

**SÜREKLİ TAVLAMA PROSESİ İLE TAVLANACAK
DERİN ÇEKME ÇELİK KALİTELERİN SICAK HADDELEME
PROSES PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU**

100729

**TC YÜKSEK ÖĞRETİM
BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
DOKÜMANLAMA BÖLÜMÜ**

**DOKTORA TEZİ
Y. Müh. Gökhan ERDEM
0692D022**

100729

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Ocak 1999
Tezin Savunulduğu Tarih : 24 Mayıs 1999**

Tez Danışmanı :

Prof.Dr. Yılmaz TAPTIK

Diğer Jüri Üyeleri

Prof.Dr. Mehmet KOZ (M.Ü.)

Prof.Dr. Müzeyyen MARŞOĞLU (Y.T.Ü.)

Prof.Dr. E. Sabri KAYALI (İ.T.Ü.)

Prof.Dr. Lütfi ÖVEÇOĞLU (İ.T.Ü.)

MAYIS 1999

ÖNSÖZ

Sürekli tavlama prosesi ile tavlancak derin çekme çelik kalitelerinin sıcak haddeme proses parametrelerinin optimizasyonu konusunda bana çalışma fırsatı veren, tez çalışmam sırasında beni teşvik eden ve fikirleri ile yönlendiren hocam sayın Prof Dr. Yılmaz Taptık'a teşekkürü bir borç bilirim. Gerek yapılan deneyler, gerek literatür temini açısından desteğini esirgemeyen Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş.'ye, NKK-Japan Firmasından Deputy General Manager Ryoji Shimizu ile Assistant Manager Koji Omori'ye ve ABD Colorado School of Mines (CSM)'dan hocam sayın Prof Dr. C. J. Van Tyen'a içten teşekkür ederim. Ayrıca hayatım boyunca beni sabırla hep destekleyen ve bu günlere getiren aileme de sonsuz minnet duygularımı sunarım.

OCAK, 1999

Gökhan ERDEM

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÖZET	ix
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ	1
1. 1. Amaç ve Kısıtlar	3
1. 2. Çözüm Yaklaşımı	3
1. 3. Proses Optimizasyonu	4
2. LİTERATÜR İNCELEMESİ	6
2. 1. Sürekli Tavlama Prosesinin Tarihçesi	6
2. 2. Sürekli Tavlama Prosesinin Teknolojisi ve Prensipleri	10
2. 3. Sürekli Tavlama Prosesinin Avantajları ve Dezavantajları	14
3. SÜREKLİ TAVLAMA PROSESİ İÇİN TEMEL ÖZELLİKLER	18
3. 1. Sürekli Tavlama Prosesi ile Üretilecek Derin Çekme Çelik Kaliteleri	18
3. 2. Kimyasal Bileşim ve Çelik Üretimi	20
3. 3. Sıcak Haddeleme İşlemi	30
3. 3. 1. Mikro Yapı	38
3. 2. 2. Mekanik Özellikler	43
4. SÜREKLİ TAVLAMA PROSESİ İLE TAVLANACAK DERİN ÇEKME KALİTE ÇELİKLERİN SICAK HADDELEME PROSES PARAMETRELERİNİN SAPTANMASI	48
4. 1. Slab Isıtma Sıcaklığı	50
4. 2. İkmal Sıcaklığı	51
4. 3. Sarılma Sıcaklığı	55

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	62
5. 1. Sıcak Haddehanenin Özellikleri ve yerleşimi	63
5. 2. Deneyler	75
5. 2. 1. Numuneler	75
5. 2. 2. Araştırma Yöntemleri	76
5. 3. Deneylerin Sonuçları	81
5. 3. 1. Mikro Yapı İncelemesi	81
5. 3. 2. Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi	103
5. 3. 3. Yüzey Kalitesi ve Boyut	113
6. SONUÇLAR	117
6. 1. Özet	117
6. 2. Genel Sonuçlar	117
6. 3. Tezin Bilime Olan Katkısı	120
6. 4. Gelecekteki Araştırmalar için Yönlendirmeler	121
KAYNAKLAR	122
ÖZGEÇMİŞ	125

