

10/68

sub-ncu

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**VAKUM METALURJİSİ YÖNTEMİ İLE
ÇELİK ÜRETİMİ**

Metalurji Müh. Mithat TERZİOĞLU

**FBE Metalurji ve Malzeme Müh. Anabilim Dalı Üretim Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ahmet EKERİM

İSTANBUL, 2001

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
KÜTÜPHANE VE DOKÜMANTASYON
DAİRE BAŞKANLIĞI

Yer No (DDC) : R 370
68

Kayıt No : 1365.....

Geldiği Yer : ..Fen..Bilimleri..Enst.....
.....

Tarih : 12.03.2002.....

Fiyat : 1.060.000 TL.....

Fatura No : x.....

Ayniyat No : 1/1.....

Ek : x.....

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

x - 53

Doç. Dr. Ahmet EKERİM
Prof. Dr. Nilşen SONMEZ
Doç. Dr. Enur Alp YÜCEL

VAKUM METALURJİSİ YÖNTEMİ İLE ÇELİK ÜRETİMİ

Metalurji Müh. Mithat TERZİOĞLU

FBE Metalurji ve Malzeme Müh. Anabilim Dalı Üretim Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ahmet EKERİM

İSTANBUL, 2001

SİMGE LİSTESİ.....	iv
KISALTMA LİSTESİ.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vii
ÖNSÖZ.....	viii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. İKİNCİL METALURJİ ve VAKUM METALURJİ PROSESLERİ.....	2
2.1 Çelik Üretim Prosesi.....	2
2.1.1 Karbon Uzaklaştırma.....	2
2.1.2 Azot Kontrolü.....	4
2.1.3 Oksijen Kontrolü.....	5
2.2 Vakum Metalurji Prosesleri.....	6
2.2.1 Potada Vakum Altında Gaz Giderme Prosesi (VD).....	6
2.2.2 Pota Fırını (LF)/ Vakum Altında Ark Yoluyla Gaz Giderme Prosesi (VAD).....	6
2.2.3 Potada (VOD)/ Konvertörde (VODC) Vakum Altında Oksijenle Dekarbürizasyon Prosesleri.....	8
2.2.4 DH Vakum Sirkülasyon Prosesi.....	10
2.2.5 RH Vakum Resirkülasyon Prosesi.....	11
2.2.6 RD-KTB Vakum Resirkülasyon Prosesi.....	13
3. VAKUM METALURJİSİ İLE ÜRETİLEN ÇELİK TİPLERİ VE KİMYASAL KOMPOZİSYONUN ÇELİK MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ.....	16
3.1 Vakum Metalurjisi İle Üretilen IF Çelik Tipleri.....	17
3.1.1 Ti İçeren IF Çelik Tipleri.....	17
3.1.2 Nb İçeren (Nb-Ti ve Nb) IF Çelik Tipleri.....	19
3.2 Kimyasal Bileşimin Çelik Mekanik Özelliklerine Etkisi.....	24
4. RD-KTB TİPİ BİR VAKUM METALURJİ PROSESİ İLÇELİK ÜRETİM ÇALIŞMALARI.....	31
4.1 RD-KTB Prosesinde Proses Akışı ve Yapılan Çalışmalar.....	35
4.2 Karbon , Azot ve Titanyum Miktarlarının Çelik Mekanik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi.....	43
5. SONUÇ.....	49

KAYNAKLAR.....	50
ÖZGEÇMİŞ.....	53

SİMGE LİSTESİ

$\underline{C}$	Çözünmüş karbon
C_t	t zaman sonra karbon miktarı
C_o	İlk karbon miktarı
$C_{(s)}$	Sıvı haldeki karbon
$CO_{(g)}$	Gaz halindeki karbon monoksit
$CO_{2(g)}$	Gaz halindeki karbon di oksit
$\underline{Fe}$	Çözünmüş demir
k	Kütle transferi katsayısı
K^o	Dekarbürizasyon sabiti
r	Şekillendirilebilirlik katsayısı
$-$	
$r(\Delta r)$	Ortalama Şekillendirilebilirlik katsayısı
t	Başlangıç süresi
Ti_{eff}	Azot ve kükürt ile birleştikten sonra karbon ile birleşecek titanyum miktarı
Ti^*	Karbon, azot ve kükürt' ü stabilize etmek için gerekli miktarın üzerindeki aşırı titanyum miktarı
t_o	Bitiş süresi

KISALTMA LİSTESİ

Ağ.	Ağırlık
A.M.	Akma Mukavemeti
BÇÜP	Birincil Çelik Üretim Fırını
BOF	Basic Oxygen Furnace
ÇK	Çekme Kalite
Ç.M.	Çekme Mukavemeti
Dak.	Dakika
DÇK	Derin Çekme Kalite
DH	Dortmund Hoerde
DK	Düşük Karbonlu
EDÇK	Ekstra Derin Çekme Kalite
IF	Interstitial Free Steel
KTB	Kawasaki Top-Blowing
K-BOP	Kawasaki- Basic Oxygen Proses
Min.	Minimum
MPa	Megapascal
MUK.	Mukavemet
PPM	Prarts Per Million
RD	Recirculation Degassing
RH	Ruhrstahl-Heraeus
RH-PB	Ruhrstahl-Heraeus-Power Blowing
RH-OB	Ruhrstahl-Heraeus-Oxygen Blowing
Q-BOP	Bottom Blown Basic Oxygen Proses
SDP	Sürekli Döküm Prosesi
SolAl	Solvent Aluminium
TK	Ticari Kalite
VAD	Vacuum Arc Degassing
VD	Vacuum Degassing
VOD	Vacuum Oxygen Decarburizing
VODC	Vacuum Oxygen Decarburizing in Convertor
VMP	Vakum Metalurji Prosesi
YK	Yüksek Karbonlu

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	VD Potada vakum altında gaz giderme prosesi	7
Şekil 2.2	LF Pota fırını Prosesi	8
Şekil 2.3	VAD Vakum ark gaz giderme prosesi	9
Şekil 2.4	VOD/VODC Potada ve konvertörde vakum altında oksijenle dekarbürizasyon prosesi	9
Şekil 2.5	DH Vakum sirkülasyon prosesi	10
Şekil 2.6	RH Vakum resirkülasyon prosesi.....	12
Şekil 2.7	RD-KTB Prosesinin sistematik görünümü	13
Şekil 3.1	Ti/C Atomik ağırlık oranının r değeri üzerine etkisi.....	18
Şekil 3.2	Çok düşük karbonlu sacın r değerine Ti/C oranının etkisi.....	19
Şekil 3.3	20 – 30 ppm C ve 26 – 35 ppm N içeren Nb, Nb-Ti ve Ti IF çeliklerinde alaşım elementlerinin mekanik özelliklere etkisi	20
Şekil 3.4	C ve Nb içeriğinin 720 ° C derecede sarılmış Nb-Ti IF çeliklerinde r değeri, uzama ve yeniden kristalleşme sıcaklığına etkisi.....	21
Şekil 3.5	Laboratuvarda haddelenmiş Nb’lu çeliklerde C ve Nb içeriğinin r değeri ve uzamaya etkisi.....	21
Şekil 3.6	Nb/C Atomik oranının, 40 ppm C içeren ve 830 °C derecede tavllanmış Nb çeliğinin mekanik özelliklerine etkisi	23
Şekil 3.7	Kaynar bir çeliğin r değerine karbon içeriğinin etkisi	25
Şekil 3.8	C içeriğinin mekanik özelliklerine etkisi	26
Şekil 3.9	%0,05 – 0,06 C İçeren çelikte Mn’ ın r değerine etkisi	26
Şekil 3.10	Mn içeriğinin mekanik özelliklere etkisi.....	27
Şekil 3.11	% 0,036 C, % 0,26 Mn, % 0,008 P, % 0,013 S % 0,0023 N içeren, sürekli tavlama hattında 850 ° C’ de tavllanmış Al ile durgunlaştırılmış çeliğin mekanik özelliklerine Al içeriğinin etkisi.....	28
Şekil 3.12	Al ile durgunlaştırılmış çelik için N’ un mekanik özelliklere etkisi	29
Şekil 4.1	Karbon miktarının dekarbürizasyon sonrası değişimi.....	35
Şekil 4.2	Karbon miktarının çelik mekanik özelliklerine etkisi	45
Şekil 4.3	Azot miktarının çelik mekanik özelliklerine etkisi	46
Şekil 4.4	Ti alaşım miktarının çelik mekanik özelliklerine etkisi	46

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1	Çelik üretim rafinasyon fırınları için tipik karbon miktarları	4
Çizelge 2.2	KTB Prosesiyle değişen özellikler	14
Çizelge 2.3	RD-KTB Prosesiyle üretilen çelik tipleri	15
Çizelge 3.1	Sürekli tavllanmış bazı örnek Nb'lu çeliklerin özellikleri	22
Çizelge 3.2	Bazı ticari Nb-IF çeliklerinin özelliklerine örnekler	24
Çizelge 4.1	RD-KTB Prosesi ile üretilen çeliklerde istenilen kimyasal kompozisyonlar	37
Çizelge 4.2	Karıştırma işlemi sırasında kullanılan gazların karıştırma süresi ve miktarı	38
Çizelge 4.3	KTB Lansı ile üflenen oksijen miktarları ve süreleri	39
Çizelge 4.4	KTB Alüminyumla ısıtma işleminde kullanılan Al ve O ₂ miktarı ve süresi	40
Çizelge 4.5	İşlem sırasında çeliklere ilave edilen alaşım malzemeleri ve miktarları	40
Çizelge 4.6	Çeliklerin vakum işlem süreleri ve minimum vakum basınçları	41
Çizelge 4.7	Ticari kalite çeliklerin geçirdiği işlemler sonrası analiz değişimleri	42
Çizelge 4.8	Çekme kalite çeliklerin geçirdiği işlemler sonrası analiz değişimleri	42
Çizelge 4.9	Derin çekme kalite çeliklerin geçirdiği işlemler sonrası analiz değişimleri	43
Çizelge 4.10	Ekstra derin çekme kalite çeliklerin geçirdiği işlemler sonrası analiz değişimleri	43

ÖNSÖZ

Bu çalışma, otomotiv sanayii ve beyaz eşya sektöründe yaygın olarak kullanılan, yüksek şekillendirilebilirlik ve yaşlanmaya karşı direnç gösteren mekanik özelliklere sahip, son yıllarda da özellikle iyi şekillenebilir olmasından dolayı çelik üreticileri tarafından tercih edilen çeliklerin vakum metalurjisi prosesleriyle üretimlerinin nasıl gerçekleştirildiğini, bu çeliklerin üretilmesinde vakum metalurjisinin rolünü ve üretilen çeliklerin kimyasal bileşiminin çelik mekanik özellikleri ile şekillendirilebilirlik üzerindeki etkisini incelemek amacı ile hazırlanmıştır.

Bu çalışmada, ayrıca vakum metalurji prosesleri, vakum metalurjisi yöntemi ile üretilen IF çelikleri ve IF çelik tipleri, RD-KTB tipi vakum metalurji prosesine sahip entegre bir demir çelik fabrikasında üretilen çeliklere ait uygulamalar ve yine aynı prosesle üretilmiş titanyum alaşımlı çok düşük karbon ve azotlu IF çelikleri üzerinde özellikle çeliğin karbon, azot ve titanyum miktarlarının çelik mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir.

Bu çalışmayı hazırlarken her zaman yanımda olan ve bana her konuda destek veren aileme, danışmanım Sayın Doç. Dr. Ahmet EKERİM' e ve işyerindeki çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Son yıllarda, yüksek şekillenebilir özelliklerine sahip çeliklerin otomotiv sanayi ve beyaz eşya sektöründe kullanımının artması ve çelik üreticilerin daha iyi şekillenebilirliğe sahip bu çelikleri tercih etmesi çok düşük karbon ve azot içeren çeliklere olan ihtiyaçları arttırmıştır. IF çeliği olarak adlandırılan bu tip çeliklerin ancak ekonomik olarak vakum metalurjisi yöntemiyle üretilmesi ile endüstride kullanımlarını mümkün kılmıştır.

Bu çalışmada, vakum metalurjisi prosesleri incelenerek, özellikle entegre bir demir çelik fabrikasında RD-KTB vakum prosesi ve uygulamaları ele alınmıştır. Ayrıca bu prosesle üretilmiş titanyum alaşımlı ekstra derin çekme kalite IF çeliklerinde karbon ve azot miktarlarının çelik mekanik özelliklerine etkileri incelenmiştir. Sonuçta, karbon ve azot miktarının azalması ve de titanyum alaşımının çeliğe ilave edilmesiyle mekanik özelliklerde iyileşme ile birlikte yüksek şekillenebilirlik elde edilen çelikler üretilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Vakum metalurjisi, RD-KTB vakum prosesi, IF çeliği, yüksek şekillenebilirlik.

ABSTRACT

In recent years, the increase in the use of automotive industry and house hold appliances which need better formability sheet steel that are preferred by the steel producers is required contain ultra-low carbon steels. These type of steels called as IF (Interstitial Free Steel) steels can be used in the industry by processing of vacuum system economically.

In this study, vacuum process are summerized and especially RD-KTB process and its applications at an entegrated iron and steel facility have been considered. In addition, the effect of carbon and nitrogen content on the mechanical properties of Ti added extra deep drawing quality steels that are prodeded by this proses are examined. Consequently, the decrease of carbon and nitrogen combined with Ti addition results an improvement on the mechanical properties. This improvement has also developed formability of sheet steels.

Keywords: Vacuum metallurgy, RD-KTB vacuum process, IF steel, High formability.

1. GİRİŞ

1950'li yıllardan itibaren çelik özelliklerindeki gelişmeler yeni çelik sınıflarının doğması özellikle C, N, O, H gerektiğinde S ve P gibi elementler ile oksit miktarlarının çok düşük olduğu ultra temizlenmiş çeliklere doğru eğilim göstermektedir. Bu tür kaliteli çeliklerin üretimi ikincil metalurjiyi gerektirmektedir. İkincil metalurjinin günümüzde ulaşılan en son aşaması ve en önemli özelliklerinden biriside vakum metalurjisidir. Vakum proseslerinin çelik üretim prosesleriyle kombinasyon halinde olmasıyla bugün kaliteli çeliklerin üretimi mümkün olmaktadır. Vakum metalurjisi yöntemiyle ultra düşük karbonlu ve azotlu IF çelikleri (Asfahant ve Tither, 1990; Yano vd., 1994; Barradel vd., 1995), çok düşük karbonlu Ti ilaveli, Ti+Nb ilaveli ve Nb ilaveli çelikler, dar analiz toleranslarının ve inklüzyon miktarlarının minimize edilmesinin istendiği çelikler, yüksek derecede şekillendirilebilirliğin istendiği derin çekme, extra derin çekme özellikli çeliklerin bugün üretimi yapılabilmektedir. Bu tür çeliklere olan ilginin artması sürekli tavlama hatlarının kullanımının artması, sürekli tavlama hatlarının ve galvanizleme hatlarının düşük karbon ve azot içeren çeliklerde ekonomik ve çok önemli fonksiyonları olması bu tür çeliklerin üretiminde bir gelişmenin olmasına ve dolayısıyla vakum proseslerinin teknolojik olarak gelişme kaydetmesine ve geniş uygulama alanı bulmasına neden olmuştur.

Teknolojik anlamda gelişmeler, VD (Vacuum Degassing) prosesiyle çeliğin vakum altında gazının alınması ile başlamıştır. 1950'lerin ortasında DH (Dortmund Hoerde) sirkülasyon tipi gaz giderme prosesi geliştirilmiştir (Stolte ve Teworte, 1994). DH prosesiyle aynı yıllarda RH (Ruhrstahl-Heraeus) Resirkülasyon tipi gaz giderme prosesi geliştirilmiştir (Freuhan, 1998). Daha sonra vakum altında ark yoluyla gaz giderme VAD (Vacuum Arc Degassing) prosesi geliştirilmiş ve 1960-1965 yıllarında paslanmaz çeliklerin üretimine imkan veren VOD-VODC (Vacuum Oxygen Decarburization in Laddle or Convertor) prosesleri geliştirilmiştir (Stolte ve Teworte, 1994). RD (Recirculation Degassing) prosesinin devreye girmesi (Stolte ve Pulvermacher, 1998) ve KTB (Kawasaki Top Blowing) prosesinin geliştirilmesiyle bugün çok düşük miktarlarda karbon ve nitrojen seviyelerine inmek mümkün olmuştur.

2. İKİNCİL METALURJİ VE VAKUM METALURJİ PROSESLERİ

2.1 Çelik Üretim Prosesi

IF çeliklerinin üretimi, ilk önce yüksek fırınlarda kimyasal kompozisyonu sürekli istikrarlı durumda olan pik demirin elde edilmesiyle başlar. İstenmeyen elementler, yüksek fırına malzemelerin yüklenmesinden sonra başlangıçta düşük seviyelerde tutulmaktadır. Çelik üreticileri, bu çelikleri entegre edilmiş tesislerde üretmektedirler.

Proses, yüksek fırında pik demirin üretiminden sonra ilk olarak desülfürizasyonu devamında konvertör tipi fırınlarda rafinasyonu, pota karıştırmayı, vakum altında gaz gidermeyi ve sonunda sürekli dökümü içerir.

Sıvı metal, torpidolar vasıtasıyla desülfürizasyon tesislerine gelir ve işleme tabi tutulur. Burada sülfür miktarı Co-enjeksiyon yöntemiyle % 0,01' den daha az seviyelere düşürülür (Pradhan, 1990). Yani kısaca burada desülfürizasyon işlemi yapılmaktadır. İşlem sırasında magnezyum ve kalsiyum karbit içeren karışım ilave edilir ve kimyasal kompozisyon homojenleştirilir.

Desülfürizasyon işleminden geçen sıvı metal konvertör fırınlarında 25-35 dak. süre içerisinde rafine edilir.

Üstten üflemlili BOF'larda oksijen, su soğutmalı bir lans içerisinden fırın içerisine üstten üflenir. Alttan üflemlili Q-BOP fırınlarında oksijen, bir çok tüylerden geçerek fırının altından üflenir. Bu iki prosesin arasında bir ara proses vardır. Bu ara prosesteki fark, alttan üflemlili tiplerde gaz ve gaz akış oranıdır (Pradhan, 1990). Bununla beraber proseste kullanılan oksijen üflendiğinde banyoda bir hareketlilik göstermektedir. Fırın konfigürasyonunda bu farklılıkların olmasına rağmen bu tip fırınların hepsi aynı amaca hizmet etmektedir.

2.1.1 Karbon Uzaklaştırma

Karbon giderme, çelik üretim fırınlarında, oksijenin sıvı ile tepkime göstermesi ile meydana gelir. Oksijen banyo içerisine üflenir. Sıvı çelik içinde karbon erir ve CO +CO₂ gazları oluşur. Reaksiyonlar aşağıdaki gibidir;



Dekarbürizasyon oranı, lans içinden üflenen mevcut oksijenin oranı ile belirlenir. Dekarbürizasyon oranı, reaksiyon ara yüzeyinde, sıvıdan karbonun kütle transferinin kontrol altına alınıp % 0,3 karbona kadar üfleme zamanıyla, lineer olarak azalmaktadır (Pradhan, 1990).

Dekarbürizasyon oranını Fruehan (Pradhan, 1990), kütle transferine bağlı olarak aşağıdaki şekilde belirtmiştir:

$$\text{Log } (\%C)_t / (\%C)_o = -k \cdot (t - t_o) \quad (2.3)$$

k = Kütle transferi katsayısı ve operasyonlarla özel olarak verilir.

$\%C_t$ = t zaman sonra karbon miktarı

$\%C_o$ = İlk karbon miktarı

Karbon giderimine ek olarak, üfleme sırasında proseslerin hepsinde önemli veya daha az derecede demir oksitler oluşur. Üfleme sonrası karbonun ara yüzeyde geçiş oranı sınırlayıcı bir orana ulaşır. Bu durumların altında, aşağıdaki reaksiyon meydana gelir ve FeO' in önemli miktarı curuf içinde şekillenir.



Genel olarak proseslerde reaksiyon ara yüzeyinde karbon geçiş oranı hareketlenme ile artmaktadır. FeO oluşumu için oksijen miktarının azaltılması suretiyle, daha az demir oksit üretimi yönünde üretime yönelmektedir.

Güçlü üflemeyle karıştırılan konvertörlerde, curufta düşük seviyelerde FeO ve çelikte düşük karbon miktarları elde edilir. Refrakter aşınmasını arttıran proses akışını yavaşlatan FeO oluşumu istenmez.

Konvertör fırınlarının, üfleme sonunda karbon uzaklaştırma kabiliyeti, alttan karıştırma gücüne bağlıdır. BOF, alttan karıştırmaya sahip değilse, % 0,030 miktarına yakın karbon miktarı elde edilebilir. Üfleme süresinin sonunda demirin önemli bir kısmı yanar ve nispeten yüksek oranda demir oksit curufu oluşur. Q-BOP güçlü bir alttan karıştırmaya sahiptir. % 0,010 karbon miktarları elde edilebilir. Üfleme işleminin sonunda nispeten curufta düşük FeO miktarları oluşur. Bazı tipik rafinasyon prosesleri için ortak karbon miktarları Çizelge 2.1' de gösterilmiştir (Pradhan, 1990).

