroyapıları hızlı soğuma ile son derece incelmış olup bunun sonucunda çeliğin mukavemet ve tokluk özellikleri gelişmiştir. Buna ilave olarak termo mekanik işlenmiş çeliklerin incelmış mikroyapıları, dayanımları alaşım elementlerinin azaltılması ile çeliklerin kaynaklanabilirliğinin gelişmesi beklenir. Bu neden ile termo mekanik haddelenmiş çeliklerin HAZ bölgelerinin diğer geleneksel çelik kaynaklarına göre soğuk çatlamaya karşı dirençleri ve toklukları daha iyidir (Tsay ve diğerleri, 2001).

Çelik içerisindeki hidrojen tane sınırı kohezyon dayanımını ve kırılma direncini düşürür. Yorulma çatlak büyüme hızı hidrojen varlığı ile artar. Boru hattı çeliklerinin sülfid çatlamasına karşı dirençleri genellikle yavaş uzama çekme testi ile belirlenir. Çatlak büyüme hızı ölçülür ve aynı malzeme ile karşılaştırılır.

Gözenekler (Gaz Boşlukları):

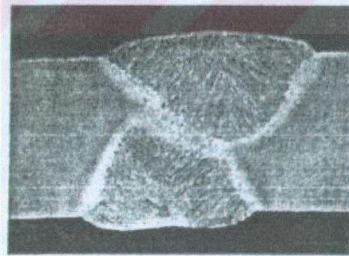
Gözenekler kaynağın katılaşması esnasında oluşan farklı şekil, dağılım ve sayılarda olabilirler. Çıplak göz ile kolayca tespit edilebilen hatalar gözeneklerdir. (Şekil 6.7). Kaynaktaki gözenekler boylamasına veya küresel şekilde olabilirler. Boyutlarına bağlı olarak radyografik veya ultrasonik testler ile tespit edilebilirler. Nitrojen, hidrojen ve oksijen bileşimleri gözenek oluşumlarını etkiler. Kaynak havuzu katılaştıkça gaz boşlukları yüzeyden açığa çıkar veya kaynak metalinin içerisinde kalır. Gazların oluşum hızına ve kaynak alanının katılaşma hızına bağlı olarak gözenekler farklı şekillerde oluşurlar. Tozaltı metodu ile spiral

kaynaklarda fluks'un kimyasal yapısı, kullanılan telin özellikleri ve hammaddenin özellikleri gaz boşluklarının şekillerine etkileri vardır (Weisweiler ve diğerleri, 1987).



Şekil 6.7 Kaynak metalindeki gözenekler a) Yüzeydeki gözenek zincirleri b) Solucan tipi gözenek (enine kesit) c) İnce çatlaklar (boyuna kesit) (Weisweiler, 1987).

Bir kaynak dikişinin içinde bulunan gözenekler, dikişin taşıyıcı kesitinin azalmasına ve lokal gerilme birikimlerine yol açar (Şekil 15). Bu durumda bağlantının mekanik özelliklerinin kötüleşmesine özellikle yorulma dayanımının azalmasına neden olur.



Şekil 6.8 Kaynak dikişindeki gözenekler (Weisweiler ve diğerleri, 1987).

Kaynak dikişinde meydana gelen gözeneklerin sebepleri şunlardır:

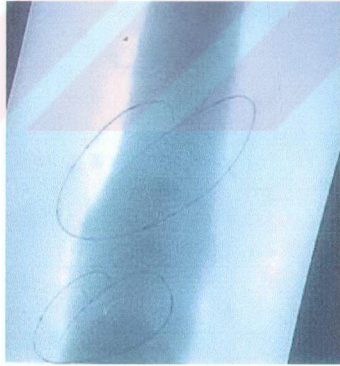
- a) Esas metalin bileşimindeki istenmeyen yabancı maddeler
- b) Kaynak ağzında bulunan boya, pas, yağ, kav gibi maddeler

- c) Kaynak tozunun rutubetli olması
- d) Kaynak tozuna yabancı maddelerin karışmış olması
- e) Arkın dışarıya ışık çıkarması
- f) Kaynak telinin paslı olması

Gaz boşlukları kaynak edilecek bölgenin kirliliği, kaynak telinin kirlenmesi, yetersiz toz beslemesi, toz içerisinde bulunan yabancı maddeler, kaynak bölgesinde toz kalması, segregasyon, yanlış kutuplama, yüksek kaynak hızı ve kalıntı curuf gibi bir çok nedenden dolayı kaynak dikişinde oluşurlar.

Gaz boşluğunun oluşumunu engellemek için; elektrodu pozitif kutuplamak, gerilimi yükseltmek, kaynak hızını düşürmek, kaynak akım şiddetini düşürmek, malzemede iyi temizlik yapmak, tozun yapısındaki yabancı maddeleri iyi bir şekilde ayırmak gereklidir.

Şekil 6.9 ve 6.10'da 1120 x 8.00 mm ebatındaki borunun x-ray ile yapılan floroskopik kontrol neticesinde kaynak dikişi üzerinde beyaz kontrast veren bölgelerin gaz boşlukları olduğu görülmektedir.