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Genel Anlamda Soğuk Haddelenmiş Çelik Sac Üretim Kademelerinin Malzeme Özelliklerine Etkisi	11
Tablo 3.1. Sürekli Tavlama Prosesi ile Üretilen Bazı Çeliklerin Kimyasal Bileşimi	22
Tablo 4.1. Sürekli Tavlama Prosesine Uygun Çeliklerin Isıtma ve Sıcaklık Durumları	50
Tablo 4.2. Çeşitli Kalitelerdeki İkmal ve Sarılma Sıcaklıkları	57
Tablo 5.1. Deneylerde Kullanılan Çeliklerin Kimyasal Bileşimleri	75
Tablo 5.2. Deney Koşulları ve Numune Yerleri	79

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 : Sıcak Haddeme Proses Optimizasyon Parameteleri	5
Şekil 2.1 : Sürekli Tavlama Prosesi İle Klasik Kutu Tavlama Prosesi Akım Şeması.....	7
Şekil 2.2 : Sürekli Tavlama İşlemi Kademeleri	13
Şekil 2.3 : Düşük Karbonlu Derin Çekme Çelik Kalitesinin Sürekli Tavlama Proses Akım Şeması	14
Şekil 2.4 : Sürekli Tavlama Prosesinin Klasik Kutu Tavlama Prosesine Göre Avantajları	17
Şekil 3.1 : Karbon Miktarının Mekanik Özelliklere Etkisi	23
Şekil 3.2 : Mangan Miktarının Mekanik Özelliklere Etkisi	24
Şekil 3.3 : Alüminyum Miktarının Mekanik Özelliklere Etkisi	25
Şekil 3.4 : Azot Miktarının Mekanik Özelliklere Etkisi	27
Şekil 3.5 : Sıvı Metalden Slab Üretim Proses Akım Şeması	28
Şekil 3.6 : Nihai Ürün Genel Akış Şeması	31
Şekil 3.7 : Yüksek Kapasiteli Bir Sıcak Haddenin Yerleşimi	33
Şekil 3.8 : Yürüyen Tip Slab Isıtma Fırınının Genel Görünüşü	34
Şekil 3.9 : Tufal Yapısı	35
Şekil 3.10 : Ezme Sonucu Oluşan Tane Yapısı ve Yeniden Kristalleşme	36
Şekil 3.11 : Fe-Fe ₃ C Denge Diyagramı	38
Şekil 3.12 : Al ile Deokside Edilmiş Çeliklerde İkmal ve Sarılma Sıcaklığının Tane Boyutuna Etkisi	39
Şekil 3.13 : a) İri Tane Yapısı (100X) b) Deforme Olmuş Tane Yapısı (100X)	40
Şekil 3.14 : a) İri parçalar Halinde Sementit (500X) b) Küçük Parçalar Halinde Sementit (500X)	41
Şekil 3.15 : İkmal Sıcaklığının Mekanik Özelliklere Etkisi	44
Şekil 3.16 : Sarılma Sıcaklığının Mekanik Özelliklere Etkisi	45
Şekil 3.17 : Düşük İkmal Sıcaklığının Sarılma Sıcaklığının Mekanik Özelliklere Etkisi	46
Şekil 3.18 : %0.016 C - %0.62 Mn'lı Bir Çeliğin İkmal ve Sarılma Sıcaklığına Göre Akma ve Çekme Mukavemet Eğrileri	47
Şekil 4.1 : Sıcak Haddeme Prosesi için Neden ve Sonuç Diyagramı	49
Şekil 4.2 : İkmal Sıcaklığının Mikro Yapıya Olan Etkisi (100X)	53
Şekil 4.3 : a) Bobin Kutusu Olmayan Elde Edilen Mikro Yapı (100X) b) Bobin Kutusu Kullanımı Sonucu Elde Edilen Mikro Yapı (100X).....	54
Şekil 4.4 : Sıcak Haddelenmiş Üründeki Sarılma Sıcaklığının Mikro Yapıya Olan Etkisi	56