Çizelge 2.1. Çelik üretim rafinasyon fırınları için tipik karbon miktarları (Pradhan, 1990)

Proses	Tanımlama	Karbon (%)
BOF	Üstten Üfleme	0,040
BOF-Karışık Üfleme	İnert Gaz Karıştırma	0,030
K-BOP	Altan ve Üstten Üfleme	0,020
Q-BOF	Altan Üfleme	0,010

Çelik üretiminde, hedeflenen karbon miktarına ulaşmak önemlidir. Amaçlanan karbon miktarını elde etmek, gaz giderme zamanını direkt kontrol etmekle mümkündür.

2.1.2 Azot Kontrolü

BOF fırınlarında, azot seviyesi CO gazının gelişimi vasıtasıyla kontrol edilir. Oksijen üflemenin çok fazla olduğu durumlarda birincil karbon giderme ürünüdür. Güçlü karıştırma sonucu CO oluşumuyla, yüksek fırından gelen sıcak metal içinde azotun fazlasının dışarı atılmasına yardımcı olur. Üfleme sonuna doğru, dekarbürizasyon reaksiyonları sonlarına doğru gelir. Hava, fırın içerisine girebilir ve tekrar azot kapması meydana gelebilir.

Nippon Steels' in yaptığı çalışmalarda (Pradhan, 1990), bu hava geçişinin ve bundan dolayı azotun içeri girmesinin, üfleme sonunda bir yüksek köpük curuf pratiklerinin kullanımıyla kontrol edilebileceğini önermişlerdir. Bu köpük, fırın içinde hava geçişine bir fiziksel bariyer olarak hizmet eder. Curuf köpüğünün yüksekliği sese duyarlı bir metre ile denetlenir. Altan karıştırma sistemi ile donatılmış fırınlarda testler, dökümün azot miktarında artma olmaksızın, üfleme sırasında karıştırma gazı olarak kullanılabildiğini ve dekarbürizasyon reaksiyonlarının sona ermeden önce argon gazı ile azotun değiştirilebileceğini göstermiştir.

Nippon Steels'de yapılan testler, altan karıştırma gazı olarak argon gibi CO₂'in kullanılmasının fırınlarda azot uzaklaştırılmasını hızlandırdığını göstermiştir. CO₂ ile karıştırma nedeniyle 4 ppm. civarında azot miktarında bir azalma belirtilmiştir. Bu azalma aşağıdaki reaksiyondan dolayıdır :



Böylece, CO₂ akış hızı argon gibi kullanılırsa, etkili karıştırma gaz miktarının iki katı

olabilecek ve böylece karıştırma hızı verimi artacaktır.

Tipik döküm azot miktarları BOF için 20-25 ppm. arasında ve karıştırmalı, alttan üflemlerli prosesler için, Q-BOP gibi, 15-20 ppm civarındadır. Döküm azot miktarı eğer ısı verilebilirse, oldukça yükseltilebilir. BOF tipi fırınlarda 5-10 ppm arasındadır (Pradhan, 1990).

Azotun içeriye nüfuz etmesinin diğer bir kaynağı, döküm nedeniyledir. Eğer oksijen ve sülfür seviyeleri çelik içinde çok düşükse azot nüfuziyet oranı çelik içinde çok artmaktadır. Oksijen ve sülfür yüzey aktif elementleridir ve sıvı demiri yüzeyden ayırmaktadır. Bunları yüzeyde hazır bulunması azot nüfuziyet oranını azaltıcı etkide bulunur. Böylelikle oksijen ve sülfür reaksiyon yerlerinde mevkilenirler. Gerçekleşmesi gereken reaksiyonlarda bir azalma olur. Böylece, karbon seviyesinde düşme görülmektedir (Pradhan, 1990).

Çelik oksijen miktarları yüksektir ve azot toparlanması, döküm sırasında asgari seviyededir. Bununla birlikte, döküm sırasında çelik de oksitlenmiş ise, çelik içinde oksijen seviyesi çok düşük olur ve yüzeyde segregasyon minimize edilir.

2.1.3 Oksijen Kontrolü

Konvertör fırınlarında çeliğin ana kompozisyonu üretimi sonrası, çelik gaz gidericiye transferi için potaya dökülür. Temiz çelik üretim pratiği için, pota içinde taşınabilecek fırın curufunun miktarının minimum miktarda olması için gerekli önlem alınması gerekir. Başka proseslere taşınan fırın curufu, ikincil çelik yapım operasyonlarında meydana gelebilir. Curuf içerisinde azaltılabilir olan başlıca bu oksitler, FeO ve MnO oksitleridir.

Fırın curufunun dışarıya taşınmasını kısıtlamak için elde edilebilir teknikler, sıcağa dayanıklı, refrakter esaslı, küresel şekilde veya değişik şekillerde, potanın içine curuf geçmeye başladığı zaman, döküm deliğini tıkayacak şekilde dizayn edilmiştir. Ayrıca, pota içerisine ayrıdan ilave edilen, kalsiyum karbonat ve alüminyumdan oluşan katkı maddesi, pota curufunda FeO +MnO oksitlerinin uzaklaştırılmasına yardımcı olur.

Erimiş oksijenin kontrolünde, pota içerisinde kullanılan curufun miktarca ilerlemesini önlemek önemlidir ve bu curufun pota içerisinde miktarca ilerlemesi, sonraki proseslerde uzaklaştırılması zor olacağından çelik içinde oksijenli inklüzyonların miktarı önemli görülebilir miktarda sayılmaktadır.

Gerekli adım, curufun miktarca artmış inklüzyonların oluşumunu engellemek, yukarıda anlatıldığı gibi curufsuz döküm alma yöntemleriyle olabilir.

2.2 Vakum Metalurji Prosesleri

Vakum işlemi bir kaç amaç için kullanılır. Çok düşük mertebelere azot, hidrojen ve oksijen gibi gazları gidermek, oksijenin uzaklaştırılması ve metal olmayan inklüzyonların uzaklaştırılmasıyla çelik temizliğini sağlamak, çok düşük karbonlu çelik üretmek ($<0,01\%$), kimyasal ısıtma dar kimyasal kompozisyon aralığında çelik üretmektir. Çeliğin vakum gaz giderme işlemi üç sınıf içinde sınıflandırılabilir (Orehoski ve Gray, 1986):

- Çeliğin akışı sırasında gaz giderme işlemi
- Çeliğin bir pota içerisinde gaz giderme işlemi
- Çeliğin sirkülasyon ve resirkülasyon tipi fırınlarda gaz giderme işlemi

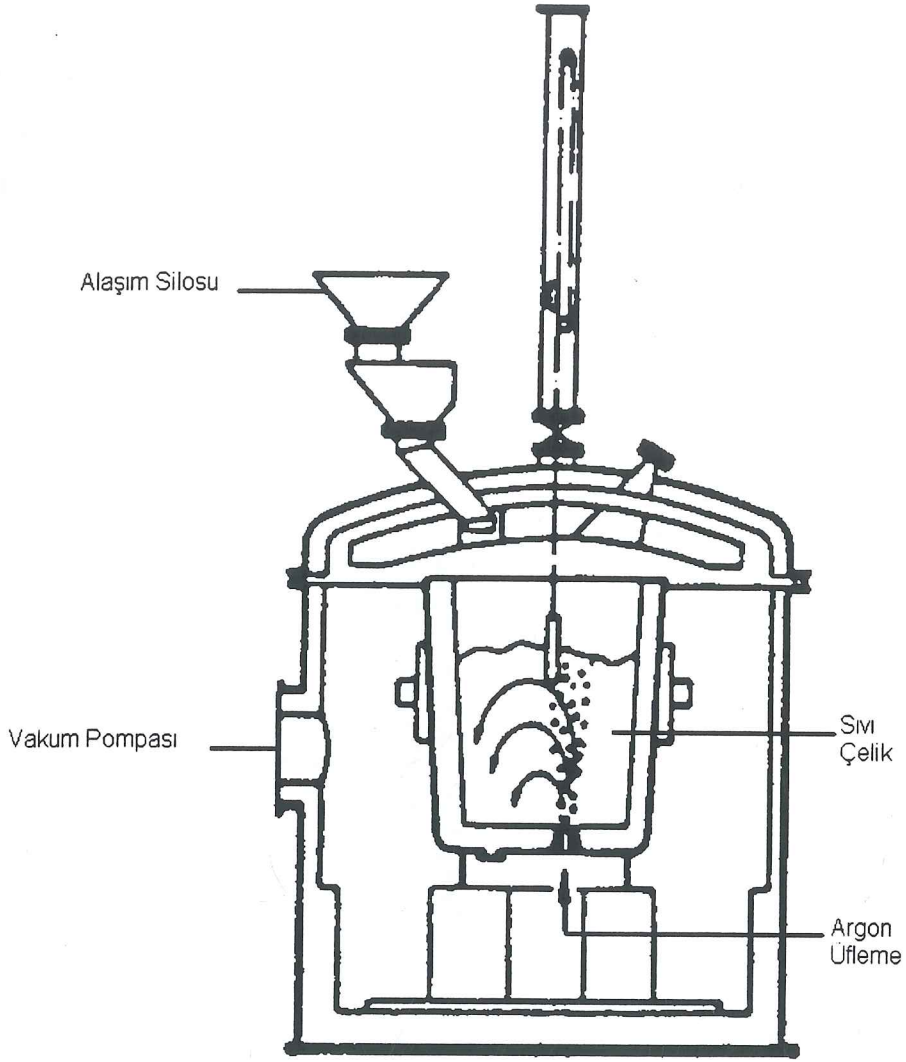
2.2.1 Potada Vakum Altında Gaz Giderme Prosesi (VD)

Potada gaz giderme ikincil çelik üretimi için çeşitli çok yönlü kullanımı olan bir prosestir (Bruckmann vd., 1989). Sistemin görünüşü Şekil.2.1'de verilmiştir. İşlem sırasında vakumlu bir bölüme yerleştirilen potada veya vakum kapağıyla kapatılmış bir potada, alttan karıştırma yardımıyla gaz giderme ve dekarbürizasyon işleminin yapılmasını sağlamaktadır (Çapar, 1998). İnert gaz karıştırma sisteminin yardımıyla çalkalama suretiyle sıcaklıkta ve analizde homojenizasyon yapılmaktadır. Aynı zamanda reaktif yüzey bölgesi arttığından H,O,N miktarlarında azalmakta ve hidrojenin uzaklaştırılması sırasında sentetik curuf ilavesi yapılırsa S miktarında da azalma görülmektedir (Stolte ve Puluermacher, 1998).

Bu prosesle, vakum altında dekarbürizasyon nedeniyle 300 ppm başlangıç karbon değerlerinden çok düşük 20 ppm karbon değerlerine inilmekte, hidrojen miktarı 2-3 ppm' in altına indirilebilmekte, metal olmayan inklüzyonların uzaklaştırılması dışında çelik temizliği mükemmele yakın olmakta, vakum altında alaşımlama nedeniyle yüksek alaşım verimi ve alaşımda tasarruf elde edilmektedir (Bruckmann vd., 1989).

2.2.2 Pota Fırını (LF) / Vakum Altında Ark Yoluyla Gaz Giderme (VAD) Prosesleri

Bu tip proseslerin amacı, sıcaklık ve analiz kontrolüne yardımcı olmaktır. Ark Isıtma / Pota Fırınlarda, ısıtma ve vakum aynı kapak altında olup, ısıtma işlemi üç adet elektrotun curuf metal ara yüzeyinde oluşturduğu ark ile gerçekleştirilir. Dipten inert gazla karıştırma yapılarak tüm potanın homojen hale getirilip ısıtılması sağlanır (Orehoski ve Gray, 1986). Prosesin ilerleyen aşamalarında alaşımlama yapılır. İşlem süresi 30-45 dak. arasında değişir (McManus, 1991).



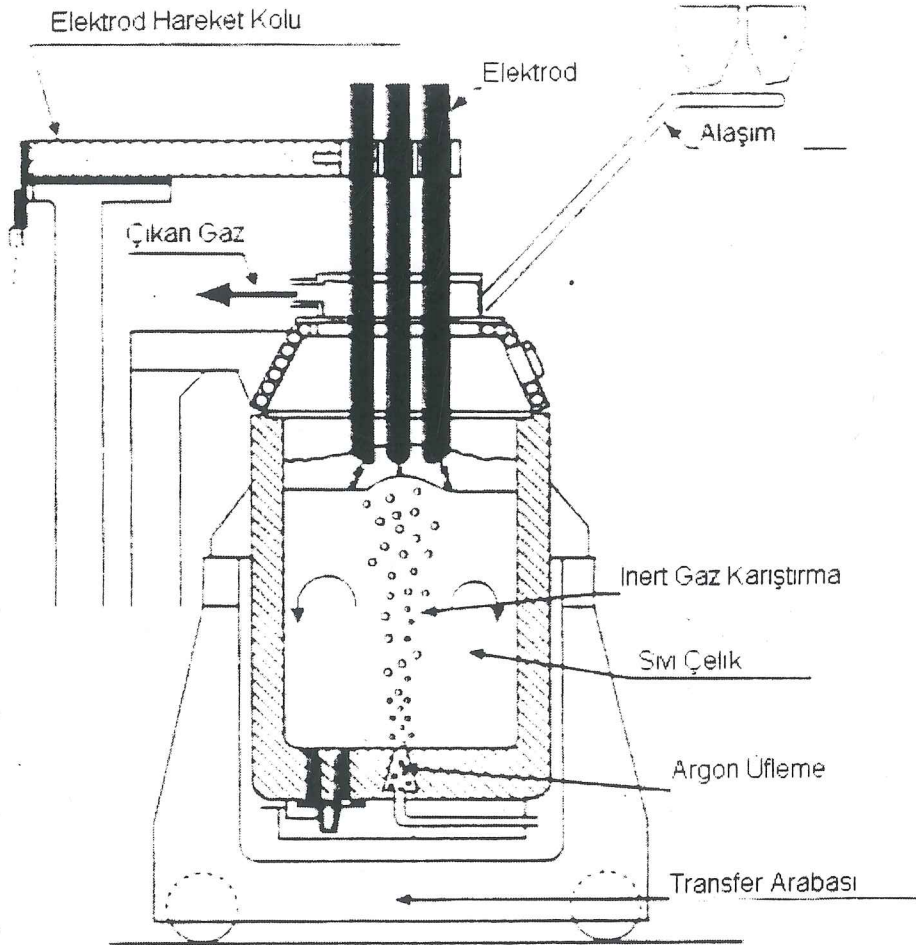
Şekil 2.1 VD-Potada vakum altında gaz giderme prosesi (Stolte ve Teworte, 1990)

LF ve VAD prosesleriyle, oksijen giderme, sentetik curuf ilavesiyle kükürt giderme, inklüzyonların giderilmesiyle çelik temizliğinde artış sağlanmaktadır. VAD ünitesinin devreye girmesiyle, bunlara ek olarak düşük hidrojen ve nitrojen seviyelerine ulaşma, çok düşük karbon seviyeleri elde edilebilmektedir (Bruckmann vd., 1989). Sıcaklık ve analizde dar limitler içerisinde çalışma, ark dolayısıyla yüksek ısıtma oranı, alaşım kullanılmasında tasarruf sağlanabilmektedir.

2.2.3 Potada (VOD) / Konvertörde (VODC) Vakum Altında Oksijenle Dekarbürizasyon Prosesleri

VOD potada gaz giderme, VODC bir konvertörde gaz giderme proseslerinden birisidir. Vakum altında oksijen üfleme ile konvensiyonel metodlarla üretimi zor veya olanaksız olan korozyona dayanıklı paslanmaz çeliklerin üretiminde kullanılan (Stolte ve Teworte, 1990;

Ding vd., 2000) başarılı bir prosestir. Amacı düşük karbon miktarı, deoksidasyonla sülfür giderme, işlem sıcaklığı düşük olduğundan düşük krom oksidasyonudur (Stolte ve Teworte, 1994). İşlem sırasında dekarbürizasyon ve kimyasal ısıtma amacıyla sıvı çeliğin üzerine vakum kapağının içinden bir lans indirilip, vakum altında çelik inert gaz ve indüksiyonla karıştırılırken istenilen karbon değeri sağlanana kadar oksijen üfleme suretiyle karbon miktarı % 0,01 seviyelerine indirilebilir. Kimyasal ısıtma amaçlı alüminyum ilavesi kullanılır (Orehoski ve Gray, 1986). Al ilavesiyle ekzotermik reaksiyon sonucu ısı açığa çıkar ve çelik sıcaklığı artar.

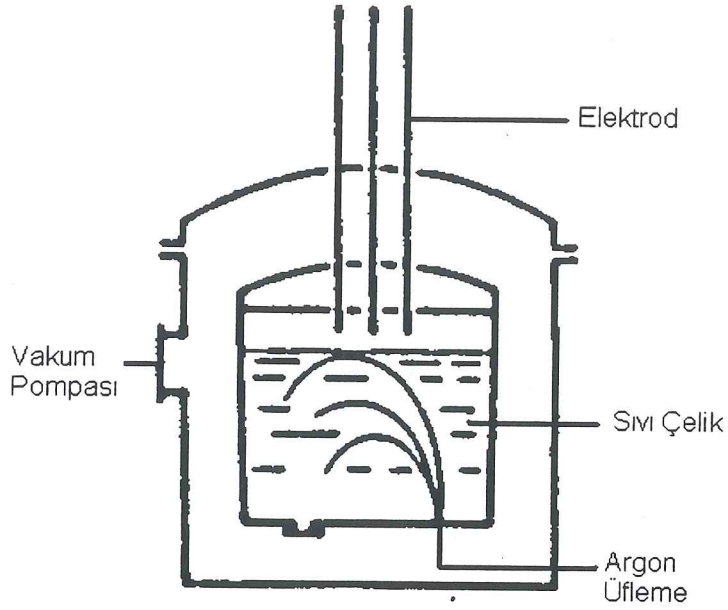


Şekil 2.2 LF-Pota fırını prosesi (Orehoski ve Gray, 1986)

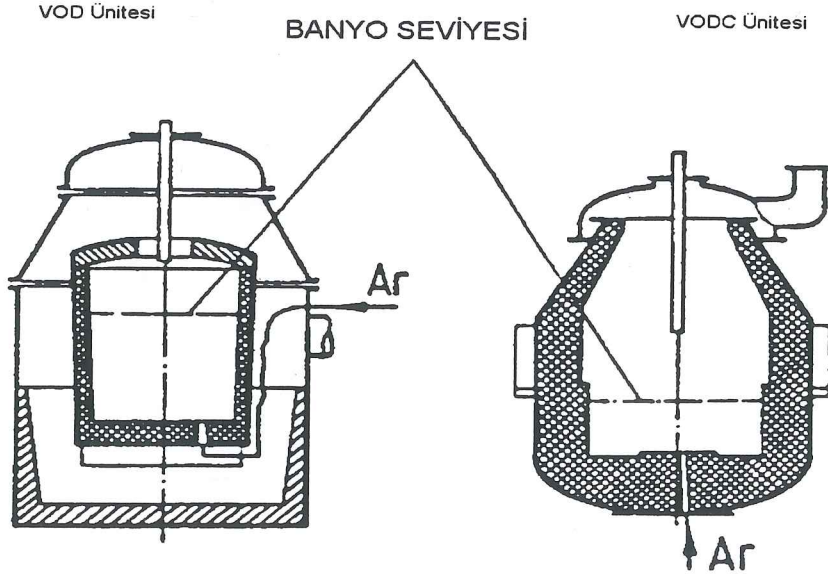
VODC prosesi, özellik bakımından VOD prosesine benzerdir. Farkı, bir konvertör içerisinde işlemlerin yapılmasıdır. Konvertör sızdırmaz bir kapakla kapatılarak işlemler vakum altında gerçekleştirilir. VODC ünitesinde çelik içerisine oksijen üflemeyle şiddetli ve büyük reaksiyonlar sonucunda çelik temizliği sağlanır (Stolte ve Puluermacher, 1988).

Bu tip proseslerde, düşük karbon seviyelerine vakum dekarbürizasyon, N ve H miktarlarının düşük olması, çelik temizliğinin sağlanması, krom azalmasının az olması (Stolte ve Teworte,

1994), Al ile ısıtma kullanıldığından düşük alaşım maliyeti, çelik üretim maliyetinin az olması gibi özellikler sağlanabilmektedir (Bruckmann vd., 1989).