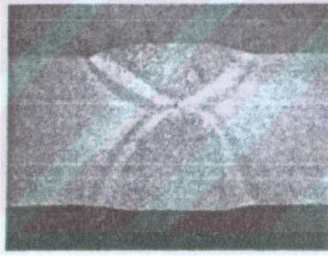
Şekil 6.9 Uzamış gaz boşluklarının floroskopideki görüntüsü



Şekil 6.10 Gaz boşluklarının floroskopideki görüntüsü

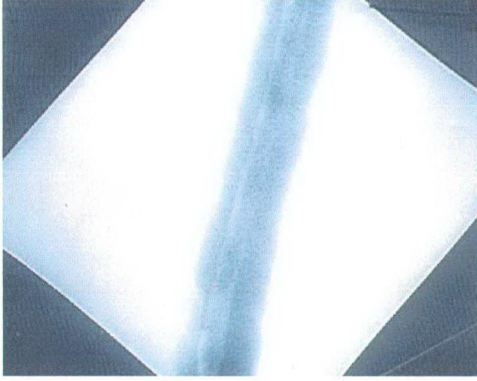
Nüfuziyet Yetersizliği:

Nüfuziyet noksanlığı (Şekil 6.11), özellikle dikişin yorulma dayanımını ciddi bir şekilde düşürür. Dikiş bükülmeye zorlandığında kökteki oyuk ve çentikler kırılma eğilimini artırarak bağlantının bu kısımdan çatlamasına ve sonrasında kırılmasına yol açar.



Şekil 6.11 Nüfuziyet noksanlığı

Genelde nüfuziyet eksikliğinin iki önemli sebebi vardır. Bunlardan brincisi düşük akım şiddeti, diğeri ise yüksek kaynak hızıdır. Bunlara ilave olarak yanlış kutuplama ve kaynak ağzı dizaynı da etkilidir.



Şekil 6.12 Nüfuziyetsizliğin floroskopideki görüntüsü



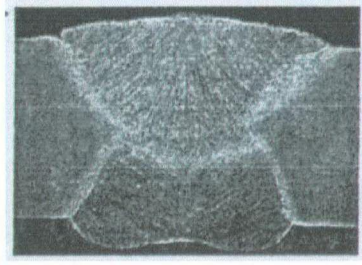
Şekil 6.13 Nüfuziyetsizliğin ve kaynak akmasının floroskopideki görüntüsü

Şekil 6.12 ve 6.13'de 2235 x 17.50 mm'lik boru üretiminde beyaz kontrast veren ve kaynak eksenini boyunca uzanan bölge olarak görülmektedir. Şekil 6.13'de ayrıca kaynak akması da gözlenebilmektedir.

Nüfuziyetsizlik kaynak akım şiddetinin yükseltilmesi, kaynak hızının düşürülmesi DC- pozitif kutuplama yapılarak veya kaynak ağız açısını arttırılarak giderilebilir.

Yanma Oluşu:

Yanma olukları ise (Şekil 6.14), çentik etkisi yarattıklarından dolayı özellikle dinamik zorlanmalara maruz bağlantılarda istenmezler (Kahraman ve diğerleri, 1999).



Şekil 6.14 Yanma olukları

Yanma olukları yüksek kaynak hızlarında ve yüksek akım şiddetlerinde çalışılması durumunda meydana gelir.

Kaynak dikişlerinin kenarlarında oluşan yanma olukları veya çentiklerin sebepleri şunlardır:

- a) Yanlış çalışma tekniği
- b) Parçanın pozisyonunun uygun olmaması
- c) Yanlış kafa ayarı
- d) Kaynak ağızlarının uygun hazırlanmaması

Yanma oluklarının önlenmesi için tek kafalı kaynaklarda, negatif kutuplama kullanılmalı elektrod çapı artırılırken gerilim akım şiddeti ve kaynak hızı düşürülmelidir. Çok kafalı kaynaklarda ise elektrodlar arası mesafe takip eden ark gerilimi ve kaynak hızı düşürülmelidir.

Cüruf Kalıntıları:

Tozaltı kaynağında dikişteki cüruf kalıntılarının başlıca sebepleri şunlardır:

- a) Yetersiz bir nüfuziyet
- b) Kaynak pasolarının birbirini yetersiz kesmesi
- c) Kaynak yapılmamış kısımların mevcudiyeti
- d) Yüksek ark gerilimi
- e) Yüksek kaynak hızı
- f) Telin kötü şekilde yönetilmesi

g) Telin kesintili olarak kaynak bölgesine gelmesi

Birleşme Azlığı:

Yetersiz bir birleşmeye aşağıdaki faktörler neden olur:

- a) Yanlış çalışma tekniğinden dolayı birleşmenin yetersiz olması
- b) Kaynak ağzlarının uygun hazırlanmaması

Delinmeler:

Kaynak dikişinde meydana gelen delinmelere, yanlış çalışma tekniği veya tesisattaki fonksiyon arızaları sebep olur. Delinmeleri önlemek için akım şiddeti azaltılmalı, ark gerilimi yükseltilmeli ve kaynak hızı arttırılmalıdır.

7. MİKROALAŞIMLI ÇELİKLER VE BORU HATLARINDAKİ GELİŞMELER

Boru hattı yapımında HSLA çelikleri rakipsizdir ve bunlardan daha güvenli bir başka malzeme seçeneği yoktur. HSLA boru hattı çeliklerinin kullanımında sınırlamalar genel olarak pazar koşulları ve teknik güçlükler gibi bir başka malzeme olmayışı arayışına yol açmayacak sorunlardır (Çelik, 1996).