Şekil 4.5	: Sıcak Üründe Hedef Mikro Yapı	58
	a) Tane Yapısı (ASTM No.9) (100X)	
	b) Karbür Yapısı (Karbür İndeks No.9) (500X)	
Şekil 4.6	: CAL Çeliklerinde Soğutma Eğrisi ve Mikro Yapı.....	59
Şekil 4.7	: NKK-Fukuyama Tesislerinde Uygulanan İkmal ve Sarılma Sıcaklıkları	61
Şekil 5.1	: Erdemir II.Sıcak Haddehane Yerleşimi	72
Şekil 5.2	: NKK Tesislerindeki Sıcak Haddehane Yerleşimi	73
Şekil 5.3	: Proses Akış Diyagramı	74
Şekil 5.4	: Şematik Deney Prosedürü	77
Şekil 5.5	: Şerit Boyunca Şematik Numune Alma Yerleri	78
Şekil 5.6	: Deney I'e Ait Bobinin Mikro Yapısı	82
	a) Tane Yapısı (100X)	
	b) Karbür Dağılımı (500X)	
Şekil 5.7	: Deney III (D)'ye Ait Bobinin Mikro Yapısı	83
	a) Tane Yapısı (100X)	
	b) Deforme Olmuş Tane Yapısı (100X)	
Şekil 5.8	: Deney II (A)'ye Ait Bobinin Mikro Yapısı	85
	a) Tane Yapısı (100X)	
	b) Karbür Dağılımı (500X)	
Şekil 5.9	: Deney II (B)'ye Ait Bobinin Mikro Yapısı	86
	a) Tane Yapısı (100X)	
	b) Karbür Dağılımı (500X)	
Şekil 5.10	: Deney III (A)'ye Ait Bobinin Mikro Yapısı	88
	a) Tane Yapısı (100X)	
	b) Karbür Dağılımı (500X)	
Şekil 5.11	: Deney III (B)'ye Ait Bobinin Mikro Yapısı	89
	a) Tane Yapısı (100X)	
	b) Karbür Dağılımı (500X)	
Şekil 5.12	: Deney IV (B)'ye Ait Bobinin Mikro Yapısı	91
	a) Tane Yapısı (100X)	
	b) Karbür Dağılımı (500X)	
Şekil 5.13	: İkmal ve Sarılma Sıcaklığının Mikro Yapıya Olan Etkisi	92
Şekil 5.14	: a) CAL Çeliklerinin Hedef Mikro Yapısı	
	b) Deney IV (B)'nin Mikro Yapısı	94
Şekil 5.15	: İkmal ve Sarılma Sıcaklığı ile Tane Boyutu Arasındaki İlişki	96
Şekil 5.16	: İkmal ve Sarılma Sıcaklığı ile Karbür Boyutu Arasındaki İlişki ...	97
Şekil 5.17	: İkmal ve Sarılma Sıcaklığının Tane Boyutu ve Karbür Yapısına Etkisi	99
Şekil 5.18	: Deney II (A,B)'nin Bobin Boyunca Mikro Yapısı	101
Şekil 5.19	: Deney IV (A,B)'nin Bobin Boyunca Mikro Yapısı	102
Şekil 5.20	: a) İkmal Sıcaklığı ile Mekanik Özellikler Arasındaki İlişki	104
	(Deney I,II,III ve IV - orta numuneler)	
Şekil 5.20	: b) Sarılma Sıcaklığı ile Mekanik Özellikler Arasındaki İlişki	105
	(Deney I,II,III ve IV - orta numuneler)	
Şekil 5.21	: a) İkmal Sıcaklığı ile Mekanik Özellikler Arasındaki İlişki	107
	(Deney II, (B)/baş-orta-son numuneler)	