Şekil 2.3 VAD-Vakum ark gaz giderme prosesi (Orehoski ve Gray, 1986)

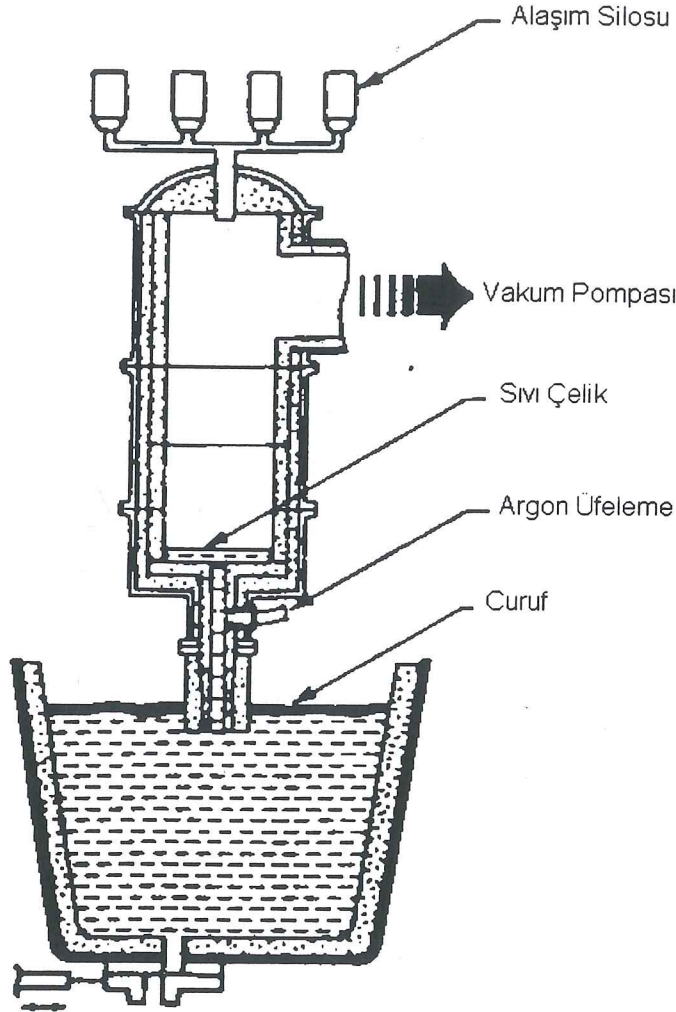


Şekil 2.4. VOD/VODC Potada ve konvertörde vakum altında oksijenle dekarbüritasyon prosesi (Stolte ve Teworte, 1990)

2.2.4 DH Vakum Resirkülasyon Prosesi

DH vakum daz giderme prosesi banyo tipi sirkülasyon proseslerinden ilkidir (Orehoski ve Gray, 1986). Sıvı çelik tek nozuldan vakum fırınına geçmesi suretiyle işleme tabi tutulur. Döküm, işlem fırınına doğru hareket ederek, güçlü reaksiyonların olduğu yerde büyük bir sıvı

elik yüzeyi vakuma maruz kalır. Çeliğin gazı giderilmiş kısmı momentum etkisiyle potaya geri döner. Çeliğin vakum odasından potaya dönmesi, snorkelin yukarı kaldırılması şeklinde olur. şnorkel aşağı yukarı hareket ettirilerek potadaki tüm çeliğin gaz giderme işlemleri bitene kadar hızla 30-60 defa tekrarlanır. İlerleyen aşamalarda alaşımlama ve deoksidasyon yapılır. Vakum odasında karıştırmayı ve gaz gidermeyi hızlandırmak amacıyla inert gaz olarak argon gazı üflenir (Orehoski ve Gray, 1986).

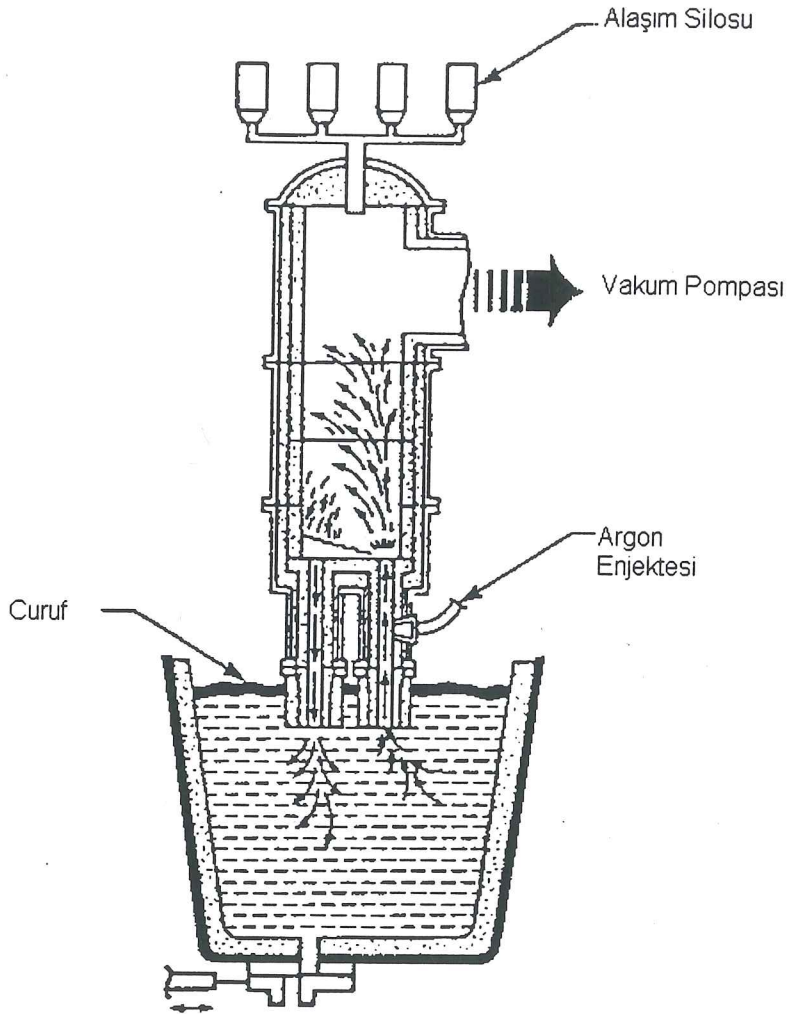


şekil 2.5 DH-Vakum sirkülasyon prosesi (Orehoski ve Gray, 1986)

DH tipi vakum prosesiyle, hidrojen miktarı etkili bir şekilde 2 ppm altına indirilebilmekte, 20 ppm karbon seviyelerine vakum dekarbürizasyon, dar kimyasal analiz sınırlarında çalışabilme, alaşımlama işlemlerinde alaşımlama verimi, metal olmayan inklüzyonların giderilerek yüksek derecede temizliğin sağlanmaktadır (Zahs ve Stolte, 1987).

2.2.5 RH Vakum Resirkülasyon Prosesi

RH tipi vakum prosesi vakum uygulama ve resirkülasyon prosesidir. DH ve RH prosesleri aynı zamanda ortaya çıkmışlardır (Fruehan, 1998). Kullanılmaya başlanmasıyla düşük karbonlu, çok düşük karbonlu çeliklerin üretimine olanak sağlamış (Jhonson vd., 1998) ve dekarbürizasyon, deoksidasyon ve alaşım ilaveleri ile optimum koşullarda çok düşük karbonlu IF çelik sınıflarının üretilmesi RH proseslerinde bugünlerde modern çelik üreticileri için standart hale gelmiştir (Preblinger vd., 1992).



Şekil 2.6 RH-Vakum sirkülasyon prosesi (Orehoski ve Gray, 1986)

Proseste sıvı çelik, bir şnorkelden vakum odasına geçer ve vakum odasında vakum altında işleme tabi tutulduktan sonra diğer şnorkelden potaya geri döner. İşlem sırasında karıştırmayı sağlamak amacıyla argon gazı enjekte edilir ve sirkülasyon sağlanır. Isıtma ve dekarbürizasyon amacıyla lans veya tüyerlerden oksijen üflenebilir. Prosesin işlem süresi potadaki çeliğin miktarına bağlı olarak 20-30 dk. arasında değişir (McManus, 1991). Vakum ve çelik sirkülasyonu nedeniyle sıcaklıkta 30-40 °C düşme olabilir. Bunu önlemek için

önceden vakum odası ısıtılmak suretiyle sıcaklık düşüşünde azalmalar önlenabilir. Al ile deoksidasyon sonrası ekzotermik reaksiyonlar nedeniyle çelik sıcaklığı artar. Oksijen üfleme ve karıştırmayla çelik içerisindeki inklüzyonların uzaklaştırılmasında önemli rol oynamaktadır (Mike vd., 1997). Proses S giderme için iyi değildir ancak oksijen üfleme ile (RH-OB) veya güçlü üflemeyle (RH-PB) ekipmanlandırılırsa RH işlemi sırasında desülfürizasyon ve defosforizasyon mümkün olmaktadır (Fruehan, 1998). Ayrıca RH-OB ile hızlı karbon uzaklaştırma sağlanmaktadır (McManus, 1991).

RH vakum resirkülasyon prosesiyle, oksijen üfleme ve karıştırmayla çelikteki inklüzyonlar uzaklaştırılmakta, 6 ppm hidrojen seviyelerinden 2 ppm altına inilebilmekte, vakum altında alaşımlama ile yüksek alaşım verimi elde edilmekte (Çapar, 1998), düşük sıcaklık kayıpları, vakum karbon deoksidasyonu ile hızlı oksijen giderme, kısa işlem süreleri, dar kimyasal ve sıcaklık aralığında çalışabilme (Fruehan, 1990), çok düşük karbon seviyelerine (<25 ppm) vakum dekarbürizasyon (Asfahant ve Tither, 1990; Çapar, 1998; Jhonson vd., 1998) ve düşük seviyelerde azot miktarı elde edilebilmektedir (McManus, 1991; Preblinger vd., 1992).

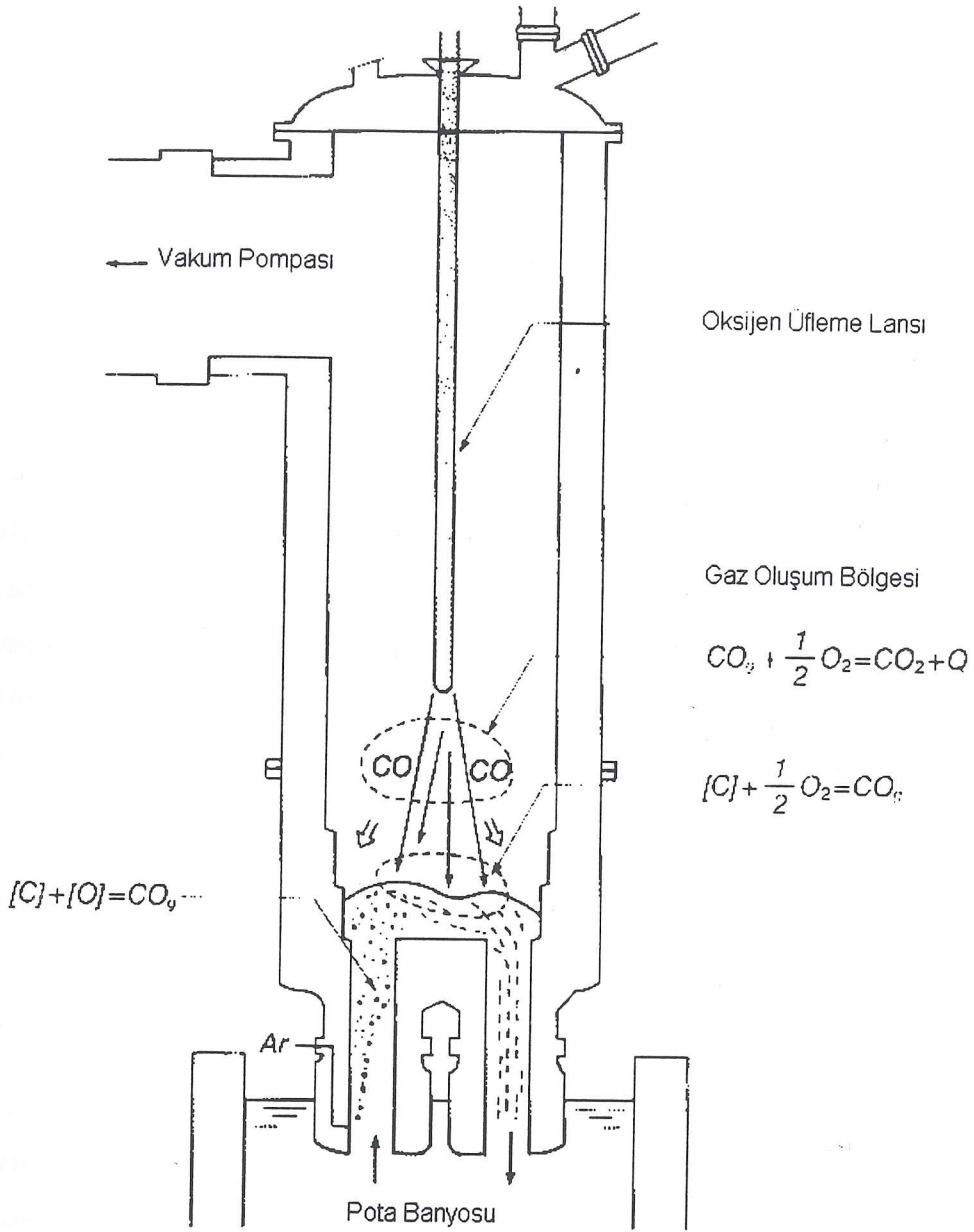
2.2.6 RD-KTB Vakum Resirkülasyon Prosesi

RD prosesi, vakum altında işlem yapılan ikincil metalurji resirkülasyon proseslerinden birisidir. Bu proste, vakum fırını altında 2 adet şnorkel vardır. Sıvı çelik, potadan şnorkeller vasıtasıyla vakum işlemini başlayınca vakum odasına geçer ve sirkülasyon yaparak diğer şnorkelden potaya geri döner. İşlem sırasında argon gazı enjekte edilerek karıştırma sağlanır (Göl vd., 1999). Vakum odası işleme başlamadan önce 1400 °C sıcaklığa ısıtılır. Sıvı çelik sıcaklığındaki azalmalar RD prosesinde azdır. Kendine has dekarbürizasyon özelliği ile çok düşük karbon seviyelerine iner. KTB lansı kullanıldığında başlangıç karbon miktarı yüksek tutulabilmektedir (Stolte ve Teworte, 1994).

KTB prosesi, yüksek oksijen üfleme ile gaz giderme metodu, ikincil temizleme, tasfiye teknolojileri içerisinde en ileri düzeyde olan, gaz giderme operasyonlarına yeni esneklikler getiren düşük karbonlu çelik üreticileri için esaslı bir prosestir. Bu yöntemde bir yüksek oksijen üfleme lansı kullanılır ve gaz giderme hücresi içerisinde CO gazı direkt olarak yanar. KTB prosesi, alüminyum ilavesi olmaksızın yüksek çelik sıcaklıkları verir ve aynı zamanda hızlı dekarbürizasyon sağlar (Kawasaki, 1990).

KTB prosesinde iki ana adım vardır. Birincisi, oksijen çelik içerisine oksijen toparlanmasına meydan vermeyecek karbon gidermeyi hızlandıracak şekilde üstten üflenir. İkincisi,

dekarbürizasyon vasıtasıyla açığa çıkan CO' in direkt yanması vasıtasıyla oluşan ısı banyo sıcaklığını yükseltmede kullanılır (Kawasaki, 1990).



Şekil 2.7 RD-KTB Prosesinin sistematik görünümü (Kawasaki, 1990)

Bu sistemde, gaz giderme hücresinde CO gazı erimiş çelik için bir ısı kaynağı şeklinde olup, direkt yanma vasıtasıyla yanar. Direkt yanma, dekarbürizasyon sırasında sıcaklık düşüşünü

önler. Böylece ihtiyaç duyulan sıcaklık bu durumda giderilmiş olur. En önemli nokta, KTB prosesinin gerekli olan ısıyı alüminyum ekzotermik reaksiyonuna gerek olmaksızın direkt yanma vasıtasıyla elde etmesidir.

Çizelge 2.2 KTB Prosesiyle değişen özellikler (Göl vd., 1999)

İşlemler	KTB' siz	KTB ile
Numune Alma	Var	Var
Birincil Alaşımlama	Obsiyonel	Obsiyonel
Oksijen Üfleme	Yok	Var
Dekarbürizasyon	Var	Var
Süper Oksidasyon	Yok	Obsiyonel
Deoksidasyon	Var	Var
Kimyasal Isıtma	Yok	Obsiyonel
Alaşımlama	Var	Var

KTB prosesi, aynı zamanda dekarbürizasyon hızını artırır. Ortalama dekarbürizasyon zamanı bu proseslerde 3 dakikaya kadar azaltılabilir. Bununla birlikte düşük sıcaklık ve yüksek karbon miktarlarında dökümlerin kullanılmasına imkan vermiştir. KTB prosesinin avantajları, güvenli operasyon sağlaması, skal oluşumunu minimize etmesi, kapasite artırımında etkili olması, vakum hücre ömrünü kısaltmaması, sıcaklık artırımı için ilave zamana gerek olmaması, operasyon maliyetlerinin düşük olması ve nitrojen yükselmesinin olamamasıdır (Kawasaki, 1990). Çizelge 2.2' de KTB prosesinin olması veya olmaması durumunda değişen özellikler verilmiştir.

Çizelge 2.3 RD-KTB Prosesiyle üretilen çelik tipleri (Kawasaki, 1990)

Çelik Tipi	%C	%M	%Al	%Ti	%N
Ticari Kalite Çelik	0,04	0,20	0,040	-	-
Çekme Kalite Çelikler	0,03	0,15	0,040	-	-
Derin Çekme Kalite Çelikler	0,003	0,15	0,035	0,07	-
Ekstra Derin Çekme Kalite Çelikler	0,002	0,10	0,035	0,07	-

RD-KTB prosesiyle bugün çeşitli çelik türleri üretilebilmektedir. Çizelge 2.3' de RD-KTB prosesiyle üretilebilen çelik türleri verilmiştir. Tabloya göre, ticari çelik kaliteleri, çekme kalite çelik türleri, derin çekme kalite çelik türleri ve ekstra derin çekme kalite çelik türlerinin

önler. Böylece ihtiyaç duyulan sıcaklık bu durumda giderilmiş olur. En önemli nokta, KTB prosesinin gerekli olan ısıyı alüminyum ekzotermik reaksiyonuna gerek olmaksızın direkt yanma vasıtasıyla elde etmesidir.

Çizelge 2.2 KTB Prosesiyle değişen özellikler (Göl vd., 1999)

İşlemler	KTB' siz	KTB ile
Numune Alma	Var	Var
Birincil Alaşımlama	Obsiyonel	Obsiyonel
Oksijen Üfleme	Yok	Var
Dekarbürizasyon	Var	Var
Süper Oksidasyon	Yok	Obsiyonel
Deoksidasyon	Var	Var
Kimyasal Isıtma	Yok	Obsiyonel
Alaşımlama	Var	Var

KTB prosesi, aynı zamanda dekarbürizasyon hızını artırır. Ortalama dekarbürizasyon zamanı bu proseslerde 3 dakikaya kadar azaltılabilir. Bununla birlikte düşük sıcaklık ve yüksek karbon miktarlarında dökümlerin kullanılmasına imkan vermiştir. KTB prosesinin avantajları, güvenli operasyon sağlaması, skal oluşumunu minimize etmesi, kapasite artırımında etkili olması, vakum hücre ömrünü kısaltmaması, sıcaklık artırımı için ilave zamana gerek olmaması, operasyon maliyetlerinin düşük olması ve nitrojen yükselmesinin olamamasıdır (Kawasaki, 1990). Çizelge 2.2' de KTB prosesinin olması veya olmaması durumunda değişen özellikler verilmiştir.

Çizelge 2.3 RD-KTB Prosesiyle üretilen çelik tipleri (Kawasaki, 1990)

Çelik Tipi	%C	%M	%Al	%Ti	%N
Ticari Kalite Çelik	0,04	0,20	0,040	-	-
Çekme Kalite Çelikler	0,03	0,15	0,040	-	-
Derin Çekme Kalite Çelikler	0,003	0,15	0,035	0,07	-
Ekstra Derin Çekme Kalite Çelikler	0,002	0,10	0,035	0,07	-

RD-KTB prosesiyle bugün çeşitli çelik türleri üretilebilmektedir. Çizelge 2.3' de RD-KTB prosesiyle üretilebilen çelik türleri verilmiştir. Tabloya göre, ticari çelik kaliteleri, çekme kalite çelik türleri, derin çekme kalite çelik türleri ve ekstra derin çekme kalite çelik türlerinin

üretildiği gözükmemektedir.

Aynı zamanda sürekli tavlama ve galvanizleme hatlarının düşük karbon içeren çeliklerle çalışabilme özelliğinin olmasının yanında, çelik içerisinde azot miktarının da düşük olması istenmektedir. RD-KTB prosesiyle üretilen çeliklerde başlangıç karbon miktarları ve bitiş karbon miktarları 120-220 ppm karbon seviyelerinden 20 ppm altında karbon değerlerine ulaşılabilmekte ve azot miktarında da aşırı bir değişim olmamaktadır.