Boru hattı çelikleri alanındaki daha verimli hat tasarımı için daha yüksek dayanımlı çelik üretimine doğru olan genel eğilimin gelecekte de süreceği anlaşılmaktadır. Coğrafi konum nedeni ile ortağa çıkan örneğin kutup ve buraya yakın bölgeler, deniz aşırı petrol kuyuları ve taşınacak olan petrol ve gazların çok aşındırıcı özellikte olmaları gibi çalışma koşulları, boru hattı çeliklerinin temel mekanik özelliklerinin, bir başka deyişle, tokluk, kaynak yapılabilirlik, hidrojen kaynaklı ve kükürt kaynaklı çatlamaya dayanım gibi özelliklerin sürekli olarak iyileştirilmesi ve geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Gelecekteki gelişmelerin ne olacağı konusunda iki genel amacın varlığından söz edilebilir. Bunlardan ilki, levha ve şerit geometrisinde daha dengeli bir dağılım elde edilmesi, ikinci ise üretim harcamalarının azaltılmasıdır. Gelecekteki olası ürün çeşitleri göz önüne alınarak bu alanda beklenen gelişmeler, kısaca aşağıda verilmektedir.

- Aşırı korozif çalışma koşullarına uygun nitelikte kalitelerin ($> X65$) alanında yeni gelişmelerin elde edilmesi. Denizaşırı uygulamalar için malzeme et kalınlıklarının daha da artırılma gereği (> 25 mm) vardır ve bu ise çeliğin kimyasal bileşimi açısından bazı sınırlamaların olması nedeniyle üreticiler için yepyeni bir uğraş anlamını taşımaktadır.
- Kara taşımacılığında kullanılan boru hatlarında daha yüksek ($> X70$) kalite çeliklerin geliştirilmesi. Orta vadeli gelecekte bu açıdan en düşük malzeme dayanımın X80 düzeylerinde kalması beklenmektedir (Çelik, 1996).

Daha şimdiden kutup koşullarında yapılacak boru çeliklerinde malzeme dayanımın artırılması sonucunda daha ince boruların üretilmesi ile önemli ölçüde maliyet azalması sağlanması düşünülmektedir. Öte yandan çatlak oluşumunun önüne geçilmesi amacı ile boru çapları düşük tutulmaya devam edilecektir.

8. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

8.1 Seçilen Borunun Genel Özellikleri

Detayları aşağıda belirtilen borunun hammadde ve kaynak özellikleri incelenmiştir.

Çizelge 8.1 İncelemesi yapılan borunun genel tanımlaması

TANIM	: TOZALTI YÖNTEMİ İLE SİRAL KAYNAKLI ÇELİK BORU												
EBAT	: 1067 X 15.88 MM												
ÜRETİM STANDARDI	: API 5L 42.edt. - 2000												
ÇELİK KALİTESİ	: X-65 / API 5L												
ÇELİK ÜRETİCİSİ	: SOLLAC MEDITERRANEAN GROUPE												
ÇELİK ÜRETİM ROSESİ	: BOF, SÜREKLİ DÖKÜM, VAKUMDA GAZ GİDERME												
DÖKÜM NO	: 730321058												
RULO NO	: 117035												
BORU NO	: 201000-0												
KULLANILAN KAYNAK TELLERİ	: Üretici: PITTARC Ebat; 4.0 mm ve 3.2 mm Kalite: SFA 5.23 EG ve SFA 5.23 EA 4												
	<table><tr><th colspan="2">İÇ KAYNAK</th><th colspan="2">DIŞ KAYNAK</th></tr><tr><th>DC</th><th>AC</th><th>DC</th><th>AC</th></tr><tr><td>4.0 mm</td><td>3.2 mm</td><td>4.0 mm</td><td>3.2 mm</td></tr></table>	İÇ KAYNAK		DIŞ KAYNAK		DC	AC	DC	AC	4.0 mm	3.2 mm	4.0 mm	3.2 mm
İÇ KAYNAK		DIŞ KAYNAK											
DC	AC	DC	AC										
4.0 mm	3.2 mm	4.0 mm	3.2 mm										
KULLANILAN FLUX	: Üretici: LINCOLN Tipi: P 223												

Çizelge 8.2 Seçilen Borunun Boyutsal Özellikleri

BORU BOYU : 12250 mm

DOĞRUSALLIK : 2 mm

ET KALINLIĞI	:	SAĞ UÇ	15.86 mm
		ORTA	15.99 mm
		SOL UÇ	15.90 mm

ÇEVRE	:	SAĞ UÇ	3351 mm
		ORTA	3355 mm
		SOL UÇ	3360 mm

OVALİTE	:	SAĞ UÇ	1070 - 1070 mm
		SOL UÇ	1071 - 1072 mm

KAYNAK YÜKSEKLİĞİ	:	Sağ	Orta	Sol	
		İç Kaynak	2.10	2.00	1.90 mm
		Dış Kaynak	2.30	2.00	2.00 mm

KAYNAK GENİŞLİĞİ	:	Sağ	Orta	Sol	
		İç Kaynak	18.00	17.60	17.80 mm
		Dış Kaynak	17.20	18.00	16.20 mm