Şekil 5.21	: b) Sarılma Sıcaklığı ile Mekanik Özellikler Arasındaki İlişki	108
	(Deney II, (B)/baş-orta-son numuneler)	
Şekil 5.22	: a) İkmal Sıcaklığı ile Mekanik Özellikler Arasındaki İlişki	110
	(Deney IV, (A) ve (B)/baş-orta-son numuneler)	
Şekil 5.22	: b) Sarılma Sıcaklığı ile Mekanik Özellikler Arasındaki İlişki	111
	(Deney IV, (A) ve (B)/baş-orta-son numuneler)	
Şekil 5.23	: Deney IV (A) ve (B)'de Kullanılan Bobinin Yüzey Kontrolünün Şematik Gösterimi	114
Şekil 5.24	: Kalınlıkların Genişlik Boyunca Dağılımı	116
	a) Deney II (A); 2.80 x 1030 mm	
	b) Deney II (B); 2.80 x 1240 mm	



SÜREKLİ TAVLAMA PROSESİ İLE TAVLANACAK DERİN ÇEKME ÇELİK KALİTELERİN SICAK HADDELEME PROSES PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU

ÖZET

Sürekli tavlama prosesi ile tavlانacak olan düşük karbonlu, Al ile söndürölmüş derin çekme çelik kalitelerinin mikro yapı ve mekanik özelliklerinin öngörölen düzeyde sağlanması sadece sürekli tavlama prosesi ile değil aynı zamanda çelik üretim ve sıcak haddeleme prosesleriyle de belirlenmektedir.

Bu çalışmada, sürekli tavlama prosesine uygun, yüksek şekillenebilme özelliğine sahip olan Al ile söndürölmüş derin çekme çelik kaliteleri sıcak haddeleme işlemine tabi tutulmuşlardır. Sürekli tavlama prosesi ile tavlانacak olan sıcak haddelenmiş ürünün mikro yapı ve mekanik özellikleri belirli çelik bileşimleri göz önüne alınarak incelenmiş ve sıcak haddeleme proses parametreleri özgün olarak belirlenmiştir.

Çalışmanın ilk bölümünde, temel amaç ve kısıtlar belirlenmiş ve ilgili proses parametrelerinin saptanması için geliştirilen çözüm yaklaşımı açıklanmıştır.

İkinci bölümde, sürekli tavlama prosesinin tarihçesi, teknolojisi ve prensipleri açıklanmıştır. Ayrıca, bu çeşit bir prosesin avantajları ve dezavantajları da incelenmiştir.

Üçüncü ve dördüncü bölümde, derin çekme çelik kalitelerinin tavllanması için uygulanan ve sürekli tavlama prosesi için temel özellikler olan kimyasal bileşim, çelik üretim ve sıcak haddeleme işlemleri anlatılmıştır. Bu tip çeliklerde nihai özellikleri etkileyen sıcak haddeleme proses parametreleri detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Beşinci bölümde ise yapılan deneysel çalışmaların proseste öngörölen gelişmeleri ve sonuçları ortaya konmuştur. Burada deneysel çalışmalar mikro yapı,

mekanik ve yüzey kalitesi ile boyut özellikleri açısından ele alınmıştır. Deneyler sırasında karbon aralığı % 0.025-0.050 olan Al ile söndürülmüş derin çekme kalite çelikler kullanılmış ve bu tip çeliklerde sıcak haddeme işleminde, nihai ürünün mikro yapı ve mekanik özelliklerini belirleyen başlıca slab ısıtma sıcaklığı, ikmal sıcaklığı ve sarılma sıcaklığının etkileri saptanmıştır. Ayrıca, deneylerde kullanılan bobinlerde yüzey kalitesi ve boyut dağılımı da incelenmiştir.

Son olarak altıncı bölümde, çalışmanın genel bir özeti yapılmış ve deneylerin sonuçları detaylı olarak irdelenmiştir. Ayrıca yapılan çalışmanın bilimsel açıdan önemi ve gelecekteki araştırmalar için hareket tarzları hakkında bilgiler verilmiştir.