3. VAKUM METALURJİSİYLE ÜRETİLEN ÇELİK TİPLERİ VE KİMYASAL KOMPOZİSYONUN ÇELİK MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Çok düşük karbon ve azot içerikli çeliklerin üretimi; şekil verilebilir, soğuk haddelenmiş ve tavllanmış çeliklerin gelişimindeki en son adımı teşkil eder. Düşük karbon içeriği ve arayer elementleriyle birleşen Al, Nb ve Ti ilavelerinin, derin çekme gibi yüksek şekil verme işlemleri için uygun çelik mikro yapılarını oluşturduğu uzun zamandan beri bilinmektedir (Leslie, 1991; Blicwede, 1961). Ancak, 20 ppm seviyesinde N içerikleri üretme kapasitesine sahip olmakla beraber oksijen konvertörlerinde çelik yapımı C'u tipik olarak sadece 100-200 ppm'e indirebilir (Cramb, 1990). C içeriklerinde 30-50 ppm kadar düşük seviyelere inebilmek için vakumda gaz giderme ve döküm sırasında C, N ve O kapmaya karşı sıkı kontrol gerekir. Bu proses adımları şu anda yaygın olarak uygulanmaktadır ve farklı olarak arayer atomları içermeyen, vakum metalurjisi yöntemiyle üretilmiş çok düşük C ve N' lu IF çelikler, çok düşük karbonlu veya ekstra düşük karbonlu çelikler (Pradhan, 1990; Bramfitt ve Mangonon, 1982) olmak üzere yeni bir çelik sınıfının varlığına yol açmıştır.

Vakum metalurjisi yöntemiyle üretilmiş çok düşük C ve N' lu çeliklerin C içerikleri, soğuk haddeleme ve tavlamadan sonra küresel karbür dağılımları gösteren veya sıcak haddelemeden sonra perlit oluşturan çeliklerin C içeriklerinin oldukça altındadır. Çok düşük karbonlu çeliklerin düşük arayer seviyelerine rağmen kalıntı karbon, doku oluşumunu etkileyebilir ve α -demirdeki C'un düşük katı çözünürlüğü, tavllanmış mikro yapılarda deformasyon veya soğutma yaşanmasına yol açabilir. Bu sebeplerden dolayı, kararlı Nb ve Ti bileşikleri oluşturarak C ve N'u arayer katı çözeltisinden tamamen gidermek için IF çeliklerine Nb ve Ti eklenir (Pradhan, 1990).

Nb ve Ti gibi stabilize edici elementlere ilaveten çeşitli termomekanik işlem adımlarındaki mikroyapısal etkileşimlerine bağlı olarak C, Si, Mn, P, Al, N ve S gibi diğer bütün elementler soğuk haddelenmiş ve tavllanmış IF çeliklerinin doku, mikroyapı ve özelliklerinin optimizasyonunu önemli oranda etkileyebilir (Pradhan, 1990). Aşağıdaki kısımlar kimyasal bileşimin ve işlem şartlarının bazı spesifik etkilerini kısaca tanımlamaktadır. Bununla beraber; kimyasal bileşim ve proses şartlarının etkilerinin birbirleriyle büyük oranda karışmakta olduğu ve bir parametrenin diğer elementler veya proses adımlarından genellikle bağımsız olmadığı birbirleriyle bağlantılı oldukları unutulmamalıdır.

3.1 Vakum Metalurjisi İle Üretilmiş Çok Düşük Karbon ve Azotlu Çelik Tipleri

Sürekli tavllanmış ve sıcak daldırma ile galvanizlenmiş çeliklerin ticari üretiminde kullanılmakta olan üç çeşit vakumda gaz giderilmiş ultra düşük karbonlu ve azotlu çelik vardır; Ti içeren, Nb+Ti içeren ve Nb içeren.

Nb-Ti içeren çeliklerde Nb, NbC olarak C ile karışacağından N ile birleşerek TiN oluşturması için yeterince Ti eklenir. Nb içeren çeliklerde C, Nb ile temizlenir; N ise daha çok Al ile birleşir ve AlN oluşturur. Nb içeren çeliklerde S, Mn ile birleşir ve MnS oluşturur (Pradhan, 1990).

Üç tip çelikten kompozisyon ve prosesteki değişimlere en az duyarlı olanlar, Ti içerenler olarak bilinmektedir. Ancak bu çelikler nispeten geniş mekanik özellik aralıkları gösterirler.

IF çelikleriyle, mükemmel şekil verilebilirlik yani yüksek r değeri ve süneklik elde etmek için bileşim kontrolü çok önemlidir. Bir çok çalışmada (Orehoski ve Gray, 1986; Cramb, 1990) vakum metalurjisi ile üretilmiş ultra düşük karbonlu ve azotlu çelikler üzerine bileşimin etkileri incelenmiştir. Nb-Ti içeren ve Nb içeren bu çelikler benzer bileşim etkileri gösterirken, Ti içeren çelikler hem benzerlikler hem de farklılıklar göstermektedir. Bu yüzden aşağıdaki bileşimin etkileri tartışmaları iki bölüme bölünmüştür: Ti içeren ve Nb içeren vakum metalurjisi ile üretilmiş ultra düşük karbonlu ve azotlu çelikler (Pradhan, 1990).

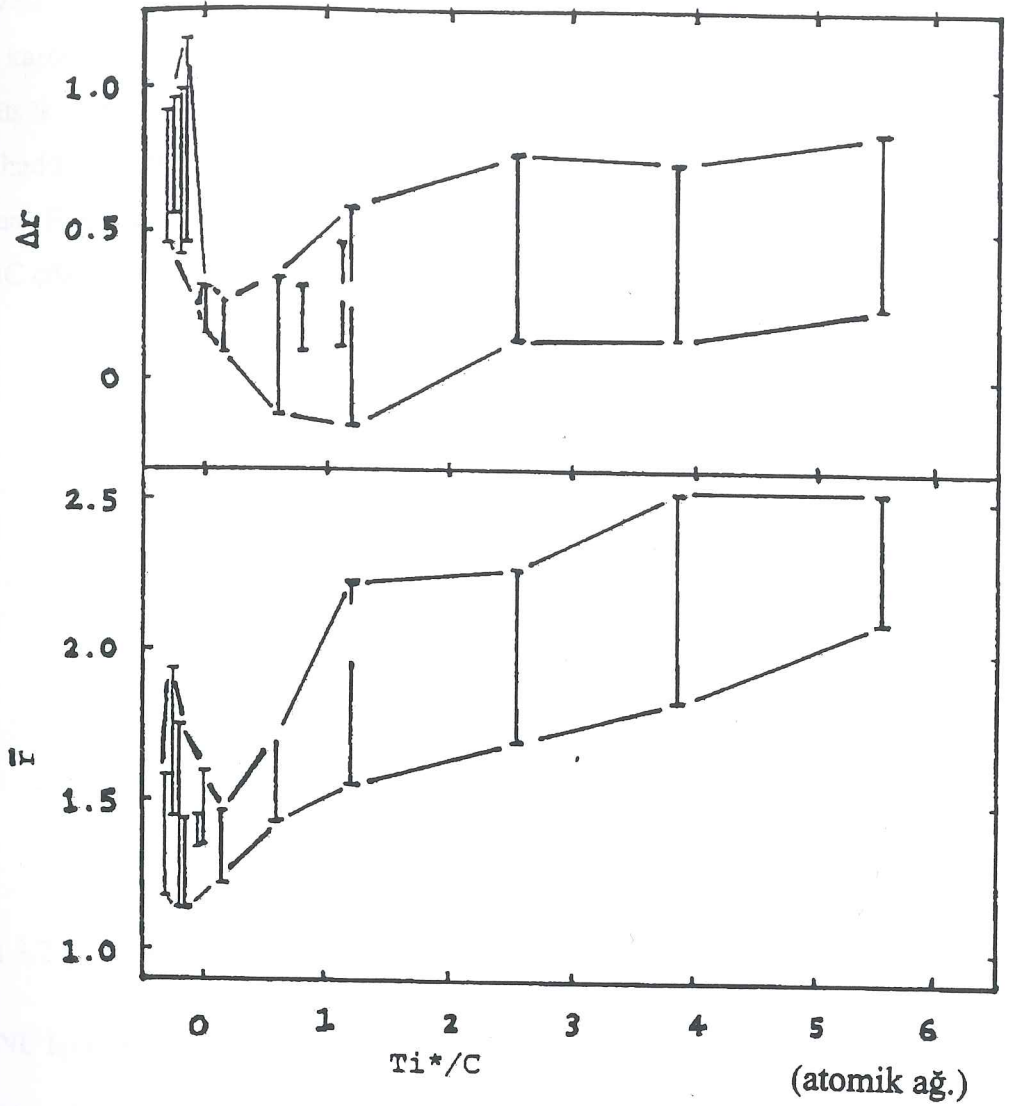
3.1.1 Ti İçeren IF Çelik Tipleri

Toplam Ti, C ile birleşecek mevcut Ti ve aşırı Ti arasındaki farkı ayırt etmek için şu terminoloji kullanılmaktadır (Pradhan, 1990); Ti, çeliğin toplam Ti içeriğine işaret eder. Ti_{eff} ; N ve S ile birleştikten sonra C ile birleşecek mevcut Ti'a işaret eder. Ti^* ise C, N ve S'ü stabilize etmek için gerekli miktarın üzerindeki aşırı Ti'a işaret etmektedir. Ti_{eff} ve Ti^* aşağıdaki ilişkilerle verilmektedir (% ağırlık olarak):

$$Ti_{eff} = \text{Toplam Ti} - 3,42 N - 1,5 S \quad (3.1)$$

$$Ti^* = \text{Toplam Ti} - 4 C - 3,42 N - 1,5 S \quad (3.2)$$

Bazı yazarlar (Satoh, 1985), Ti^* 'ı hesaplamak için S'ü kullanmamışlardır. Nb içeren çeliklerde Nb'un sadece C ile birleştiğine inanıldığı için Nb hem toplam Nb'a hem de C ile birleşecek mevcut efektif Nb miktarına işaret etmektedir. Alüminyuma ilaveten eklenebilecek etkili elementler Cu, Sb, P, Ti, Nb, Zr, W ve Ta' dur (Pradhan, 1990).



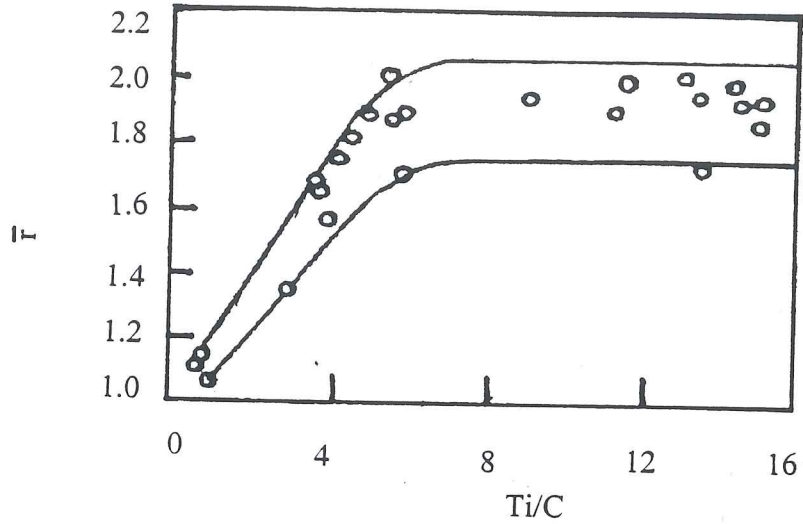
Şekil 3.1 Ti/C Atomik ağırlık oranının r değeri üzerine etkisi (NKK, 1995a)

Titanyum; karbür, nitrür ve sülfür oluşturan bir elementtir. Bu yüzden vakum metalurjisi ile üretilmiş çok düşük karbonlu ve azotlu çeliklerin üretimi durumunda C, N ve S'ün bu bileşiklerinin kimyasal eşdeğerini aşan miktarına Ti ilave edilmelidir. İlave edilmesi gereken miktar aşağıdaki denklemle hesaplanmaktadır (NKK, 1995b).

$$[Ti] > (48/12).[C] + (48/14).[N] + (48/32).[S] \quad (\text{ağ.}\%) \quad (3.3)$$

Eğer Ti miktarı denklemle verilen değerden az ise derin çekilebilirlik azalır. Mesela, % 0,003 C - % 0,010 S - % 0,003 N'luk geleneksel bileşim için gerekli Ti miktarı % 0,037'dir ve kimyasal bileşimdeki C, S ve N dalgalanmalarını da düşünerek % 0,04 veya daha fazla Ti eklenmelidir. Şekil.3.1 % 0,005 – 0,014 C, % 0,075 – 0,18 Ti ve sürekli tavlama hattında 820 °C' de tavllanmış çeliklerde Ti/C atomik ağırlık oranının r değerine etkisini göstermektedir.

Ti ilavesine başka bir örnek de Şekil 3.2'de gösterilmektedir. $Ti/C \geq 4$ olan Ti içeren çok düşük karbonlu çelik sacın ekstra derin çekilebilirliğe sahip olduğu bilinmektedir. Ti içeren çok düşük karbonlu çelik sacda doku oluşumu mekanizmasına göre; bazı araştırmacılar, soğuk haddelemeden önce Ti'un C ve N ile birleşmesinden dolayı yapıda temizlik etkisini öne sürerken (Fukudave Shimizu, 1972), bazıları da tavlamadan önce veya tavlama sırasında çok ince TiC çökeltmesi etkisini öne sürmektedirler (Takahashi vd., 1971).



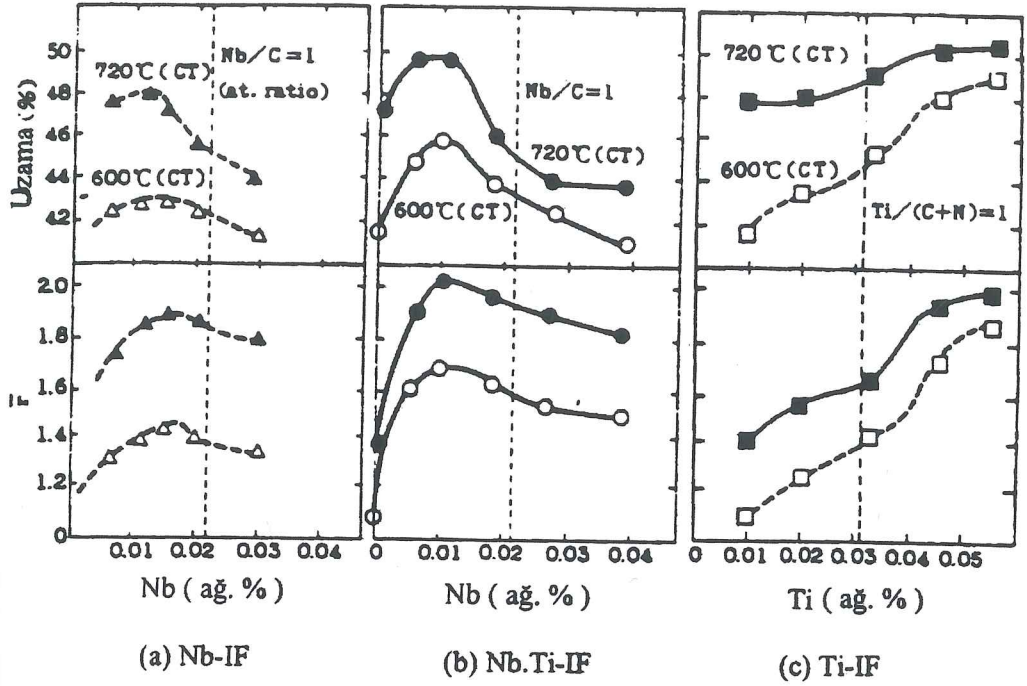
Şekil 3.2 Çok düşük karbonlu çelik sacın r değerine Ti/C oranının etkisi (Takechi, 1971)

3.1.2 Nb İçeren (Nb-Ti ve Nb) IF Çelik Tipleri

Nb içeren çeliklerin özelliklerine bileşimin etkisinin Ti çeliklerine kıyasla daha kompleks olduğu görülmektedir. Ayrıca laboratuarda işlenmiş ve ticari olarak üretilmiş çelikler arasında kayda değer farklar olduğu dikkat çekmektedir.

Şekil 3.3, 3.4 ve 3.5, C ve Nb'un, Nb içeren çeliklerin (Tokunaga vd., 1987; Ohashi vd., 1981), uzama, r değeri ve yeniden kristalleşme sıcaklığı değerine etkileri üzerine yapılan laboratuvar incelemelerinin sonuçlarını göstermektedir. Bu sonuçlar hem süneklik hem de r değerinin artan C ve Nb ile azaldığını göstermektedir; bu ise, hem yüksek süneklik hem de yüksek r değeri elde etmek için C ve Nb'un çok düşük olması gerektiğini ifade etmektedir: Yani $C \leq 30$ ppm ve $Nb \leq 0,025$ olmalıdır. Şekil.3.3 de Nb-Ti içeren çeliklerin yeniden kristalleşme sıcaklığı değerine Nb ve C'un etkisini incelenmiştir. C seviyesi ne olursa olsun yeniden kristalleşme sıcaklığının sadece Ti* ile arttığı Ti içeren IF çeliklerinden farklı olarak Nb-Ti içeren çeliklerin yeniden kristalleşme sıcaklığının hem artan C hem de Nb ile hızlı bir şekilde arttığını bulmuşlardır (Goodman vd., 1970). Ayrıca, artan Nb'un yeniden kristalleşme

sıcaklığı üzerine etkisi Ti^* 'ın Ti içeren IF çeliklerinin yeniden kristalleşme sıcaklığı üzerine etkisinden daha büyüktür. Mesela Şekil 3.4, ~25-30 ppm C ile, Ti içeren çeliklerdeki Ti^* 'daki benzer bir artış için yeniden kristalleşme sıcaklığında sadece 20°C'lık bir artışa kıyasla, Nb içeriğini % 0,01'den % 0,05'e arttırmanın yeniden kristalleşme sıcaklığını 75°C (725°'dan 800°C'a) arttırdığını göstermektedir. Böylece Nb içeren çeliklerde düşük tavlama sıcaklıkları kullanarak iyi özellikler elde etmek için çok düşük C ve Nb gerekli olduğu görülmektedir.

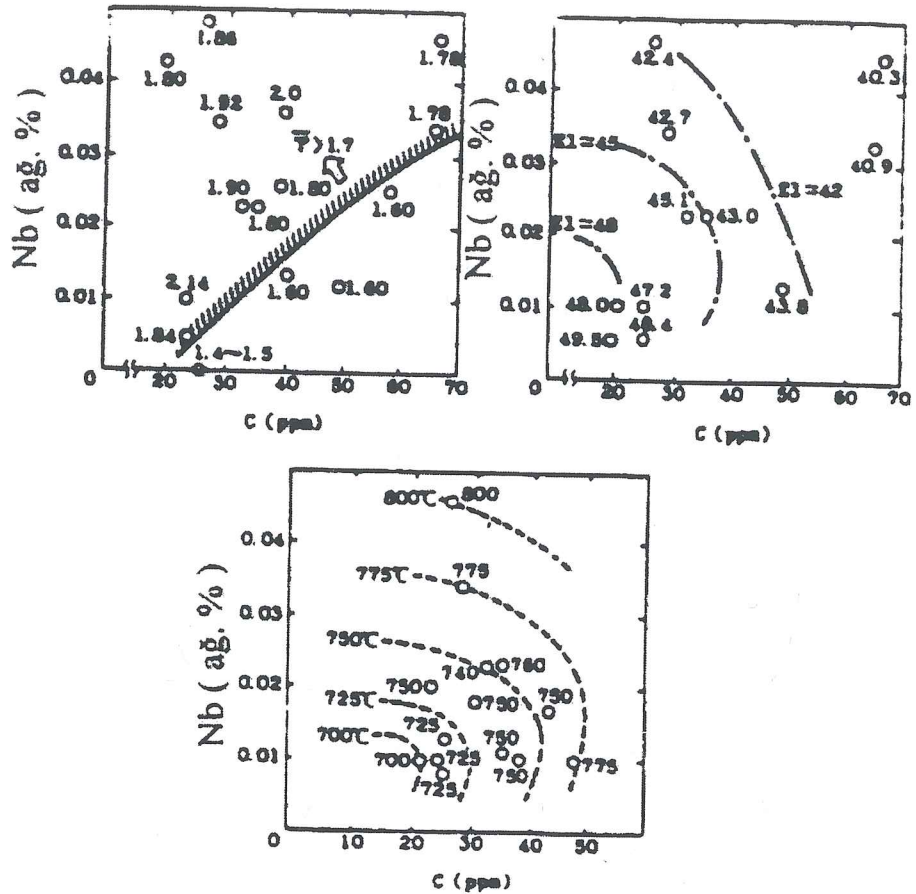


Şekil 3.3 20-30 ppm C ve 26-35 ppm N içeren Nb, Nb-Ti ve Ti-IF çeliklerinde alaşım elementlerinin mekanik özelliklere etkisi (Pradhan, 1990)

Bazı çalışmalarda (Hook vd., 1975; Pradhan, 1990) Nb/C atomik oranı yüksek r değeri elde etmek için $> 1,0$ (ağ. oranı $> 7,74$) olmalıdır. Ancak Şekil 3.3, 3.4 ve 3.5'deki laboratuvar sonuçları, çok düşük C seviyelerinde ($C \leq 40$ ppm) hem yüksek r değerleri hem de yüksek sünekliğin sadece stokiometrik oranın altındaki (yani Nb/C atomik oranı $< 1,0$) Nb ile elde edilebileceğini göstermektedir. Ancak Nb içeren çeliklerin özellikleri, ıkmal sıcaklığı, toplam deformasyon, haddeme hızı, paso sayısı, sarılma sıcaklığı vb. gibi sıcak haddeme parametrelerinden kuvvetli bir şekilde etkilenir.