UÇ KESİM DİKLİĞİ	:	Sağ	0.5 mm
		Sol	0.5 mm

KAYNAK AÇZI	:	Sağ	Sol
		Açı	Alın
		33 derece	2.0 mm

OFFSET : 0.1 mm

YÜZEY HASARLARI	: Tamam.
İÇ / DIŞ DENT	: Tamam.
SIZDIRMAZLIK TESTİ	: Süre: 10 sn. Basınç: 102 bar.
ULTRASONİK TEST	: Otomatik Cihaz Tipi: KRAUTKRAMER USPC 2100 Manuel Cihaz Tipi: KARUTKRAMER USN 52 L/R
RAGROGRAFIK TEST	: Cihaz Tipi: RICH SEIFERT & CO. ISOVOLT HS 225

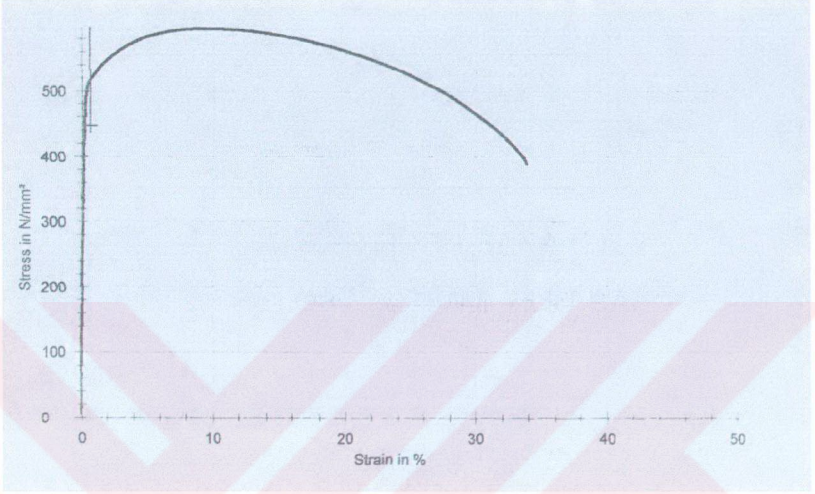
Çizelge 8.3 Kimyasal Analiz Değerleri

ELEMENT ANALİZ (AĞIRLIK %)

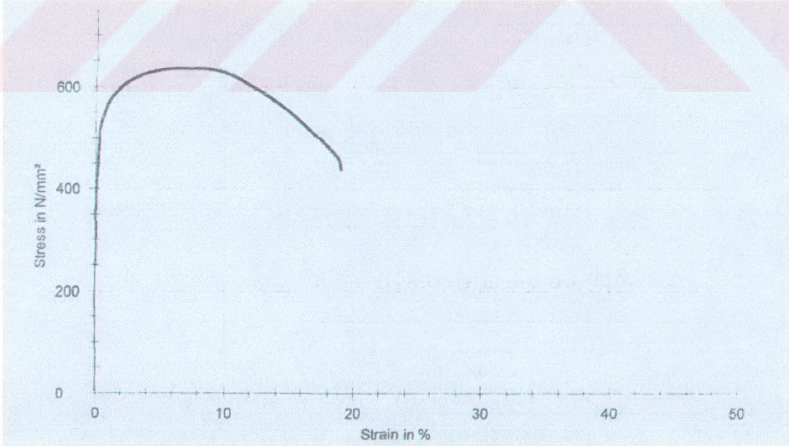
C	:	0.04
Si	:	0.18
Mn	:	1.04
P	:	0.015
S	:	0.001
Ni	:	0.24
Cr	:	0.03
Mo	:	0.09
Cu	:	0.01
B	:	0.0002
N	:	0.006
Al	:	0.03
Nb	:	0.05
Ti	:	0.002
V	:	0.06
CE	:	0.11

8.2 Çekme Testi

Çekme testi malzeme üzerinden ve kaynak bölgesinden alınan numuneler üzerinde yapılmış olup grafikleri Şekil 8.1 ve Şekil 8.2'de görülmektedir. Çekme testlerinde E-Modülü Hızı: 10 N/mm²s ve test hızı: 20 mm/dk ile sabit tutulmuştur.



Şekil 8.1 Malzemeden alınan numune ile yapılan çekme testi



Şekil 8.2 Kaynaktan alınan numune ile yapılan çekme testi

8.3 Bükme Testi

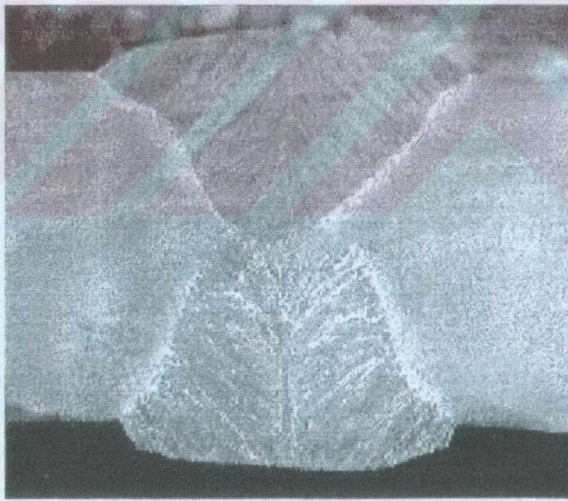
Üç nokta bükme testi uygulanan numune de kaynak her iki yönde bükülmüştür. Sonrasında yapılan büyüteç ile gözlemlerde malzemede ve kaynakta bir çatlak oluşmadığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 8.4 Bükme testi