Sonuçta, sürekli tavlama prosesi ile haddelenebilecek Al ile söndürülmüş derin çekme çelik kaliteleri için öngörülen optimum mikro yapı ve mekanik özellikleri sağlayan sıcak haddeme proses parametreleri saptanmış ve optimize edilmiştir.

THE OPTIMIZATION OF HOT ROLLING PROCESS PARAMETERS OF THE DEEP DRAWING STEEL GRADES FOR THE CONTINUOUS ANNEALING LINE

SUMMARY

The determination of desired microstructure and mechanical properties of Al-killed deep drawing steels for continuous annealing line depends not only on the operation conditions in the Continuous Annealing Line (CAL) but also on the prior steelmaking and hot rolling stages.

In this study, Al-killed deep drawing steels with high formability for the CAL are produced in hot rolling mill. The microstructure and mechanical properties of hot rolled product in the certain chemical composition range for the CAL are examined and optimum hot rolling process parameters are developed.

In the first part of the work, the basic purposes and restricts are described and the solution approach for the optimizing of hot rolling process parameters is explained.

In the second part, the history, technology and principles of the CAL are described. In addition, the advantages and disadvantages of this process are examined.

In the third and fourth part, the basic principles such as chemical composition, steelmaking and hot rolling process parameters, which effect the final product quality, of the CAL steels are described in detail.

In the fifth part of this study, the results and stages of experiments are explained. The condition of experiment is examined for the microstructure, mechanical properties, surface quality and dimensions of the coils. The Al-killed deep drawing steels which contain 0.025-0.050 % carbon are used in the experiments

and the effect of slab reheating temperature, finishing temperature and coiling temperature of these steels which influence the microstructure, mechanical properties and surface quality of hot rolled steel are defined. Besides, the surface quality and dimension profile of the coils used in the experiment are examined.

In the sixth part, the study is reviewed and the results of the experiment are discussed in detail. The importance and the future aspects of the work are discussed.

Finally, the hot rolling process parameters providing the optimum microstructure and mechanical properties for deep drawing Al-killed steel for the CAL are determined and optimized.



BÖLÜM 1. GİRİŞ

Genel anlamda soğuk haddelenmiş sacların üretimi, çelik üretiminden başlayarak sıcak haddeleme, soğuk haddeleme ve tavlama işlemlerini içermektedir. Birbirini takip eden bu proseslerin her birinin etkisi hem kendinden sonra gelen prosesi hem de nihai ürünün özelliklerini belirlemesi açısından oldukça önemlidir. İstenilen özellikte soğuk haddelenmiş sac üretimi için her bir prosesin işlem parametrelerinin ve bunların nihai ürün üzerindeki etkilerinin çok iyi bilinmesi gereklidir. Belirli bir kimyasal bileşime sahip çeliğin sıcak haddeleme işlemini takiben yapılan soğuk haddeleme ve tavlama işlemleri, nihai ürünün hem mikro yapı hem de mekanik özelliklerini belirler. Ancak burada önemli olan minimum maliyet ile nihai üründe istenilen özellikleri sağlayacak en uygun sistemi seçmektir.

Soğuk haddelenmiş ürünlerin tavlama sırasında kullanılan en eski metod Yığın Tavlama Prosesidir (Batch Annealing Furnace - BAF). Bu sistemde soğuk haddeleme işleminden sonra bobin halindeki saclar inert atmosfer içeren bir fırın içinde uzun süre tavlamlar. Böylece çelikte meydana gelmiş olan deformasyon sertleşmesi yeniden kristalleşme işlemi ile ortadan kaldırılır. Tavlama süresinin artması şekillenebilme özelliğinin yüksek olmasını sağlar. Son yıllarda klasik yığın tavlama işleminde gerek kullanılan inert atmosfer bileşimi gerekse fırında yapılan bir takım tasarımlar ile yüksek kalitede soğuk sac üretimi mümkün olmuştur.