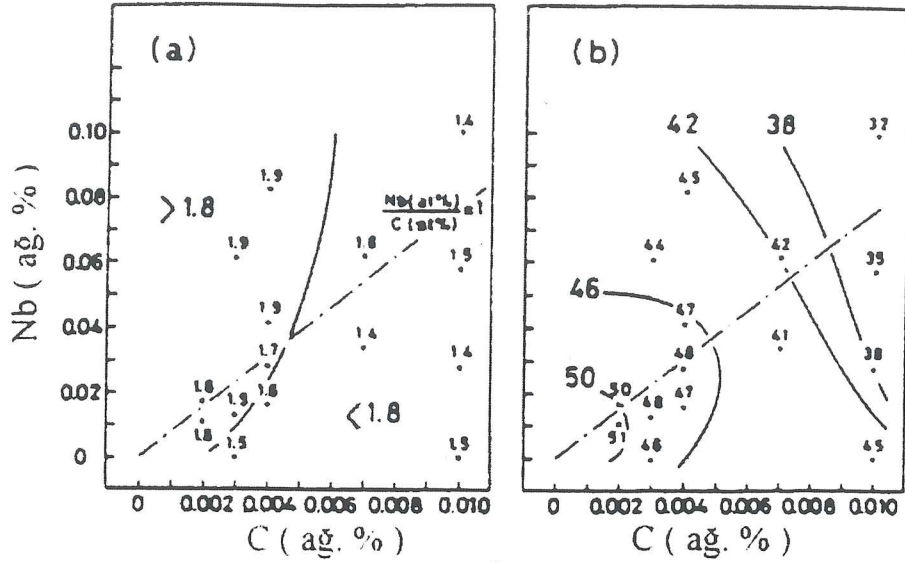
Bazı çalışmalarda ise, fabrikada sıcak haddelenmiş bantlardan üretilmiş sürekli tavllanmış Nb içeren çeliklerin laboratuvarda sıcak haddelenmiş çeliklerden daha yüksek süneklik ve r değeri sergileyeceğini göstermiştir. Çizelge 3.1, fabrikada sıcak haddelenmiş bantlardan üretilmiş çok geniş bir bölgede C, Nb ve Nb/C oranını kapsayan birkaç Nb içeren sürekli tavllanmış ve sıcak daldırma ile galvanizlenmiş çelik için uzama ve r değerlerini listelemektedir. Bu

sonuçlar, yüksek uzama ve r değerinin oldukça geniş bir C , Nb ve Nb/C oranı bölgesi boyunca elde edilebileceğini göstermektedir. Böylece, ticari ürünler için bu bileşim parametreleri Şekil 3.3, 3.4 ve 3.5’ deki laboratuvar sonuçları ile gösterilen kadar kısıtlayıcı olmayabilir (Pradhan, 1990).



Şekil 3.4 C ve Nb içeriğinin 720°C’de sarılmış Nb-Ti IF çeliklerinde r değeri, uzama ve yeniden kristalleşme sıcaklığına etkisi (Pradhan, 1990)

gerekli olduğunu fakat hem yüksek uzama hem de r değeri elde etmek için gerekli optimum Nb/C oranı bölgesinin, muhtemelen farklı sıcak haddelendirme pratiklerinden dolayı işletmeden işletmeye değişebileceği anlaşılmaktadır.



Şekil 3.5 Laboratuarda haddelenmiş Nb'lu çeliklerde C ve Nb içeriğinin r değeri ve uzamaya etkisi (Ohashi vd., 1981).

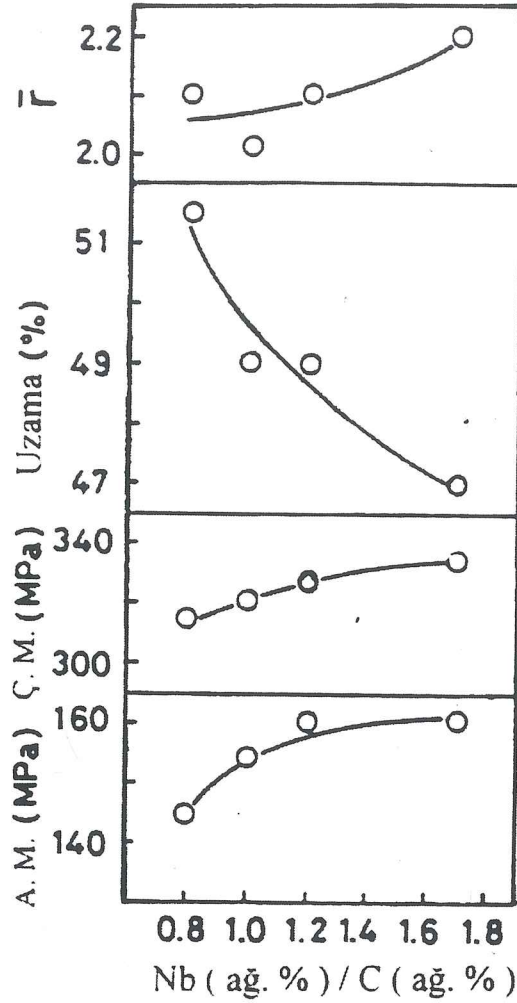
Çizelge 3.1 Sürekli tavllanmış bazı örnek Nb'lu çeliklerin özellikleri (Pradhan, 1990)

Kompozisyon			Nb/C Oranı		Sarılma Sıc. (°C)	Uzama (%)	R Değeri
C ppm	Ti (%)	Nb (%)	Atomik	Ağırlık			
30	-	0,040	1,72	13,3	750	50	2,00
50	-	0,020	0,52	4,0	660	50	2,10
50	-	0,042	1,03	8,0	720	47	1,92
70	-	0,043	0,79	6,1	770	48	2,00
50*	-	0,037	0,96	7,4	760	44	2,20
40	0,022	0,030	0,78	6,0	720	45	1,97
48	0,018	0,020	0,54	4,2	700	52	2,20
60	0,021	0,015	0,32	2,5	720	48	1,95

* % 0,06 P içermektedir.

Azot' un etkisine gelince, artan N'un Nb çeliklerinde, Nb-Ti çeliklerinden daha zararlı olduğunu görülmüştür (Tokunaga vd., 1987). Ancak bu bilgiler, nisbeten düşük (600°C) sıcak haddeleme sarılma sıcaklığı kullanılarak elde edilmiştir. Nb içeren çelikler, iyi özellikler elde etmek için genellikle 600°C'dan çok daha yüksek sıcaklıklarda sarıldığı için düşük sarılma

sıcaklığı ile N'un etkisi hakkındaki sonuçların doğrudan yüksek sarılma sıcaklığına'a uygulanabilir olup olmadığı belli değildir (Pradhan, 1990).



Şekil 3.6 Nb/C Atomik oranının, 40 ppm C içeren ve 830°C'de tavllanmış Nb çeliğinin mekanik özelliklerine etkisi (Ohashi vd., 1981)

Nb çeliklerinin özelliklerine Mn, Si ve P tarafından yapılan katı-çözelti sertleştirmesinin etkisini incelendiğinde, Si+Mn+10P (%ağ.) ile hemen hemen lineer olarak mukavemetin arttığını ve sünekliğin azaldığını göstermektedir (Ohashi vd., 1981). Şekil.3.6' da Nb/C atomik oranının çelik mekanik özelliklerine etkisi görülmektedir. Ancak, mukavemetteki aynı artış için Mn, r değerinde en çok, P ise en az zarara sebep olur. Buradan da, katı çözelti sertleştirmesi için Mn, Si veya P'un kullanılabildiği Ti çeliklerinden farklı olarak, yüksek mukavemetli Nb içeren çelik üretmek için P'un en çok istenen ve Mn'ın ise en az istenen ilave olduğu sonucuna varılabilir. Bazı yumuşak (düşük karbonlu) ve yüksek mukavemetli Nb içeren çok düşük karbonlu çeliklerinin özellikleri, örnek olarak çizelge 3.2'de verilmektedir.

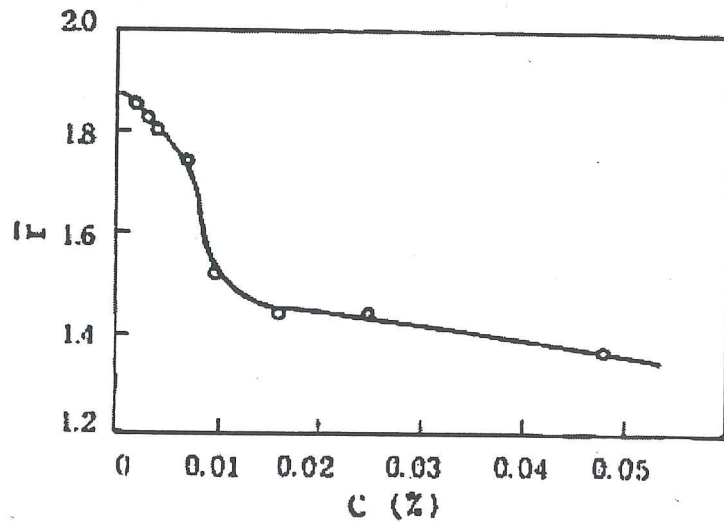
Çizelge 3.2 Bazı ticari Nb-IF çeliklerinin özelliklerine örnekler (Pradhan, 1990)

Tipi	Kompozisyon (%)						Akma Muk. (Mpa)	Çekme Muk. (Mpa)	Uzama (%)	R
	C	Mn	Si	P	Ti	Nb				
Orta	0,0028	0,15	0,01	0,01	0,01	0,010	147	304	49	2,20
Yüksek Muk.	0,032	0,18	0,25	0,08	0,01	0,018	235	412	39	1,95
	0,031	0,28	0,60	0,08	0,01	0,020	255	441	38	1,95
	0,050	0,14	0,24	0,07	-	0,040	220	392	41	2,15

3.2 Kimyasal Bileşimin Çelik Mekanik Özelliklerine Etkisi

Çeliği rafine ederken uygun elementler ilave ederek veya bazılarını da elimine ederek derin çekilebilirliğin artırılmasına çalışılmaktadır. Karbon, mangan, oksijen ve azot içeriklerini azaltmanın derin çekilebilirliği arttırmaya faydalı etkisi vardır.

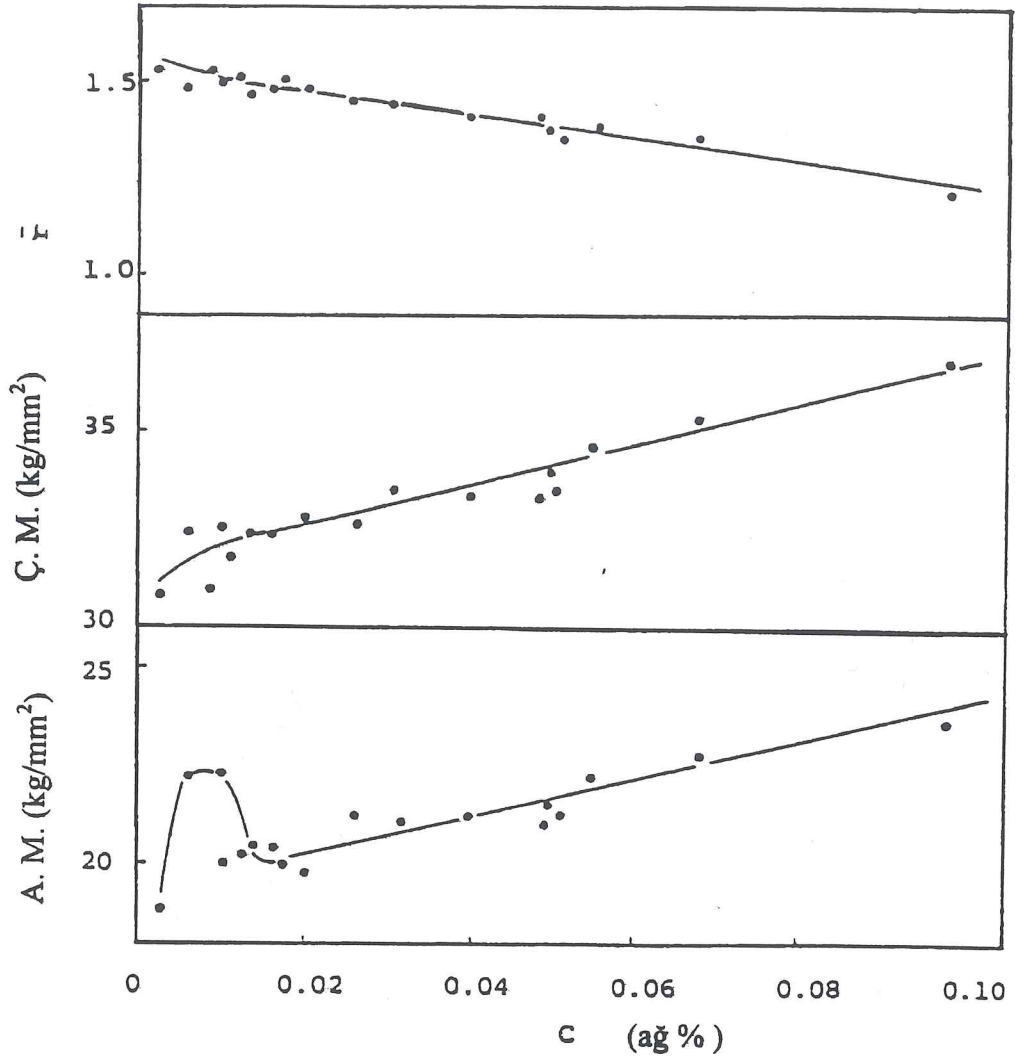
Karbon içeriği ile r değeri arasındaki ilişki Şekil 3.7'de gösterilmektedir. r değeri karbon içeriğindeki azalmayla artar. $C \geq \% 0,01$ için karbondaki azalıştan dolayı r değerindeki yavaş artış; karbürdeki azalmadan dolayıdır, oysa $C \leq \% 0,01$ için r değerindeki keskin artış çözülmüş karbondaki azalmaya bağlanabilir (Nippon, 1995)



Şekil 3.7 Kaynar bir çeliğin r değerine karbon içeriğinin etkisi (soğuk haddelenmiş 700°C' de 5 saat tavllanmış) (Nippon, 1995)

Al ile durgunlaştırılmış bir çelik için ise C içeriğinin mekanik özelliklere etkisini gösteren grafik ise Şekil.3.8'de gösterilmektedir. C içeriği düştükçe çekme mukavemeti düşmekte ve

malzemenin derin çekilebilirlik özelliği iyileşmektedir. $C > \% 0,015$ bölgesinde karbon içeriğinin azalmasıyla akma mukavemeti azalır fakat $\% 0,005 < C < \% 0,015$ bölgesinde keskin bir şekilde yükselir ve $C < \% 0,005$ için tekrar düşer (NKK, 1995a)

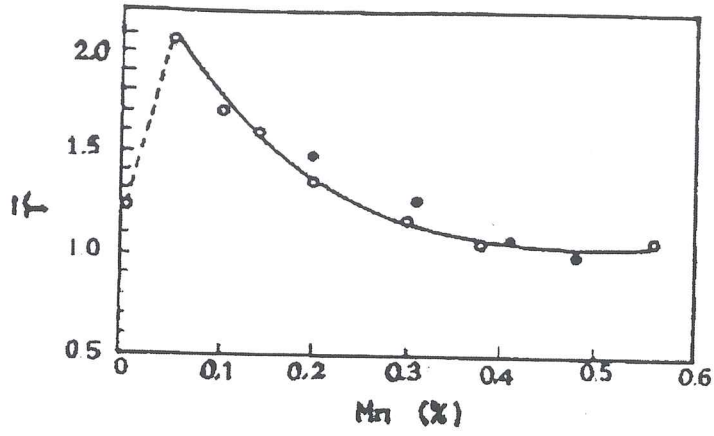


Şekil 3.8 C içeriğinin mekanik özelliklere etkisi (Al ilaveli çelik) (NKK, 1995a).

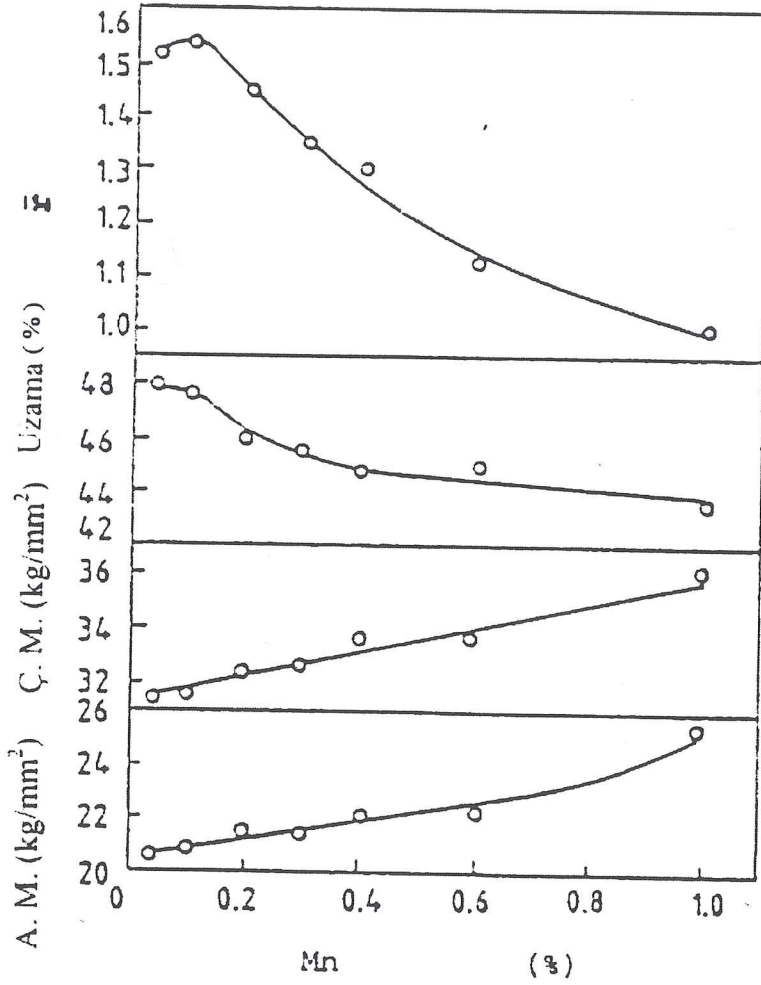
Akma mukavemeti davranışı şu metalurjik faktörlerle açıklanabilir; eğer karbon içeriği $\% 0,015$ veya daha azsa, yaşlanmadan önce çözünmüş karbon azdır ve yaşlanmadan sonra çökelen karbür miktarı da azdır. Bu, karbür çökmesini yavaşlatır ve aşırı yaşlanmadan sonraki çözünmüş karbon içeriği, artan akma mukavemetini beraberinde getirir. $C < \% 0,005$ gibi çok düşük karbon bölgesinde arayer atomu olarak C 'un kaybolmasından dolayı C içeriğinin azalmasıyla akma mukavemeti keskin bir şekilde düşer. Yukarıda bahsedilen sonuçlara göre istenen C içeriği $\% 0,015-0,025$ 'dir (NKK, 1995a).

Şekil.3.9 mangan içeriği ile r değeri arasındaki ilişkiyi göstermektedir. r değeri mangan içeriğindeki azalmayla artmaktadır. $\% 0,005$ Mn çeliği için r değerine verilen önemli bir

zarar, ağır yeniden kristalleşmeden dolayı olabilir (Hu, 1970)



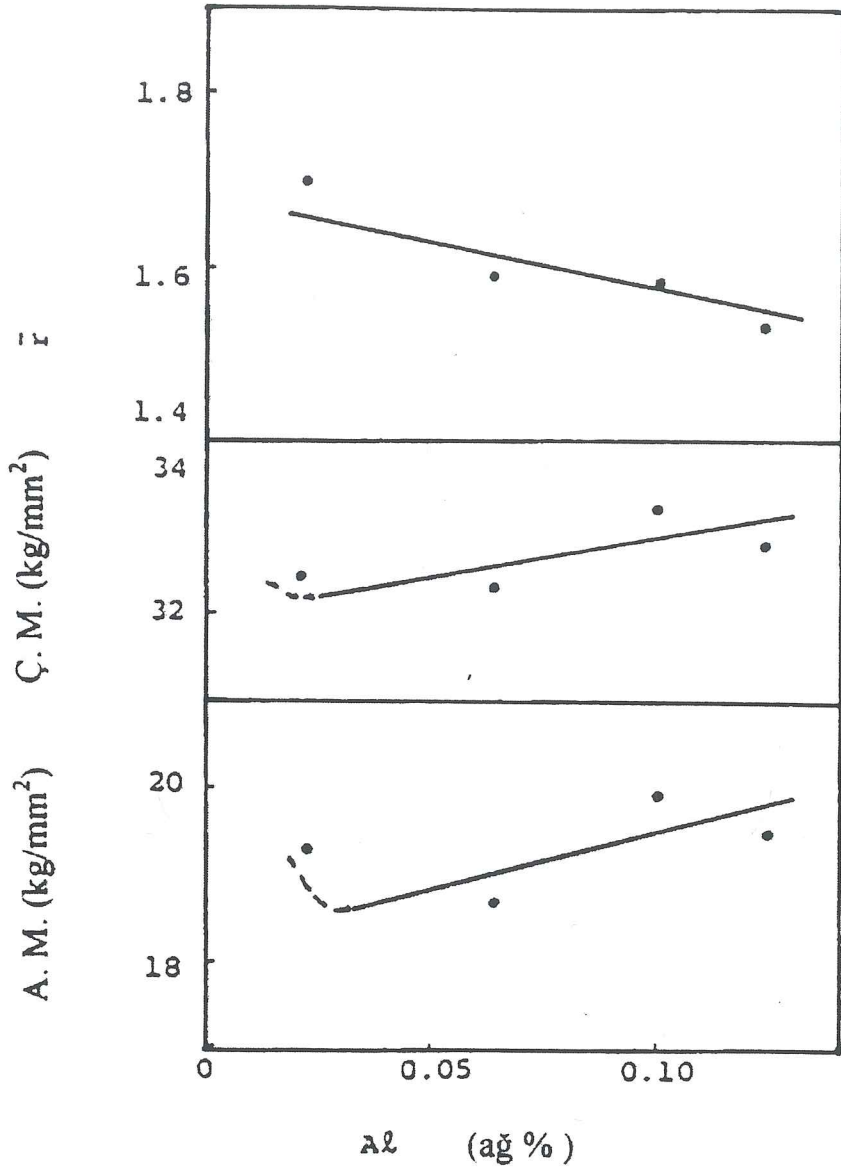
Şekil 3.9 % 0,05-0,06 C İçeren çelikte Mn' ın σ_y değerine etkisi (Hu, 1970)



Şekil 3.10 Mangana içeriğinin mekanik özelliklere etkisi (NKK, 1995a)

Mn, sadece ferrit kuvvetlendirici bir element değil aynı zamanda derin çekilebilirliği de etkileyen bir elementtir. Bu yüzden ürünü yumuşatmak ve derin çekilebilirliği arttırmak için

Mn içeriğini düşük bir seviyede tutmak istenir (Sato vd., 1985).