Mandrel Çapı	Mesafe	Kök		Dış	
		Açı	Sonuç	Açı	Sonuç
157,5 mm	198,9 mm	180 derece	tamam.	180 derece	tamam

8.4 Spiral Dikişin Makro Görüntüsü ve Geometrisi

Kaynak dikişinin makro görüntüsü aşağıda mikro yapıda görülmektedir. Kaynak geometrisinde herhangi bir kaçıklık ve geometrisinde bir bozukluk tespit edilmemiştir. Ölçümler mikroskop üzerindeki scala ile yapılmıştır.



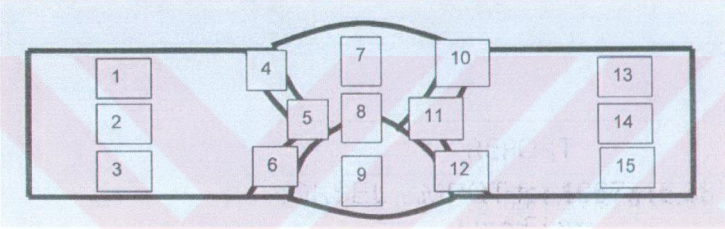
Şekil 8.3 Spiral kaynak dikişinin makro görüntüsü

Çizelge 8.5 Spiral dikişin geometrisi

Dış Kaynak Yüksekliği	2.00	mm
İç Kaynak Yüksekliği	2.70	mm
Dış Kaynak Genişliği	15.90	mm
İç Kaynak Genişliği	13.50	mm
Misalignment	0.80	mm
Offset	0.80	mm

8.5 Sertlik Testi

Kaynak bölgesindeki sertlik gradyenti 15 farklı nokta ile belirlenmiştir.



Şekil 8.4 Numune üzerindeki sertlik noktaları

Çizelge 8.6 Kaynak üzerindeki sertlik gradyenti

No.	HV 10
1	186.12
2	182.46
3	193.31
4	205.41
5	196.83
6	208.75
7	243.42
8	225.81
9	232.38
10	203.65
11	181.41
12	195.65

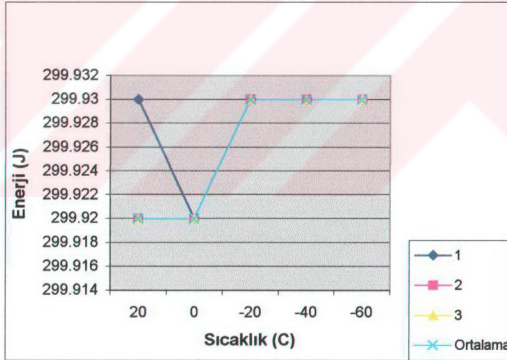
13	186.12
14	176.47
15	182.46

8.6 Charpy Darbe Testi

Baz metalden ve kaynak bölgesinden alınan 5' er numune ile değişen sıcaklıklarda seri darbe testleri uygulanmıştır.

Çizelge 8.7 Baz metal üzerinde yapılan test sonuçları

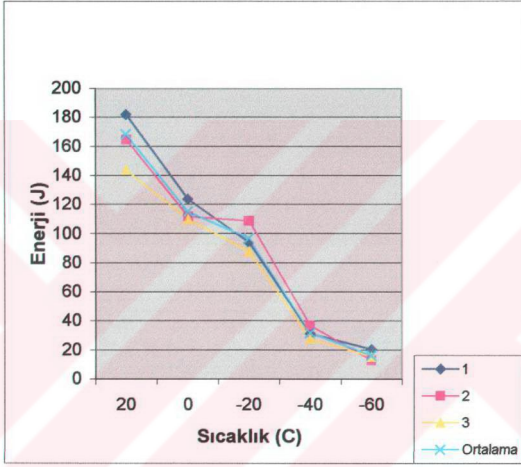
	1	2	3	Ortalama
Enerji (joule) + 20 derece	299.93	299.92	299.92	299.92
Enerji (joule) 0 derece	299.92	299.92	299.92	299.92
Enerji (joule) - 20 derece	299.93	299.93	299.93	299.93
Enerji (joule) -40 derece	299.93	299.93	299.93	299.93
Enerji (joule) -60 derece	299.93	299.93	299.93	299.93



Şekil 8.5 Baz metal üzerindeki enerji-sıcaklık grafiği

Çizelge 8.8 Kaynak üzerinde yapılan test sonuçları

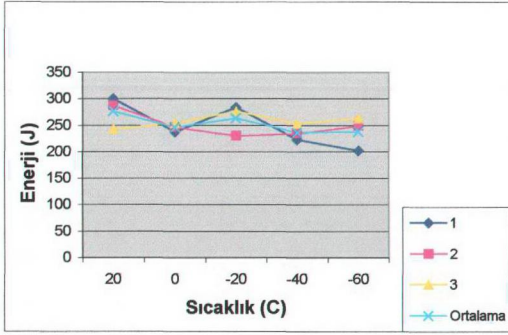
	1	2	3	Ortalama
Enerji (joule) + 20 derece	182.16	164.80	143.90	168.62
Enerji (joule) 0 derece	123.83	111.83	110.04	115.23
Enerji (joule) - 20 derece	93.90	108.81	87.85	96.85
Enerji (joule) -40 derece	31.39	36.81	27.85	32.01
Enerji (joule) -60 derece	20.59	12.89	15.55	16.34