Özellikle son yıllarda hızlı gelişen otomobil endüstrisine ve beyaz eşyaya yönelik derin çekilebilir çelik saclara olan talepler, demir çelik sektöründe de yeni teknolojileri beraberinde getirmiştir. Bu teknolojilerden biri soğuk sacların tavlama sırasında kullanılan Sürekli Tavlama Hattı (Continuous Annealing Line - CAL)'dır. Bu proses, uzun süreli laboratuvar ve pilot çaplı araştırma çalışmalarının bir ürünü olarak ortaya çıkmıştır. Sürekli tavlama prosesinin uygulamaya geçmesiyle beraber otomobil sanayinin talep ettiği yüksek kaliteli çeliklerin üretimi gerçekleşmiştir.

Sürekli tavlama prosesi, ilk olarak daldırma tip galvanizleme ve teneke sacı üretiminde kullanılmıştır. Ancak, üretilen mamullerin şekillenebilme ve süneklik özellikleri çok düşük olmuştur. Çelik üretim teknolojisinin gelişimiyle beraber çok düşük karbon ve azot seviyelerine ekonomik olarak inilebilmesi, uygun sıcak ve soğuk haddeleme pratiklerinin oluşturulması sürekli tavlama hatlarında yüksek şekillenebilme özelliğine sahip soğuk ürünlerin üretilebilmesini sağlamıştır.

Sürekli tavlama prosesinde tavlancak olan çeliklerin üretiminde sürekli tavlama aşamasında önceki proses kademelerinin önemi çok büyüktür. Bu nedenle başlangıç malzemesinin özelliklerini belirleyen örneğin kimyasal bileşim ile birlikte çelik üretim prosesi, sıcak haddeleme ve soğuk haddeleme gibi daha önceki proses parametrelerini göz önüne almak gerekir. Optimum mikro yapı ve soğuk hadde yapısının elde edilebilmesi ve sonuçta da iyi bir şekillenebilme özelliği için, üretim kademelerindeki her bir proses parametresinin çok iyi bir şekilde ayarlanması gerekmektedir.

Yığın tavlama prosesinden farklı olarak, sürekli tavlama prosesi uzun süreli ısıtma ve bekletme süresini içermediğinden, bu proses ile tavlancak olan çeliklerin kimyasal bileşimlerinin çok dar aralıklar içinde ve empürite elementlerin minimum seviyede olması gerekmektedir. Kimyasal bileşim, nihai ürünün mekanik özelliklerini etkilediği gibi sıcak haddeleme işlemi için de başlangıç noktası olmaktadır.

Özellikle nihai üründe istenilen mikro yapı ve mekanik özelliklerin öngörülen düzeyde sağlanmasında sıcak haddeleme işleminin etkisi çok büyüktür. Sürekli tavlama prosesinde derin çekme kalite çeliklerin üretilebilmesi için mikro yapıda uygun tane boyutu ve karbür yapısının elde edilmesi ve bu özellikleri sağlayan proses parametrelerinin her bir tesise özgün olarak oluşturulması gerekmektedir. Sıcak haddeleme işleminde bu durumu etkileyen başlıca parametreler slab ısıtma sıcaklığı, haddeleme işleminin bittiği sıcaklık (ikmal sıcaklığı) ve sarılma sıcaklığıdır. Bu çeşit sıcak haddeleme işlemi sonucu elde edilen malzemeye uygulanan sürekli tavlama prosesi ile nihai ürünlerin kalitelerinde klasik yığın tavlama prosesine göre çok belirgin bir artış olmuştur. İstenilen mikro yapının oluşturulmasının yanında bobin boyu ve genişliği boyunca da homojen mekanik özellikler elde edilmiştir.

Bu çalışmada, sürekli tavlama prosesinde tavlancak olan yüksek şekillenebilme özelliğine sahip derin çekme çelik kalitelerinin özelliklerini belirleyen kimyasal bileşim ve sıcak haddeleme proses parametrelerinin etkileri ve daha sonrada bu tip çelikleri üretmek için gerekli olan optimum sıcak haddeleme proses parametreleri saptanmış ve optimize edilmiştir.