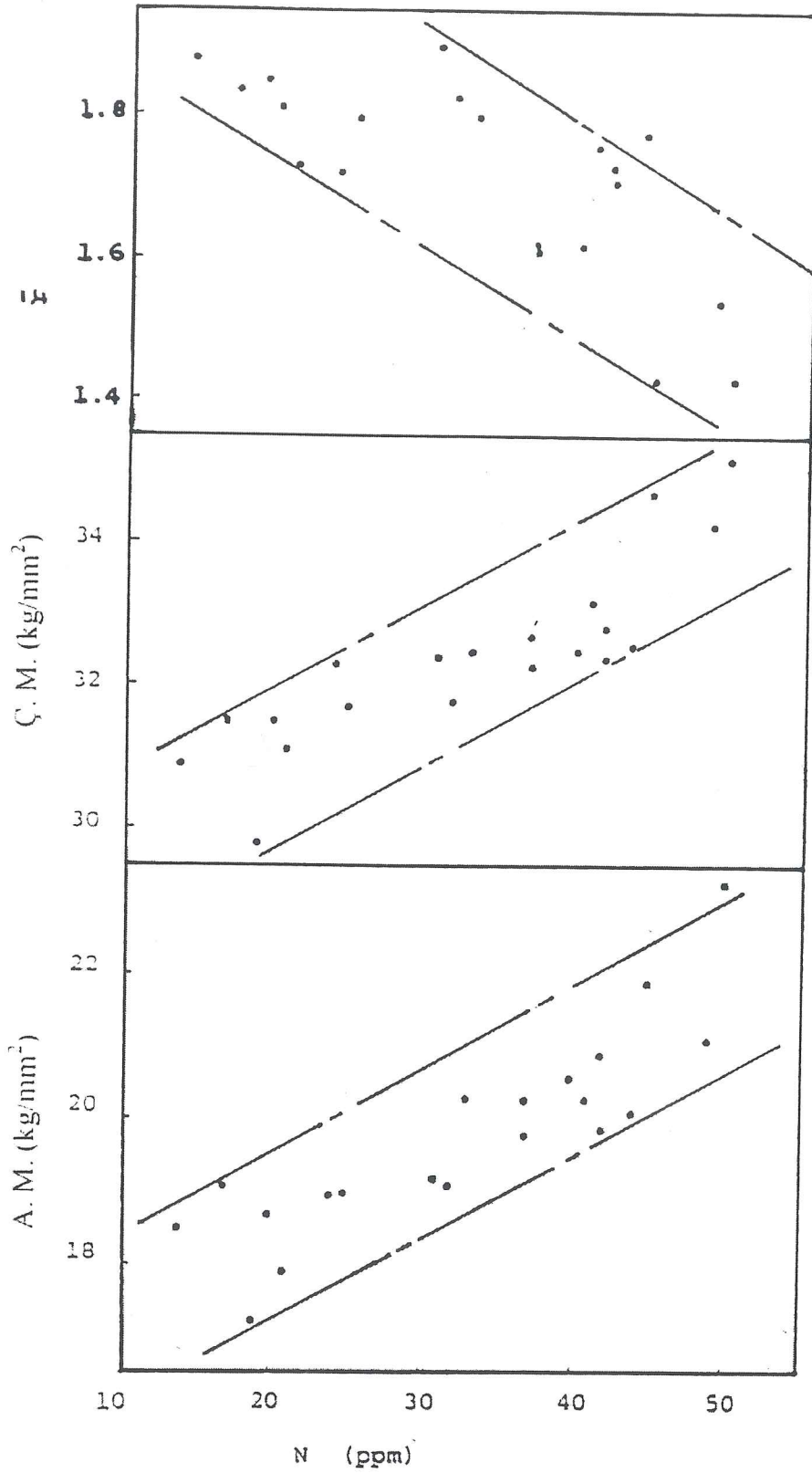


Şekil 3.11 %0,036 C, %0,26 Mn, % 0,008 P, %0,013 S, %0,0023 N içeren, sürekli tavlama hattında 850 °C' de tavllanmış Al ile durgunlaştırılmış çeliğin mekanik özelliklerine Al içeriğinin etkisi (NKK, 1995a)

Şekil.3.10 ise, % 0,020 C, % 0,01 Si, % 0,013 P, %0,005 S, % 0,050 Al, % 0,0045 N kimyasal kompozisyonuna sahip, % 75 ezme oranı ile sürekli tavlama hattında 700 °C' de tavllanmış, Al ile durgunlaştırılmış çeliğin mekanik özelliklerine Mn içeriğinin etkisini göstermektedir (NKK, 1995a).

Al ile durgunlaştırılmış çeliğin mekanik özelliklerine asitte çözünebilir Al içeriğinin etkileri Şekil.3.11'de gösterilmektedir. Sol Al > % 0,02 bölgesinde Sol Al içeriği düştükçe akma ve çekme mukavemetlerinde azalma, r değerinde ise artış görülür. Bununla beraber; onun etkileri

C, Mn ve N'da gözlenen durumlardan daha azdır (NKK, 1995a)



Şekil 3.12 Al ile durgunlaştırılmış çelik için N'un mekanik özelliklere etkisi (NKK, 1995a)

Al ile durgunlaştırılmış çeliklerde, sıcak haddelemede yüksek sıcaklıkta sarılma ile azot AlN

olarak çökelir. Bu yüzden $\text{SolAl} < \% 0,02$ için AlN'ün çökmesi ve kalınlaşması yetersiz kalır, ferrit tane yapısı ve kalıntı çözünmüş element miktarına olumsuz etki yapar. Sonuç olarak çelik yapısındaki optimum Al içeriği $\% 0,03-0,06$ arasında kontrol edilmelidir (NKK, 1995a)

Düşük karbonlu Al ile durgunlaştırılmış çeliğin mekanik özelliklerine azot içeriğinin etkileri Şekil.3.12'de görülmektedir. Azot miktarı arttıkça akma ve çekme mukavemetleri artmakta, r değeri ise azalmaktadır.

Yukarıda bahsedildiği gibi sürekli tavllanmış soğuk haddelenmiş ürünün mekanik özelliklerine azotun etkisi büyüktür. Al ile durgunlaştırılmış çelik durumunda sıcak haddelemeden sonra yüksek sıcaklıkta sarılma uygulandığında N atomu AlN olarak çökelir. N içeriği arttıkça AlN çökeltileri artar ve ferrit tane büyümesi ile karışır. Sonuç olarak akma ve çekme mukavemeti artar ve r değeri düşer. Buna göre, Al ile durgunlaştırılmış çelik için düşük bir N içeriğine sahip olmak istenir (Stolte ve Teworte, 1990; Fruehan, 1998).

4. RD-KTB TİPİ BİR VAKUM METALURJİSİ PROSESİ İLE ÇELİK ÜRETİM ÇALIŞMALARI

Vakum metalurjisi yöntemiyle çelik üretim çalışmaları RD-KTB vakum prosesine sahip bir entegre demir çelik fabrikasında gerçekleştirilmiştir. Bu proses, ekonomik koşullar altında yüksek kaliteli, düşük karbonlu çeliklerin üretimine olanak sağlar. Mümkün olduğu kadar hızlı pota değişimi için dizayn edilmiştir. 20 ppm karbondan daha düşük karbon içerikli derin çekme çelik sınıflarının üretimine olanak sağlamaktadır. Alümina termik ısıtmayla çeliğin tekrar ısıtımını mümkündür. Bütün işlemler monitörlerle takip edilmekte ve bilgisayar sistemi ile kontrol altında gerçekleştirilmektedir.

RD Prosesi, vakum altında ikincil metalurji proseslerinden birisidir. Sıvı çelik, hazne içerisinde düşük basınca maruz bırakılır. Prosesin amacı, sıvı çelik içerisinde istenmeyen çözünmüş elementleri gaz fazı yardımıyla uzaklaştırmaktır.

Bu metalurjik proses, içi refrakter kaplı, altta iki bölmesi olan silindirik bir hazne içerisinde meydana gelmektedir. Haznenin altında iki açıklık vardır. Bu açıklıklara kaynak edilmiş ve şnorkel adı verilen iki tüp mevcuttur. İşlem öncesi hazne 1400 °C'ye ısıtılmaktadır.

Prosesin başlangıcında şnorkeller pota içerisine daldırılır ve vakum pompası açık konuma getirilir. Düşük basınç sayesinde sıvı çelik şnorkelden hazne içerisine doğru yükselir. Şnorkellerin etrafında bulunan küçük tüpler yoluyla sıvı çelik içerisine inert gaz olarak genellikle argon gazı verilmektedir. Bunun yanında azot gazı da kullanılabilir. Şnorkeller arasında şnorkeller etrafında bulunan küçük tüplerden kaynaklanan çeliğin yoğunluğu ve basınç farkıyla sıvı çelik hazne ile pota arasında sirkülasyona maruz kalır. Bu sirkülasyon esnasında vakum basıncının düşmesiyle kimyasal reaksiyonların gerçekleşmesine olanak sağlar.

Sıvı çelik içerisindeki çözünmüş gazlar sıvı çelik üzerindeki düşük basınca bağlı olarak dışarıya atılır.

Alaşım malzemeleri vakum altında ilave edilir. Alaşım malzemelerinin bulunduğu silolarda vakum özelliği taşıyan bir sistemdir. Çeliğin hava ile etkileşimi veya curuflla etkileşimi olmadığından yüksek verim elde edilmektedir. 2-3 dakikaya kadar pota içerisindeki çelik homjenize edilir. Vakum işlemi sonrası hazne içerisindeki çelik vakum valfinin açılmasıyla potaya geri döner.

RD Prosesi ile beraber çalışan ve Kawasaki Steels'e ait olan Kawasaki Top-Blowing (KTB) prosesi, yüksek oksijen üfleme ile gaz giderme metodu, ikincil temizleme, tasfiye teknolojileri içerisinde en ileri düzeyde olan, gaz giderme operasyonlarına yeni esneklikler getiren düşük karbonlu çeliklerin bütün üreticileri için esaslı bir prosestir. Bu yöntemde , bir yüksek oksijen üfleme lansı kullanılır ve gaz giderme hücresi içerisinde CO gazı direkt olarak yanar. KTB sistemi Al ilave edilmeksizin yüksek erimiş çelik sıcaklıkları verir ve aynı zamanda hızlı dekarbürizasyon sağlar. KTB prosesi içerisinde iki ana adım vardır (Kawasaki , 1990):

1. Oksijen, çelik banyosu içerisinde oksijen toparlanmasına meydan vermeyecek ve karbon gidermeyi hızlandıracak şekilde, erimiş çelik içerisine üstten üflenir.
2. Dekarbürizasyon vasıtasıyla açığa çıkan CO' in direkt yanmasından oluşan ısı, banyo sıcaklığını yükseltmede kullanılır.

Bu sistemde, gaz giderme hücresinde CO gazı erimiş çelik için bir ısı kaynağı şeklinde olup, direkt yanma vasıtasıyla yanar. Direkt yanma oranı: .

$$\% [CO_2 / (CO + CO_2) * 100] \quad (4.1)$$

şeklinde olup, RH ile sadece birkaç yüzde iken bu oran KTB ile yaklaşık olarak % 60 civarındadır (Kawasaki, 1990).

Direkt yanma, dekarbürizasyon sırasında sıcaklık düşüşünü önler. Böylece ihtiyaç duyulan yüksek sıcaklık bu durumda giderilmektedir. Burada en önemli nokta, KTB prosesinin gerekli olan ısıyı alüminyumun ekzotermik reaksiyonuna gerek olmaksızın, direkt yanma vasıtasıyla elde etmesidir.

KTB sistemi, dekarbürizasyon hızını arttırır. Ortalama dekarbürizasyon zamanı bu prosesle 3 dakikaya kadar azaltılabilir.

Dekarbürizasyon reaksiyonu aşağıdaki eşitliğe göre meydana gelir (Kawasaki Steel, 1990):

$$[C]_t = [C]_0 \cdot \exp(K^0 \cdot t) \quad (4.2)$$

$[C]_t$ = t dakika sonra karbon miktarı

$[C]_0$ =ilk karbon miktarı

K^0 =dekarbürizasyon sabiti

KTB prosesinde $0,35 \text{ min.}^{-1}$, fakat geleneksel RH gaz gidermede $0,21 \text{ min.}^{-1}$ dir. Bu farklılık, KTB ile dekarburizasyon zamanında % 15' in üzerinde tasarruf anlamına gelmektedir. Aynı zamanda KTB prosesi, düşük sıcaklık ve yüksek karbon miktarlarında dökümleri kullanmaya imkan verir. Konvertör ömrü, döküm sıcaklıkları ve döküm karbonuna bağlı olmaktadır. KTB sistemiyle, yüksek döküm karbon miktarlarını ve düşük döküm sıcaklıkları kullanılabilir. Hatta, çok düşük karbonlu çelikler üretildiğinde bile bu durum geçerlidir. KTB, geleneksel sistemlere göre bir çok avantajlar sunmuştur (Kawasaki, 1990):

1. Güvenli Operasyon sağlar. Çünkü bitmiş gazın CO miktarı direkt yanma vasıtasıyla aniden azalmaktadır. Güvenli bir şekilde problemleri elimine etmek mümkündür.
2. Skal Oluşmasında, KTB prosesi oksijen lansı sadece sıçramayı minimize etmez, skal gelişimini, oluşan bu skalı uzaklaştırmada çok etkilidir. Başlangıçta skal oluşumunun önlenmesine yardım eder.
3. KTB sisteminde RH tipi gaz gidericilerde bulunmayan kapasite artırma özelliği kolaylıkla kullanılabilir. Vakum kapasitesi, geleneksel gaz gidermede özellikle sonuç aşamasında çok önemli bir faktördür. KTB sistemi geri çekilebilen bir oksijen lansına sahiptir. Vakum kapasitesi, kritik faktör olmadığı zaman dekarburizasyonun ilk aşamasında sadece oksijen üflemede rol oynar. Bundan böyle, ilk aşamada, lans gaz giderme operasyonunu kesmeden bekleme pozisyonuna yükselmektedir. Bu bekleme pozisyonunda lansın korunması için gerekli gaz yoktur.
4. KTB prosesi vakum hücresinin ömrünü kısaltmaz. KTB sistemi üstten üfleli oksijen lansı ile hücre ömründe ters etkiye sahip değildir.
5. Döküm sıcaklıkları $20-30 \text{ C}^{\circ}$ kadar düşürülebilir. Direkt yanma, erimiş çelik sıcaklığını yükseltmek ve bu sıcaklığı sürdürmek için ucuz bir ısı kaynağı gibi yeterli olmaktadır. Çok yüksek direkt yanma olduğundan banyoyu izole etmek yeterli olmaktadır. Böylece, konvertörlerde düşük sıcaklıklarda döküm yapmak mümkün olmaktadır.
6. KTB prosesi sıcaklığı yükseltmek için ek zaman gerektirmez. Dekarburizasyon, direkt yanma ile aynı zamanda ilerler ve banyo sıcaklığını yükseltir. Bu sebeple ilave zamana gerek yoktur.

Operasyon maliyetleri KTB prosesi ile düşürülmüştür. Erimiş çelik sıcaklığını yükseltmek için Al ilavesine ve lansı korumak için argon gibi bir soğutucu gaza ihtiyaç yoktur. Her ikisi de pahalıdır ve günlük operasyon ek maliyeti getirir.

Vakum işleminden sonra ve sürekli döküm başlangıcı arasındaki bu periyot içerisinde karbon miktarında bir azalma olur. yapılan incelemelerde, kalıp içine aşırı karbon emilmesi ortaya çıkmıştır. Bu çalışmalar kalıp tozunun karbonla olan ilişkisinden doğan etkileri göstermektedir. Katı slab üzerinde bir kimyasal analiz yapılmış RH tipi proseste vakum işleminden sonraki karbon miktarıyla karşılaştırılmış ve sadece 4 ppm'lik bir azalma göstermiştir (Göl vd., 1999).

Ti ile stabilize edilmiş çok düşük karbonlu çelik üretirken bir diğer unsur azot miktarını düşük seviyelerde tutmaktır. Bu amaçla konvertörlerde özel üfleme pratikleri, RH tipi fırınlarda düşük basınçta vakum işlemi ve argon gazı enjektisi, döküm sırasında etkili örtülü sistem kullanılması azot miktarının düşük seviyelerde olmasına yardım etmektedir (Göl vd., 1999).

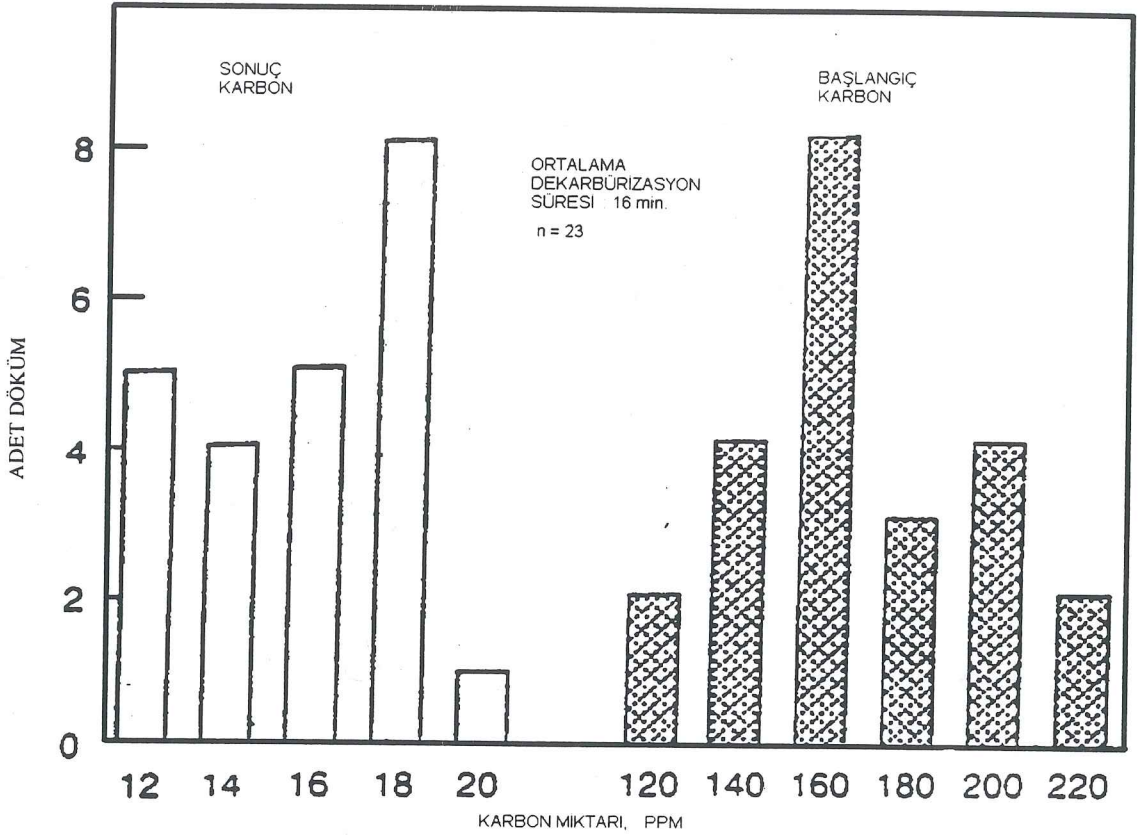
KTB lansı, su soğutmalı ve ucunda bir naval nozul olan bir lans ile ekipmanlaştırılmıştır. İşlem sırasında lansın ucu sıçramalara karşı sabit azot akışı ile korunmaktadır. Yaklaşık 150 mbar basınca ulaşıncaya hazne altı tamamıyla sıvı çelik ile dolar ve lans çalışma pozisyonuna aşağıya indirilir. Çelik yüzeyine oksijen üfleme sona erdiğinde lans otomatik olarak duruş pozisyonuna geçer.