Şekil 8.6 Kaynak üzerindeki enerji-sıcaklık grafiği

Çizelge 8.9 HAZ bölgesi üzerinde yapılan test sonuçları

	1	2	3	Ortalama
Enerji (joule) + 20 derece	299.91	287.28	243.56	276.92
Enerji (joule) 0 derece	237.61	246.23	254.54	246.13
Enerji (joule) - 20 derece	284.08	230.51	276.87	263.82
Enerji (joule) -40 derece	223.24	234.38	253.55	237.06
Enerji (joule) -60 derece	202.25	248.99	263.61	238.28



Şekil 8.7 HAZ üzerindeki enerji-sıcaklık grafiği

9. SONUÇLAR

Türkiye, son yıllarda yapımı hız kazanan petrol ve doğal gaz boru hatları ile enerji köprüsü olmaya aday bir ülke haline gelmiştir. Doğal gazın enerji maliyeti önemli bir oranda ulaşım maliyetine bağlı olup, ekonomik ulaşım ise ancak yüksek basınçlı ve büyük çaplı boru hatlarıyla mümkün olmaktadır. Söz konusu bu yüksek basınçlarda hattın (yani borunun) dayanıklılığı sadece boru çapına, et kalınlığına ve malzemenin yapısına değil aynı zamanda kaynak dikişinin kalitesine de bağlıdır.

Bir boru hattı başlıca iki kaynak işlemine tabi tutulmaktadır. Bunlardan biri, madeni levha ya da sac halinde iken borunun imalat işlemleri esnasında, diğeri doğrudan boru ile boru hattı arasındaki dönem sırasında yayılmaktadır. Fabrikadaki boru imalatı sırasında, ana metal içerisinde istenen ortak mekanik özelliklerin sağlanması ön planda gelmektedir. Yüksek verimlilik için daldırılmış ark kaynağı (SAW) gibi yöntemler kullanılmıştır. Isının etkisi altında kalmış bölge (HAZ) direncinin ve kaynak metal etkisine karşı olan direncin de yeterli olması verimliliği etkiler. Bölgesel kaynakta, yüksek kaynak hızında hidrojen kırılabilirliğinin azlığı ve mükemmel nüfuz etme, kaynak kalınlığının ısı etkisi altında olan bölgedeki temel gereksinimleridir.

Kaynaklı boruların yapımı ya elektrik ark kaynağı ya da toz ya da örtülü ark kaynağıyla gerçekleştirilir. En çok kullanılan borular, ark kaynağı ile birleştirilmiş, sıcak haddelenmiş çeliklerden imal edilen ve çapı 600mm (24")'ye kadar, et kalınlıkları ise 19mm (0,75") olan borulardır. Örtülü ark kaynağı ile imal edilen borular düz ya da spiral kaynaklı olabilmektedir. Spiral kaynaklı boruların imal edildikleri çelikler, çoğunlukla 25mm (1") kalınlığına kadar olan geniş sıcak bantlardır; ancak levha malzemeler de kullanılabilir. Bu yolla çok geniş çaplı boruların üretimi başarılmıştır.

Son yıllarda, yüksek dayanıklı boru çelikleri kullanım yerleri dikkate alındığında gerek gaz gerekse petrol taşımacılığında çok önemli bir yer teşkil etmektedir. Bu tip çeliklerden özellikle API X65, X70 ve X80 gibi kaliteler boru üreticilerin ihtiyaçlarına uygun mikroyaşamı çeliklerdir. Mekanik özellikler açısından yüksek dayanç, düşük darbe geçiş sıcaklığı ve iyi bir kaynaklanabilirlik özelliklerinin birleşimi ile bu çelikler kullanım sırasında çalışma şartlarına oldukça dirençli malzemeler haline gelmişlerdir. Mikroyaşamı çelikler bu mekanik özelliklere çelik üretimi ve haddelenmesi sırasında termomekanik işlem adı verilen özel bir işlem uygulaması sonucu sahip olurlar.

Kaynak akımı, kaynak gerilimi, kaynak ağız biçimi, tel çapı, akım cinsi ve kaynak hızı gibi kaynak parametreleri, kaynak işleminin etkinliğini ve elde edilen kaynak bağlantısının kalitesini belirleyen en önemli faktörler olup, kaynaklanan metalin türü ve parça geometrisi göz önüne alınarak saptanırlar.

Kaynak parametrelerinin uygun seçilmemesi, uygun olmayan ek kaynak metali-kaynak tozu kullanımı ya da kötü bir kaynak tekniğinin uygulanması sonucunda istenmeyen bir dizi kaynak hatası ile karşılaşılması olasıdır. Tüm kaynak hataları kaynak dikişinde bir zayıflama ve süreksizlik oluşturarak bağlantının kullanımı sırasında geri dönüşü olanaksız çatlak, kırılma ya da performans eksikliğine sebep olabilir. Uygulamada sıkça karşılaşılan hata türleri nüfuziyet yetersizliği, yanma oluşu, kalıntılar, çatlaklar, gözenek ve dikişteki şekil bozukluklarıdır.