1.1. Amaç ve Kısıtlar

Sürekli tavlama prosesi için gerekli olan sıcak haddeleme proses parametrelerini oluşturmada bir takım zorluklar ve kısıtlar vardır. Özellikle sürekli tavlama prosesinde tavlancak olan derin çekme çelik kalitelerin sıcak haddeleme işlemindeki ikmal ve sarılma sıcaklıklarının klasik tavlama prosesine kıyasla daha yüksek olması, malzemede anormal tane büyümesine neden olmakta ve sonuçta yüzey kusurları oluşmaktadır. Bu proseste, bobinlerin baş ve sonlarında oluşan sıcaklık kayıpları bu bölgelerdeki mekanik özelliklerin bobinlerin ortasına oranla daha kötü olmasına neden olmaktadır. Aynı şekilde mikro yapıda homojen tane yapısının elde edilmesi için haddeleme işleminden sonra duşlu masalarda uygun soğutma hızı kullanılmalıdır. Sıcak haddeleme işlemi sırasında yüksek ikmal ve sarılma sıcaklığı gerektiğinden slabların slab ısıtma fırınında yüksek sıcaklıkta ısıtılması gerekmekte ve şerit haddeye gelene kadar sıcaklık kayıplarının minimum seviyeye indirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle şerit hadde öncesi ya bobin kutusu (coil box) ya da kenar ısıtma sistemleri kullanılmalıdır [1].

1.2. Çözüm Yaklaşımı

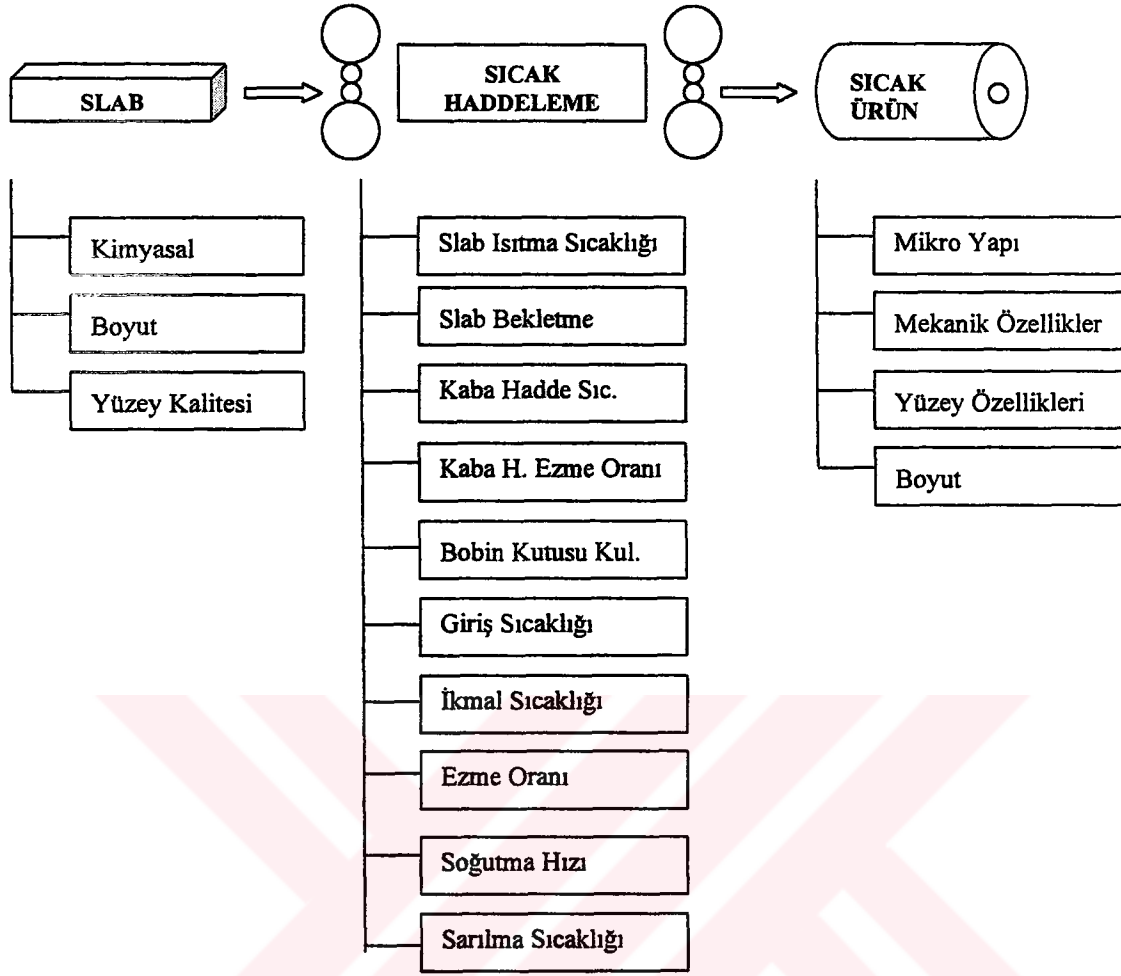
Bu çalışmada, sürekli tavlama prosesi ile tavlancak derin çekme çelik kalitelerin sıcak haddeleme proses parametrelerini belirlemek ve optimize etmek için gerekli çalışma ortamı oluşturulmuştur. Bu yöntemle derin çekme çelik kalitelerinin üretimi ilk aşamada kimyasal bileşimi standartta verilen çeliğin slablar halinde sürekli döküm makinalarında üretilmesidir. Söz konusu bu slablar sıcak haddeleme işlemi için belirli bir sıcaklığa kadar slab ısıtma fırınlarında ısıtılıp sonrada homojen bir sıcaklık dağılımı için belirli bir süre bekletilirler.