RD Prosesi ile KTB Prosesinin kombine olarak çalışmasının avantajları; etkili dekarburizasyon için konvertörden gelen sıvı çelik içerisindeki çözünmüş oksijen miktarı yeterli değildir ve KTB lansı ile oksijen üflenerek gerekli oksijen seviyelerine ulaşılır. Çeliğin kimyasal olarak ısıtılması mümkündür.

Çelik içerisinde yüksek oksijen aktivitesi nedeniyle azot yükselmesi yoktur. Çeliğin süper oksidasyonu vasıtasıyla vakum işlemi sırasında sıcaklık kayıplarını azaltmak için esas olarak oksijen üfleme kullanılır. Vakum işleminin başlangıcında sıcaklık düşüktür. Deoksidasyon sonrası nihai sıcaklığa erişmek için ayrıca kimyasal ısıtma kademesinin yer alması gerekmektedir. Dakikada 5 ila 8 ° C ısıtma hızlarına bu yolla ulaşılabilir. RD-KTB prosesinde yapılan işlemin en önemli amacı istenen nihai karbon oranının spesifikasyonlarına uygun çeliği elde etmektir. Bunuda bu prosesle tekrar ederek bir kaç kademe yapılabilmektedir. Şekil.4.1' de bu prosesle üretilmiş çeliklerdeki başlangıç ve bitiş karbon miktarları verilmiştir. Bu proseste Vakum işlemi sırasında çelik içerisinde fazla azot

yükselmeleri de engellenir.

Bugün RD-KTB vakum metalurji prosesiyle, ekonomik koşullar altında yüksek kaliteli çok düşük karbonlu çeliklerin üretimi gerçekleştirilebilmektedir.



Şekil 4.1 Karbon miktarının dekarbürizasyon sonrası değişimi (Göl vd., 1999)

4.1 RD-KTB Prosesinde Proses Akışı ve Yapılan Çalışmalar

Bu prosesle ticari çeliklerin, çekme kalite çeliklerin, derin çekme kalite çeliklerin ve extra derin çekme kalite çeliklerin üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu amaçla, bu prosesle üretilen dört çelik grubundan üçer adet toplam 12 adet çelik üzerinde çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda bu çeliklerin üretimi sırasındaki proses parametreleri, proses öncesi ve sonrası kimyasal kompozisyonun değişimi ve işlemin nasıl gerçekleştirildiği incelenmiştir. Çeliklerin üretiminde proses akışı aynı olduğundan genel olarak ele alınmıştır. Ancak ticari çelik kalitelerinde ve çekme kalite çeliklerde dekarbürizasyon işlemi yapılmamakta sadece çelik temizliğinin sağlanması ve vakum altında alaşımlama gerçekleştirilmektedir.

RD-KTB prosesinde üretilecek olan çelik, ilk önce pota fırınlarında ortalama 3 dakika sıcaklık ayarlaması için karıştırıldıktan sonra vakum istasyonuna gelir. Çünkü RD-KTB prosesinin

Çalışma sıcaklığı 1600-1620 °C sıcaklıkları arasındadır. Prosese girmeden önce numune alınarak kimyasal kompozisyon için analize gönderilir. Bu işlemlerden sonra vakum istasyonuna gelen sıvı elik dolu pota, vakum kazanı sabit olup, pota kaldırma sistemiyle kaldırılarak şnorkeller elik içerisine ortalama 55 cm. daldırılır Eğer pota içerisindeki curuf seviyesi fazla ise biraz daha daldırılabilir. Daldırma işlemi tamamlanınca otomatik olarak giriş nozulundan argon gazı flenmeye başlar. 3 adet vakum pompası sırayla devreye girer. Bu sreden itibaren vakum işlemi başlar.

Vakum işleminin başlamasıyla birlikte potadan vakum kazanına doğru şnorkeller aracılığıyla bir sirkülasyon başlar ve dakikada 60 ton sıvı elik şnorkellerden vakum kazanına geçerek potaya geri döner. Basınç 1008-1023 atm seviyelerinden 100 mbar basına indiği zaman ideal sirkülasyon hareketleri başlar. Bu esnada sıcaklık ve sıvı elik oksijen miktarını tespit etmek için numune alınır. Sıcaklık ve oksijen miktarı uygunsa daha önceden gönderilen numunenin kimyasal kompozisyonu sonucuna göre gerekirse Mn ilavesi yapılarak alaşımlama yapılır. Dekarbürizasyon için gerekli çelikteki oksijen miktarı 700-750 ppm seviyelerindedir. Eğer oksijen miktarı düşükse KTB lansı ile oksijen üflenerek çeliğe oksijen verilerek oksijen miktarı arttırılır. Sonra derin vakum işlemine geçilir. Basınç minimum 0,60 mbar'a kadar inebilir. 4 dakika dekarbürizasyon işlemi sonrasında karbon giderilirken oksijende uzaklaşmakta bu yüzden çelikteki oksijen miktarını ölçmek için numune alınır. Numune üzerinden oksijen miktarı tespit edilene kadar 1,5 dakika geçer ve dekarbürizasyon devam eder. Oksijen miktarı düşükse KTB lansı ile oksijen üflenerek oksijen seviyesi yükseltilir. eliği deokside etmek için alüminyum ile deokside edilir. Bu işlem de 1,5 dakikaya yakın sürer. Toplam dekarbürizasyon süresi ortalama 7 dakikadır. Başlangıç karbon miktarı 900-1000 ppm civarında olsa bile dekarbürizasyon sonrası karbon miktarı <20 ppm seviyelerine azaltılabilmektedir. Burada önemli olan vakum basıncının çok düşük (0,60 mbar min. kapasite) olması ve elik sirkülasyonunun iyi sağlanmasıdır. Daha sonra çeliğe alüminyum ilave edilerek 3 dakika homojenizasyon yapılır. Sıcaklık , oksijen ve alüminyum miktarını tespit etmek için tekrar numune alınır ve değerler normal ise elik türüne göre diğer alaşımlar (Ti, Nb) ilave edilir. Ortalama 20-45 dakika işlem sonrasında vakum işlemi durur ve potadaki elik üretilmiş olarak sürekli döküm tesislerine gönderilir. Yukarıdada belirtildiği gibi çok düşük karbon istenmeyen sadece elik temizliğinin olması istenen elik kalitelerinde dekarbürizasyon yapılmamakta sadece sirkülasyon yapılarak elik temizlenmekte, istenmeyen elementler giderilmekte ve gerekli alaşımlama işlemleri yapılmaktadır.

Çizelge 4.1' de üretilen çeliklerde istenilen kimyasal kompozisyonlar verilmiştir. Çizelgede

derin çekme ve ekstra derin çekme kalite çeliklerde karbon miktarının ppm seviyelerde olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.1 RD-KTB Prosesi ile üretilecek çeliklerde istenilen kimyasal kompozisyonlar

Çelik No	Sınıf	Kimyasal Kompozisyon (%), (N ppm)								
		C	Mn	P	S	Si	Al	Ti	Nb	N
1 – 3	TK	0,02	0,15	0,015	0,015	0,030	0,020	-	-	60
		0,05	0,25	max.	max.	max.	0,060	-	-	
4 – 6	ÇK	0,02	0,10	0,015	0,010	0,030	0,020	-	-	50
		0,04	0,20	max.	max.	max.	0,060	-	-	
7 – 9	DÇK	0,004	0,10	0,012	0,010	0,030	0,020	0,05	-	50
		max.	0,20	max.	max.	max.	0,060	0,08	-	
10 - 12	EDÇK	0,003	0,08	0,010	0,008	0,030	0,020	0,05	-	40
		max.	0,15	max.	max.	max.	0,060	0,08	-	

İşlemin başlangıcında şnorkeller pota içerisine daldırıldıktan itibaren gazla karıştırma işlemi başlamaktadır. Çizelge 4.2' de de çeliklerin hangi gaz ile ne kadar sürede ve miktarda karıştırıldıkları gösterilmiştir.

Çelikler genel olarak inert gaz olarak argon gazı ile karıştırılmaktadırlar. Argon gazı inert bir gaz olduğundan çelik kimyasal kompozisyonu üzerinde herhangi bir etkide bulunmamaktadır.

Derin çekme ve ekstra derin çekme kalite çeliklerde dekarbürizasyon öncesi oksijen miktarlarının istenilen düzeyde olmaması durumunda KTB lansı ile çelik içerisine oksijen üflenmekte ve çeliğin oksijen miktarı dekarbürizasyon için yükseltilmektedir.

Çizelge 4.3' te çeliklere KTB lansı ile oksijen üfleme miktarı ve süreleri verilmiştir. Çizelgeden de görüldüğü gibi oksijen üfleme işlemi 7-12 (derin çekme ve extra derin çekme kalite çeliklerde) numaralı çeliklerde uygulandığı görülmektedir. Bu işlem yukarıda da belirtildiği gibi birincil çelik yapım fırınlarından gelen çeliklerin oksijen miktarının dekarbürizasyon için yetersiz olduğu durumlarda uygulanmaktadır.

Çeliklerde KTB ile oksijen üfleme kullanıldığında çelikteki oksijen miktarı dekarbürizasyon sonrası yüksek kalmaktadır. Bu nedenle çeliğin deokside edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla çeliğe alüminyum ilave edilmektedir. Ayrıca çeliğin işlem sonrası nihai sıcaklığa erişebilmesi için KTB prosesi kullanılarak alüminyumla ısıtma işlemi uygulanabilmektedir. Böylece

alüminyumla oksijen birleşerek alüminyum oksit oluşturmakta ve ekzotermik reaksiyon meydana gelmektedir. Bu işlem sayesinde çelik sıcaklığında dakikada 5 ila 8 ° C sıcaklık artışı sağlanabilmektedir.

Çizelge 4.2 Karıştırma işlemi sırasında kullanılan gazların karıştırma süresi ve miktarı

Çelik No	İnert Gaz İle Karıştırma İşlemleri		
	Kullanılan Gaz	Süre (Dak.)	Tüketim (m ³)
1	Azot	18	11
	Argon	28	35
2	Azot	25	3
	Argon	23	30
3	Azot	-	-
	Argon	-	-
4	Azot	1	1
	Argon	65	19
5	Azot	-	-
	Argon	30	30
6	Azot	-	-
	Argon	48	64
7	Azot	25	5
	Argon	-	-
8	Azot	-	-
	Argon	-	-
9	Azot	-	-
	Argon	32	35
10	Azot	35	1
	Argon	34	42
11	Azot	-	-
	Argon	71	69
12	Azot	-	-
	Argon	31	39

Çizelge 4.3 KTB Lansı ile üflenene oksijen miktarları ve süreleri

Çelik No	KTB İle O ₂ Üfleme İşlemleri	
	Süre (Dak.)	O ₂ Tüketimi (m ³)
1	-	-
2	-	-
3	-	-
4	-	-
5	-	-
6	-	-
7	4	60
8	2	40
9	4	67
10	3	56
11	5	89
12	3	56

Çizelge 4.4' te KTB ile alüminyumla ısıtma işlemlerine ait üflenene oksijen miktarı ile süresi ve kullanılan alüminyum miktarları verilmiştir. Çizelgeye göre KTB ile alüminyum ısıtma işleminin 1-6 numaralı genelde ticari kalite ve çekme kalite çeliklerde kullanıldığı görülmektedir. Bunun nedeni olarak, bu işlem çeliğin ısıtılması amacı ile kullanıldığından zaten derin çekme ve ekstra derin çekme kalite çeliklerde dekarburizasyon sırasında açığa çıkan CO gazı tekrar O₂ ile reaksiyona girmekte ve ısı açığa çıkmaktadır. Dolayısıyla çeliğin tekrar ısıtılmasına gerek kalmamaktadır. Ancak 10 numaralı çelikte olduğu gibi alüminyumla ısıtma işlemi gerektiğinde kullanılabilir.

Çizelge 4.5' te işlem sırasında çeliklere ilave edilen alaşımlar ve miktarları verilmiştir. Derin çekme ve ekstra derin çekme kalite çeliklerde kompozisyonda Ti alaşımı istendiğinden FeTi alaşımı ilave edilmiştir. Bu çelikler Ti alaşımlı çok düşük karbonlu çelikler olarak ifade edilmektedir.

Çizelge 4.6' da da çeliklerin vakum işlem süreleri ve işlem sırasında kullanılan minimum vakum basıncı verilmiştir. Genel olarak derin çekme ve ekstra derin çekme kalite çeliklerde vakum basıncının diğer çeliklere göre düşük olduğu görülmektedir. Çünkü vakum basıncı düştükçe dekarburizasyon işlemi ile karbon daha hızlı uzaklaştırılmaktadır.

Çizelge 4.4 KTB Alüminyumla ısıtma işleminde kullanılan Al ile O₂ miktarı ve süresi

Çelik No	KTB İle O ₂ Üfleme İşlemleri		
	Süre (Dak.)	O ₂ Tüketimi (m ³)	Al Tüketimi (m ³)
1	5	61	98
2	5	71	102
3	8	115	193
4	-	-	-
5	5	67	103
6	10	134	215
7	-	-	-
8	-	-	-
9	-	-	-
10	4	39	67
11	-	-	-
12	-	-	-

Çizelge 4.5 İşlem sırasında çeliklere ilave edilen alaşım malzemeleri ve miktarları

Çelik No	Kullanılan Alaşım Malzemeleri					
	FeMn (YK)	FeMn (DK)	FeMn Rafine	Kok	AL Briket	FeTi
1	152	-	-	40	287	-
2	171	-	-	32	260	-
3	120	-	-	24	482	-
4	93	-	-	29	178	-
5	106	-	-	41	330	-
6	119	-	-	41	429	-
7	-	-	102	-	524	135
8	-	147	-	-	250	134
9	-	-	90	-	268	139
10	-	124	-	-	335	134
11	-	146	-	-	253	135
12	-	-	44	-	596	139

Dolayısıyla, çok düşük karbonlu çeliklerde vakum basıncının düşük olması gerekmektedir. Diğer çeliklerde de istenmeyen elementler düşük vakum basıncında daha hızlı uzaklaştırılmaktadırlar.

Çizelge 4.6 Çeliklerin vakum işlem süreleri ve minimum vakum basınçları

Çelik No	Vakum İşlemleri	
	Vakum Süresi (Dak.)	Min. Vakum Basıncı
1	24	45,6
2	21	51,0
3	34	11,7
4	10	19,4
5	28	58,7
6	29	15,7
7	28	10,6
8	25	25,1
9	24	22,8
10	31	12,7
11	23	10,1
12	27	11,7

Çizelge 4.7' de ticari kalite çeliklerin vakum metalurjisi öncesi ve sonrası ile sürekli döküm işlemi sonrası (nihai ürünlerdeki) analiz değişimlerini göstermektedir. Çizelge 4.8' de çekme kalite çeliklerin, Çizelge 4.9' da derin çekme kalite çeliklerin, Çizelge 4.10' da ekstra derin çekme kalite çeliklerin vakum metalurjisi öncesi ve sonrası ile sürekli döküm işlemi sonrası (nihai ürünlerdeki) analiz değişimlerini göstermektedir.

Analiz sonuçlarında görüldüğü gibi 326 ppm C seviyelerinden 18 ppm C seviyelerine inmek mümkün olmuştur. Bunun da ancak vakum metalurjisi yöntemiyle gerçekleştiği görülmektedir. Bu sayede vakum metalurjisi yöntemiyle bugün çok düşük karbonlu çeliklerin üretimi mümkün olmaktadır.

Çizelge 4.7 Ticari kalite çeliklerin geçirdiği işlemler sonrası analiz değişimleri

Çelik No	İşlem	Kimyasal Analizler (%), (C ve N ppm)							
		C	Mn	P	S	Si	Al	Ti	N
1	BÇÜP	380	0,15	0,009	0,009	0,008	0,032	-	28
	VMP	306	0,17	0,005	0,008	0,007	0,048	-	34
	SDP	352	0,17	0,005	0,008	0,006	0,042	-	43
2	BÇÜP	308	0,08	0,005	0,015	0,012	0,073	-	27
	VMP	252	0,10	0,008	0,011	0,008	0,186	-	40
	SDP	304	0,16	0,005	0,014	0,005	0,030	-	49
3	BÇÜP	432	0,11	0,006	0,006	0,007	0,066	-	28
	VMP	320	0,20	0,006	0,005	0,005	0,050	-	52
	SDP	400	0,21	0,006	0,006	0,008	0,047	-	50

Çizelge 4.8 Çekme kalite çeliklerin geçirdiği işlemler sonrası analiz değişimleri

Çelik No	İşlem	Kimyasal Analizler (%), (C ve N ppm)							
		C	Mn	P	S	Si	Al	Ti	N
4	BÇÜP	384	0,10	0,005	0,005	0,001	0,029	-	27
	VMP	271	0,15	0,006	0,005	0,003	0,044	-	34
	SDP	260	0,16	0,006	0,005	0,005	0,036	-	35
5	BÇÜP	228	0,14	0,006	0,009	0,001	0,119	-	22
	VMP	341	0,15	0,005	0,008	0,008	0,036	-	45
	SDP	382	0,15	0,006	0,007	0,012	0,032	-	48
6	BÇÜP	287	0,10	0,005	0,006	0,001	0,111	-	27
	VMP	214	0,09	0,005	0,005	0,006	0,060	-	30
	SDP	298	0,12	0,005	0,005	0,007	0,044	-	33

Çizelge 4.9 Derin Çekme kalite çeliklerin geçirdiği işlemler sonrası analiz değişimleri

Çelik No	İşlem	Kimyasal Analizler (%), (C ve N ppm)							
		C	Mn	P	S	Si	Al	Ti	N
7	BÇÜP	296	0,12	0,007	0,009	0,001	0,192	-	23
	VMP	29	0,14	0,005	0,009	0,003	0,068	0,065	28
	SDP	35	0,14	0,005	0,009	0,006	0,050	0,066	29
8	BÇÜP	358	0,14	0,007	0,007	0,002	0,070	-	26
	VMP	38	0,17	0,007	0,006	0,003	0,054	0,076	38
	SDP	39	0,17	0,007	0,007	0,005	0,038	0,065	39
9	BÇÜP	391	0,14	0,007	0,007	0,003	0,387	-	22
	VMP	32	0,13	0,007	0,005	0,004	0,046	0,076	35
	SDP	40	0,14	0,007	0,005	0,009	0,033	0,062	37

Çizelge 4.10 Ekstra Derin Çekme kalite çeliklerin geçirdiği işlemler sonrası analiz değişimleri

Çelik No	İşlem	Kimyasal Analizler (%), (C ve N ppm)							
		C	Mn	P	S	Si	Al	Ti	N
10	BÇÜP	326	0,12	0,009	0,008	0,004	0,000	-	29
	VMP	18	0,13	0,007	0,005	0,003	0,063	0,078	40
	SDP	21	0,13	0,007	0,005	0,005	0,043	0,067	35
11	BÇÜP	347	0,29	0,009	0,017	0,001	0,100	-	21
	VMP	20	0,14	0,006	0,007	0,005	0,048	0,070	38
	SDP	25	0,14	0,006	0,008	0,008	0,036	0,063	39
12	BÇÜP	457	0,21	0,010	0,007	0,001	0,087	-	27
	VMP	26	0,10	0,008	0,006	0,009	0,054	0,066	37
	SDP	27	0,11	0,007	0,005	0,011	0,036	0,058	39

4.2 Karbon, Azot ve Titanyum Miktarlarının Çelik Mekanik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi

Karbon ve azot elementleri çelik mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle karbon ve azot elementleri çelik içerisinde çok düşük seviyelerde tutulmaktadır. Ti alaşımı ise, çelik mekanik özelliklerinde olumlu yönde iyileştirme sağlamaktadır. Karbon, azot elementleri ile Ti alaşımının çelikler üzerindeki etkisini incelemek amacıyla RD-KTB vakum metalurjisi yöntemiyle üretilmiş Ti alaşımlı çok düşük karbonlu ekstra derin çekme kalite çelikler üzerinde çalışılmıştır. Çalışmalar, bu çeliklerden üretilen slabların sıcak-soğuk haddeleme işlemleri sonrası sürekli tavlama hattında tavllanmış malzemelerin karbon, azot ve Ti miktarlarının çelik mekanik özelliklerine etkisini göstermektedir.