Tüm bunlar göz önüne alındığında kaynak parametreleri seçiminin ne denli önemli olduğu bir kez daha anlaşılmaktadır.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda ulaşılan sonuçlar aşağıdaki gibidir:

- a- Borunun kaynaklı bölgesindeki tüm özellikler en az ana malzeme kadar iyi olmalıdır.
- b- Ana malzemenin kimyasal özellikleri incelenmiş ve $Ti + Nb + V$ toplamı % 0.112 mertebesinde bulunmuştur. Karbon eşdeğeri 0.11 olarak hesaplanmıştır.
- c- Mekanik testlerde kaynak bölgesi en az ana malzeme kadar dayanıma sahiptir.
- d- Kök bükme testinde kaynak bölgesinde herhangi bir makro çatlak gözlenmemiştir.
- e- Sertlik testlerinde baz metal, HAZ bölgesi ve kaynak üzerinde ölçülen değerlerde fazla bir değişkenlik bulunmamıştır. Bu aradaki sertlik farklılıkları işletme esnasında çatlaklara yol açar. Sertliğin en yüksek olduğu nokta kaynak bölgesi üzerinde ölçülmüştür.
- f- Baz metal üzerinde yapılan darbe testinde -60 dereceye kadar sabit bir kırılma enerjisi ölçülmüştür.
- g- Kaynaklı bölge üzerinde yapılan -40 dereceye kadar 25 joule'un üzerinde kaldığı ölçülmüştür.
- h- HAZ bölgesindeki darbe testinde çok düşük bir enerji kaybı olduğu ölçülmüştür. HAZ bölgesi parametreleri değiştirebilecek bir değişikliğe uğramamıştır

KAYNAKLAR

- American Petroleum Institute (API) Standards, Spec 5L: Line Pipe, (2002), USA.
- Ank, S., Dikicioğlu, A., Oğur, A., (1998) "Pipeline Borularının Kaynağında Hata Standartları", İ.T.Ü. Makina Fakültesi, İstanbul.
- Ank, S., (1983), "Kaynak Teknolojisi El Kitabı", İstanbul.
- ANON., "Description of Automatic Welding Systems", Automatic Welding, Crc-Evans.
- Bakkaloğlu, A., (1991), "Mikroalaşımli Çelikler ve Gelişimi", 4. Denizli Malzeme Sempozyumu, 24-26 Nisan 1991, Denizli.
- Bakkaloğlu, A., (2000) "Mikroalaşımli Çeliklerin Kontrollü Haddelenmesi Sırasında Mikroyapısal Karakterizasyonu ve Mikroyapı-Mekanik Özellikler İlişkisi", 10. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi Bildiriler Kitabı, Cilt 2, İstanbul.
- Bhadeshia, H.K.D.H., (1998), "Alternatives to the Ferrite-Pearlite Microstructures", Microalloying in Steels, 39-50, University of Cambridge, Department of Materials Science and Metallurgy, Cambridge, UK.
- Bıyıklı, M., Yeşil, C., Çömeten, Ö., Erdem, G., (2001) "Erdemir'de Yüksek Mukavemetli Mikro Alaşımli Boru Malzemelerin (API 5L X65) Mekanik ve Mikroyapı Özelliklerinin Belirlenmesi", Ereğli Demir-Çelik Fabrikaları, Ereğli.
- Bosela, M., Bernasovsky, P., (1998), "Spirally Welded Pipes of Grade X70 Steels", VSZ OCEL Ltd. Research and Testing Institute, Kosice, Welding Research Institute, Bratislava, Slovakia.
- Ceyhun, V., Akbaş, N., (1998) "Pipeline Corrosion", Pipeline Welding '98, İstanbul Technical University, Machine Design and Manufacturing Research Center, İstanbul.
- Çelik, H., (1996) "Boru Hattı Çelikleri", Kalite Metalurji Başmüdürlüğü Araştırma ve Geliştirme Müdürlüğü.
- Gültekin, N., Yumurtacı, S., "Demir Esaslı Malzemelerin Örtülü Elektrodlarla Kaynağında Yayınan Hidrojenin Etkileri", Yıldız Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İstanbul.
- Iamboliev, T., Katayama, S., Matsunawa, A., (1998), "Phase Formation Under Normal and Rapid Solidification in Austenitic Stainless Steel Welds", Pipeline Welding '98, İstanbul Technical University, Machine Design and Manufacturing Research Center, İstanbul.
- Kahraman, Ş., Akın, Ü., Akgüllü, E., (1999) "Tozaltı Kaynak Yöntemi ile Spiral Dikişli Boru Üretiminde Kaynak Parametrelerinin Belirlenmesi", Mannesmann Boru End. T.A.Ş., İzmit.
- Karadeniz, S., Çelik, A., (1991) "Tozaltı Kaynağında Akım Şiddetinin Kaynak Dikişine Etkilerinin İncelenmesi", 4. Denizli Malzeme Sempozyumu, 24-26 Nisan 1991, Denizli.
- Karagöz, Ş., Çeviker, I., (1991), "Mikroalaşımli Çelikler", 4. Denizli Malzeme Sempozyumu, 24-26 Nisan 1991, Denizli.
- Karagöz, Y., (1996) "Sade Karbonlu Çeliklerin Elektrik Ark Kaynağı ile Kaynatılmalarında Kaynak Dikişine Etki Eden Faktörlerin Deneyisel İncelenmesi", Makina ve Metal Teknolojisi Nisan Sayısı, İstanbul.
- Katalog, (2001) "Spirally Welded Steel Line Pipes", Mannesmann Boru.