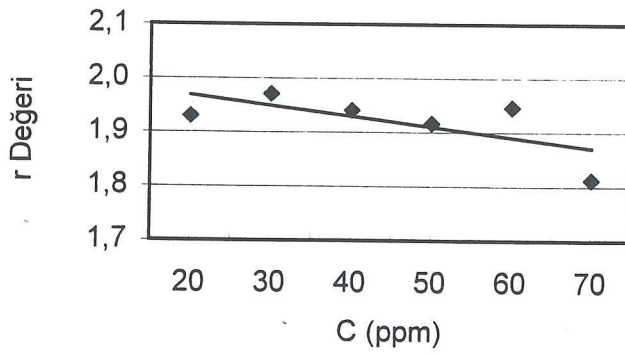
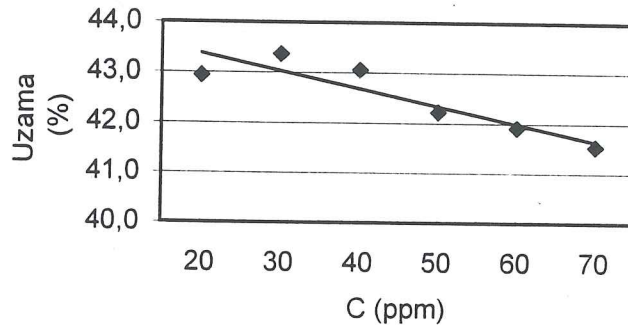
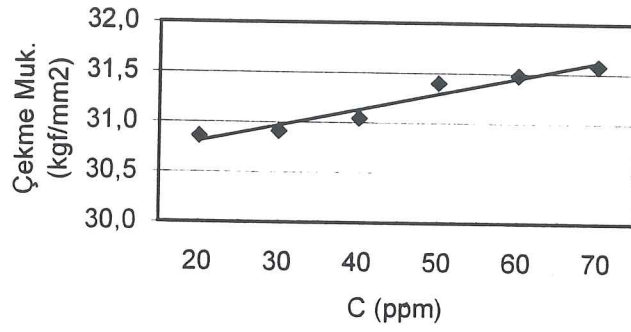
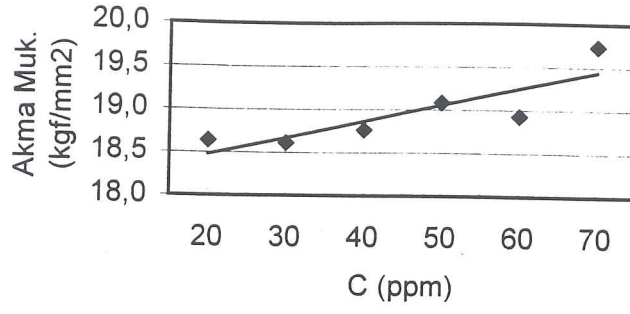
Çalışmada sürekli tavlama hattında 800 °C sıcaklığın üstünde tavllanmış ve RD-KTB vakum metalurjisi prosesi ile üretilmiş 3276 adet malzeme kullanılmıştır. Şekil.4.2' de çelik karbon miktarının çelik mekanik özellikleri arasındaki ilişki görülmektedir. Şekle göre karbon miktarı arttıkça akma ve çekme mukavemeti artmakta, fakat uzama ve r değerinin azaldığı görülmektedir. Çok düşük karbonlu çelikler yüksek şekillendirme özelliğine sahip çelikler olduklarından şekilden bu özellikleri sağlayabilmek için çeliklerin çok düşük karbon miktarlarında üretilmesi gerektiği anlaşılmaktadır. Çünkü şekilde de görüleceği gibi r şekillendirme katsayısının karbon miktarıyla ters orantılı olarak karbon miktarı arttıkça azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.3' te de çelik azot miktarının çelik mekanik özellikleri ile arasındaki ilişki görülmektedir. Şekilden de görüleceği gibi azot miktarı arttıkça akma ve çekme mukavemetinin arttığı, fakat uzama ve r değerinin azaldığı görülmektedir. Dolayısıyla azot çelik mekanik özellikleri üzerinde olumsuz etki göstermektedir.

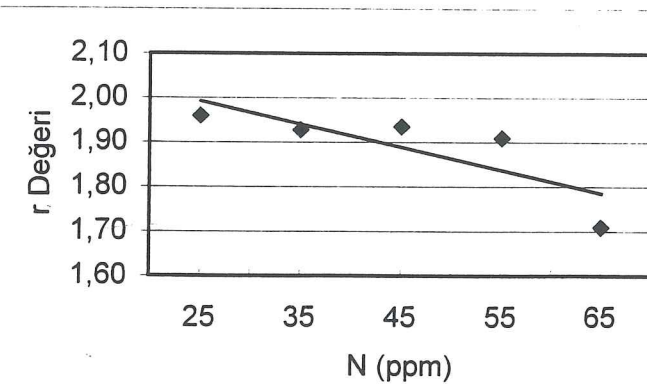
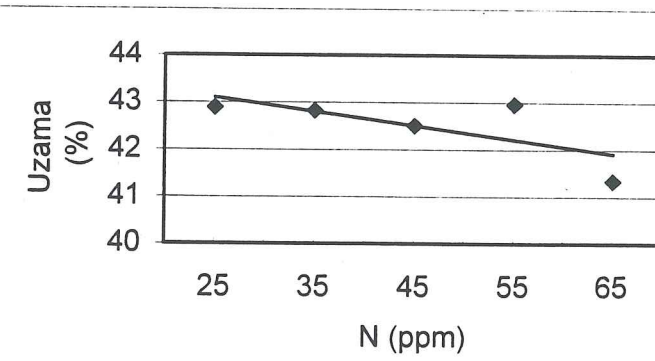
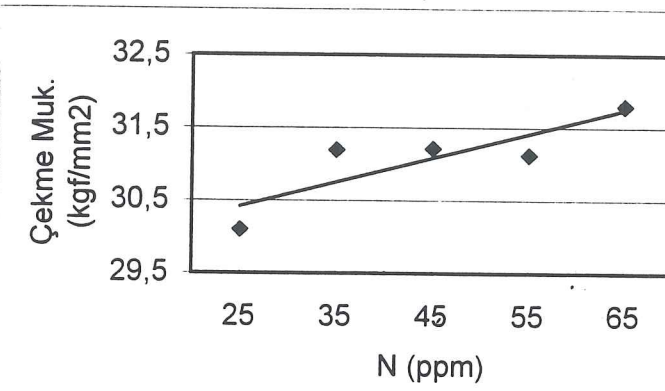
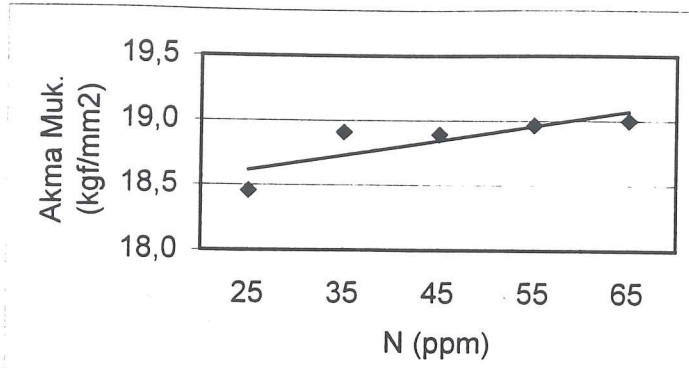
Şekil 4.2 ve 4.3' ten anlaşıldığı gibi yüksek şekillendirme ihtiyacının gereksinim olduğu yerlerde kullanılacak çeliklerin karbon ve azot miktarlarının çok düşük seviyelerde olması gerektiği anlaşılmaktadır.

Çeliklerde düşük karbon ve azotun yanısıra, çelik mekanik özellikleri ve şekillendirilebilirlik üzerinde olumlu etki gösteren Ti alaşımı da göz önünde tutulmalıdır. Ti alaşımının karbon ve azotun tam tersine çelik mekanik özelliklerinde özellikle şekillendirilebilirlik üzerinde etkisi büyüktür.

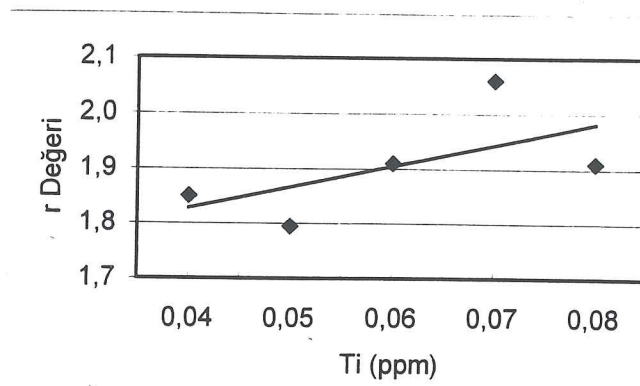
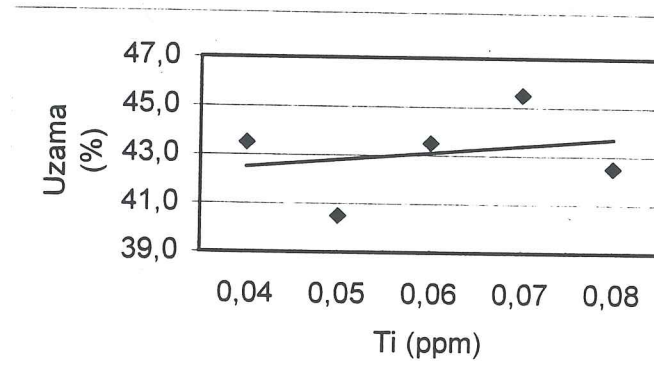
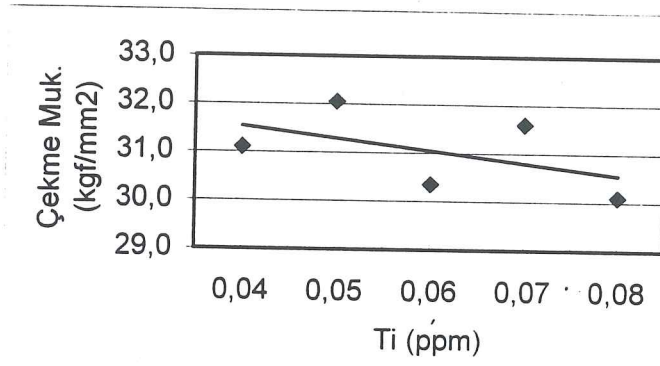
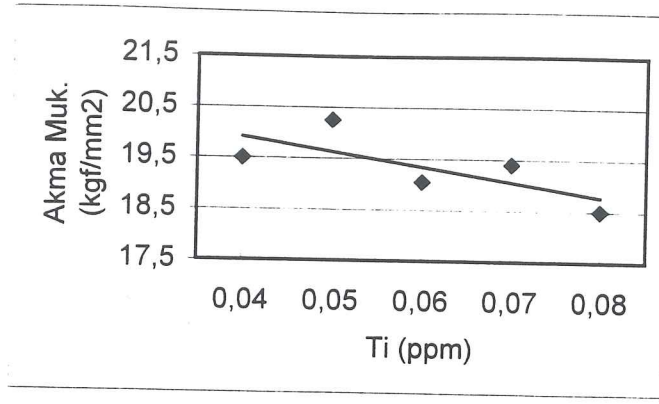
Şekil 4.4' te de görüleceği gibi çelikteki Ti miktarının çelik mekanik özelliklerine etkisi



Şekil 4.2 Karbon miktarının çelik mekanik özelliklerine etkisi



Şekil 4.3 Azot miktarının çelik mekanik özelliklerine etkisi



Şekil 4.4 Ti alaşım miktarının çelik mekanik özelliklerine etkisi

incelendiğinde, artan Ti miktarıyla birlikte akma ve çekme mukavemeti azalmakta, uzama ve r değeri artmaktadır. Çünkü Ti alaşımı karbon ve azotun çelik yapısı içerisinde çökmesini ve dolayısıyla şekillendirilebilirliği azaltmasına, yapıda TiC, TiN ve TiCN oluşturarak engel olmaktadır. Bu da çeliklerde mekanik özelliklerde iyileşme ile birlikte yüksek şekillendirme özelliği kazandırmaktadır.

Yapılan çalışmalardan da görüldüğü gibi, çelik mekanik özelliklerinin karbon, azot ve Ti alaşım miktarlarına bağlı olarak değişim gösterdiği, şekillendirilebilirliğin yüksek olması açısından karbon ve azot miktarlarının çok düşük olması gerektiği anlaşılmaktadır. Bu kadar çok düşük karbon ve azot içeren çeliklerinde yapılan inceleme ve çalışmalarda bugün ancak vakum metalurjisi yoluyla üretilbildiği görülmektedir.

5. SONUÇ

Soğuk haddelenmiş çelikler yüksek şekillenebilirlik ve yaşlanmaya karşı direnç gösterecek şekilde mekanik özelliklere sahip uygulamalarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Son yıllarda özellikle çelik üreticileri daha iyi şekillenebilme özelliğine sahip olmasından dolayı IF çeliklerini tercih etmektedir. Bu tip çeliklerin üretimi için çok düşük karbon ve azot miktarları gerekmektedir. Çok düşük karbon ve azot değerlerine sahip bu çelikler Al ile deokside edilmiş çeliklere nazaran daha karmaşık şekilli parçaların üretilmesinde daha az hurda kaybı ile çalışılmasını sağlamaktadır.

Bugün, gerek çelik üretim proseslerinde yapılan optimizasyonlar gerekse vakum proseslerinde yapılan teknolojik gelişmeler sayesinde çok düşük miktarlarda karbon, azot ve Ti alaşımına sahip IF çeliklerinin üretimi ve gelişimi giderek artmaktadır.

IF çelikleri bu özellikleri yanında, haddeleme ve sürekli tavlama proseslerinde yapılan iyileştirme çalışmaları sonucu, yüksek şekillendirilebilirlik kabiliyetinden dolayı hem otomobil parçalarında hem de karmaşık şekilli parçaların üretilmesinde son yıllarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Yapılan çalışmalar sonucunda, bugün otomotiv sanayi ve beyaz eşya sektöründe kullanılacak, yüksek şekillendirilebilir özelliklerine sahip, çok düşük karbon ve azot miktarlarına sahip çeliklerin üretiminin ancak vakum metalurjisi yoluyla gerçekleştirilebildiği görülmüştür. Vakum metalurjisi ile üretilen çeliklerin, karbon miktarının ve istenmeyen elementlerin çok düşük seviyelerde olduğu, böylece çelik temizliğinin mükemmel bir şekilde sağlandığı görülmüştür. Ayrıca, vakum metalurjisi yolu ile üretilen çeliklerde ki karbon, azot ve titanyum miktarının çelik mekanik özelliklerine etkileri incelendiğinde, karbon ve azot miktarlarının azalmasıyla ve titanyum alaşımının çeliğe ilave edilmesiyle mekanik özelliklerde iyileşme ile birlikte yüksek şekillendirilebilirlik elde edildiği görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Asfahant R. ve Tither G., (1990) "Production of Low Carbon Steels by Improved RH Technology at Thyssen Stahl AG", International Symposium on Low-Carbon Steels, Germany, 37-42.
- Barradell D.V., Dawsin P. ve Blake R.I., (1998), "Design and Application of a Recirculating Degasser with a Kawasaki Top Blowing Oxygen Lance", I&SM, 7: 29-34
- Blickwede D.J., (1968), "Sheet Steel-Micro Metallurgy by The Millions", Transactions, ASM, 61: 653-679.
- Bramfitt B.L. ve Mangonon P.C., (1982), "Metallurgy of Continuous-Annealed Sheet Steel, TMS-AIME, Warrendale, P.A.
- Bruckmann G., Choudhury A., Dietrich W. ve Schlebusch D., (1989), "Vacuum Metallurgy and Its Potential- a General Overview of Secondary Metallurgy Systems", Metallurgical Plant and Technology, 2: 8-30.
- Cramb A.W., (1990), "Steelmaking and Casting Practices for High Quality Interstitial-Free Steels, in Metallurgy of Vacuum-Degassed Steel Products", R. Pradhan, ed., TMS, Warrendale, PA, 3-27.
- Çapar Ş., (1998), "İkincil Metalurji ve Erdemir' deki İkincil Metalurji Uygulamaları", Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları.
- Ding R., Blandpain B., Jones P.T. ve Wollants P., (2000), "Modelling of The Vacuum Oxygen Decarburization Refining Process", Metallurgical and Materials Transaction B, 31B, 2: 197-206.
- Freuhan R.J., (1990), "Vacuum Degassing of Steel", The Iron and Steel Society, Pittsburgh PA, 381-387.
- Fruehan R.J., (1998) "Fundamentals of Iron and Steelmaking", The AISE Steel Foundation, Pittsburgh, PA.
- Fukuda N. ve Shimizu M., (1972), Journal of Japan Society for Technical of Plast, 13: 841.
- Goodman S.R., Mould P.R. ve Siple J.C., (1970) "Effects of Composition and Processing on The Recrystallization Behaviour and Tensile Properties of Continuous Annealed Titanium-Containing Interstitial Free Steel Sheet, 167-184.
- Göl İ., Çapar Ş., Eichert T. ve Kubbe A., (1999), "Erdemir's Recirculation Degasser with KTB Process", MPT International, 2: 54-65.
- Hook R.E., Heckler A.J. ve Elias J.A., (1975), Metallurgical and Materials Transaction A, 6A: 1683-1692.
- Hu H. ve Goodman S.R., (1970), Metallurgical and Materials Transaction, 1: 3057.
- Jhonson G., Gregory C., Schrade C. ve Brien D., (1998), "Modernization of The 280t Vacuum Plant at BHP, Port Kembla", MPT International, 1: 52-56.
- Kawasaki Steel, (1990), "KTB System for Vacuum Degassers", Engineering and Conctruction Division, Kawasaki Steel Corporation.
- Leslie C. W., (1991), "The Physical Metallurgy of Steels", Mc Graw-Hill Book Co., Virginia.

- McManus G.J., (1991), "Ladle Degassing Causes a Stir", *Iron AGE*, 8: 25-28.
- Mike Y., Shimada Y., Denissin A. ve Thomas B., (1997), "Model of Inclusion Removal During RH Degassing of Steel", *I&SM*, 8: 31-38.
- Nippon Steel, (1995) "Fundamental Properties of Steel", Cold Rolled Sheet Steel, Japan International Cooperation Agency, Nippon Steel Cooperation.
- NKK, (1995a), Technical Information. On NKK-CAL Process, Vol.1, Metallurgical information, NKK Cooperation.
- NKK, (1995b), Technical Information. On NKK-CAL Process, Vol.2, Metallurgical information, NKK Cooperation.
- Ohashi N., Irie T., Satoh S., Hashimoto O. ve Takahashi I., (1981), "Development of Cold Rolled High Strength Steel Sheet with Excellent Deep Drawability", SAE paper no. 810027.
- Orehoski M.A. ve Gray R.D., (1986), "Ladle Refining Processes", *Iron and Steel Engineer*, 1: 40-52.
- Pradhan R., (1990), "Metallurgy of Vacuum-Degassed Steel Products", *Minerals, Metals and Materials Society, Pennsylvania*, 1-18, 43-72, 91-106.
- Preblinger H., Jandl K., Rathner R. ve Jungreithmeier A., (1992), "The RH Process VOEST-ALPINE Stahl Linz GmbH-Optimisation of Refractory Materials and New Metallurgical Findings", *Sonderdruck AUS, Radex-Rundschau*, 4: 171-192.
- Satoh S., Obara T., Nishida M. ve Irie T., (1985), "Effects of Alloying Elements and Hot Rolling Conditions on The Mechanical Properties of Continuous Annealed Extra Low Carbon Steel Sheet", 151-166, *Technology of continuously annealed cold rolled sheet steel*, R. Pradhan, ed., TMS-AIME, Warrendale, P.A.
- Satoh S., Obara T., Takasaki J., Yasuda A. ve Mishida M., (1985), "A New Process for Manufacturing Deep Drawing Cold Rolled Steel Sheets from Extra Low Carbon Steels", *Kawasaki Steel Technical Report*, 12: 36-44.
- Stolte G. ve Puluermacher W., (1988), "Production of High Quality Steel by Secondary Steelmaking", *STEEL&METALS Magazine*, 26, 4: 292-297.
- Stolte G. ve Teworte R., (1990), "Economical Aspects of Secondary Steelmaking and its Automation", 2-23, *Paper Prepared for Metallurgy Congress and Exhibition*, 31 Ekim-4 Kasım 1990, Ankara/Turkey.
- Stolte G. ve Teworte R., (1994), "Degassing and Ladle Treatment: Keystones of Secondary Metallurgy", *Steel Times International*, 9: 32-34.
- Takahashi N., Takechi H. ve Shimizu M., (1971), "Reprint of The 69th Meeting", *Japan Inst. Metals*, 104.
- Takechi, H., (1971), *Journal of Japan Society for Technical of Plast.*, 12: 85.
- Tokunaga Y. ve Yamada M., (1987) "Method for The Production of Cold Rolled Steel Sheet Having Higher Deep Drawability", *U.S. patent*, 4: 326,524.
- Tokunaga Y., Yamada M. ve Ito K., (1987), "Effect of Combined Addition of Nb and Ti on The Mechanical Properties of Extra Low Carbon Steel Sheet", *Tetsu-to-Hagane*, 73, 2: 109-116.

Yano M., Kimatamura S., Azuma K., Ishiwata N. ve Obana Y, (1994), "Improved of RH Refining Technology for The Production of Ultra-Low Carbon and Nitrogen Steel", Steelmaking Conference Proceedings, 117-120.

Zahs G. ve Stolte G., (1987), "Vacmetal's Batch Type Degasser", Fachberichte Hüttenpraxis Metallweiterverarbeitung, 25, 4: 294-299.