Kayalı, S. E., (1995), "Kontrollü Haddeme ve Temomekanik İşlemler", 8. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, 6-9 Haziran 1995, İ.T.Ü Metalurji Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

Koltuk, F., Bakkaloğlu, A., (1998), "Yüksek Dayanımlı Düşük Alaşım Çeliklerde Mikro Alaşım Elementlerinin Dönüşüm ve Yapı Üzerindeki Etkisi", Metal Dünyası, Nisan Sayısı, 19-20, İstanbul.

Kurtteveli, B., (1999) "Boruların Kaynağı", Gedik Kaynak A.Ş., İstanbul.

Madazaloğlu, A., (1987), "Boru Hattı İnşaatında Kaynağın Yeri ve Önemi", TEKFEN İmalat ve Tesisat A.Ş., İstanbul.

Messler, R.W., (1999), "Processes, Physics, Chemistry and Metallurgy", Principles of Welding, John Wiley & Sons Inc.

O'Donoghue, P.E., Kanninen, M.F., Leung, C.P., Demofonti, G., Venzi, S., (1996) "The development and validation of a dynamic fracture propagation model for gas transmission pipelines", Elsevier Science Limited.

Önem, Z., (1999) "Mikroalaşımli Çeliklerde Termomekanik İşlem Parametrelerinin Mikroyapı ve Mekanik Özellikler Üzerinde Etkisi", Bitirme Ödevi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

Ponschab, G., Akın, Ü., Akgüllü, E., Maktavlı, E., (1998) "Effect of Line Pipe Quality-Parameters on Pipeline Safety", Pipeline Welding '98, Istanbul Technical University, Machine Design and Manufacturing Research Center, İstanbul.

Sanctis, M., Lovicu, G.F., Valentini, R., Solina, A., (2001), "Property Models for Mixed Microstructures in High-Strength Microalloyed Steels", Department of Chemical Engineering, Industrial Chemical and Materials Science, Pisa, Italy.

Sedmak, S., Geric, K., (1998), "Properties and Crack Resistance of Heat-Affected-Zone of Microalloyed High Strength Steels", Faculty of Technology and Metallurgy, Belgrade, Yugoslavia.

Sheet Products & Process Research Team, (1998) "Analysis Report on the Production Results of API 5L-X65 Grade Gaspipes (Turkey)", POSCO Technical Research Laboratories.

Singh R., Singh S.R., (1997) "Remaining Creep Life Study of Cr-Mo-V Main Steam Pipe Lines", International Journal of Pressure Vessels & Piping, 89-95, Elsevier Science Ltd.

Sun, J., Boyd, J.D., (2000), "Effect of Thermomechanical Processing on Anisotropy of Cleavage Fracture Stress in Microalloyed Linepipe Steel", International Journal of Pressure Vessels & Piping, 369-377, Elsevier Science Ltd.

Sun, W., Lu, C., Tieu, A.K., Jiang, Z., Liu, X., Wang, G., (2002), "Influence of Nb, V and Ti on Peak Strain of Deformed Austenite in Mo-based Micro-alloyed Steels", Journal of Materials Processing Technology, 72-76, Elsevier Science B.V.

Teknik Yayınlar 11, (1994) "Mikroalaşımlama", Asil Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ş., İstanbul.

Topuz, A., Ünal, A., Aydoğan, K., (1998) "Welding Tests and Inspections of Natural Gas Transmission Lines", Pipeline Welding 1998, ITU, Machine Design and Manufacturing Research Center, İstanbul.

Tsay, L.W., Chen Y.C., Chan S.L.I., (2001) "Sulfide stress corrosion cracking and fatigue crack growth of weld".

Wang, S., Chen, W., (2001), "Room Temperature Creep Deformation and its Effect on Yielding Behaviour of a Line Pipe Steel with Discontinuous Yielding", Materials Science and Engineering, 147-153, Elsevier Science B.V.

Weisweiler, F.J., Sergeev, G.N., (1987), "Non-Destructive Testing of Large Diameter Pipe for Oil and Gas Transmission Lines", VCH, USA.

Yumurtacı, S., Gültekin, N., "Demir Esaslı Malzemelerin Örtülü Elektrotlarla Kaynağında Yayınan Hidrojenin Etkileri", Yıldız Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İstanbul.

Yüksel, T., (2001) "Mikroalaşımli Çeliklere Uygulanan Termomekanik İşlemler", Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü, İstanbul.

Zeren, A., Tülbentçi, K., "Kaynaklı Yapılarda Oluşan İç Gerilmelere Malzemenin Rölaksasyon Özelliğinin Etkisi", Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İzmit.



ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	05.09.1979	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1994-1997	İstek Vakfı Özel Uluğbey Lisesi
Lisans	1997-2001	Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fak. Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2001-2004	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Malzeme Anabilim Dalı

Çalıştığı kurum(lar)

2001-Devam ediyor KAMA Dış Ticaret Ltd.Şti