Daha sonra slablar; slab ısıtma, ikmal ve sarılma sıcaklıkları ile bobin kutusunun etkisinin ortaya konabilmesi amacıyla diğer proses parametrelerinin klasik yığın tavlama prosesi ile aynı kalmak şartıyla (Şekil 1.1) değişik soğutma paternlerinde denenerek bobin halinde sarılırlar. Bu işlemler sonucunda her bobinden belirli metrelerde numuneler alınarak mikro yapı incelemesi ve mekanik testler yapılmıştır. Ayrıca bobinin yüzey kalitesi ve boyutu (yüzey kusurları ile kalınlık ve genişliğinin belirlenmesi gibi) incelenir. Eğer mikro yapı incelemesi ve testler sonucu değerler uygun ve yüzey kalitesinde de herhangi bir problem yoksa sonuçlar bu durumu kanıtlayacak şekilde ortaya konmak durumundadır. Aksi takdirde başa dönülerek işlemler yeniden tekrarlanır.

Test sonuçlarının irdelenmesi sonucu hem mikro yapı hem de mekanik test sonuçlarının kabul edilebilir değerler içinde olması durumuna göre bobinin yüzey durumu incelenmiş ve optimum sıcak haddehane proses parametreleri ile mikro yapı ve mekanik test değerlerinin (akma mukavemeti, çekme mukavemeti, % uzama) ilişkileri ortaya konmuştur. Böylece bu bilgilerin ışığı altında proses daha iyi bir şekilde ortaya konarak optimum üretim şartları oluşturulmuş ve ileriye dönük olarak da sistemin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

1.3. Proses Optimizasyonu

Bu çalışmada, sürekli tavlama prosesi ile tavlancak olan derin çekilebilir çeliklerin sıcak haddeleme proses parametrelerinin belirlenmesi ve optimize edilmesi için öncelikle temel prensipler ortaya konulmuştur. Sıcak haddeleme işlemindeki temel girdi ve çıktılar ile prosese etki eden parametreler, Şekil 1.1'deki diyagramda gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi sistemde temel olarak üç eleman vardır. Bunlar, slab malzemesi, sıcak haddeleme prosesi, ve sıcak üründür. Temel girdi malzemesi olan slabın başlıca özellikleri kimyasal bileşim, yüzey kalitesi ve boyut ile ilgili parametrelerdir. Bu temel özellikler, sıcak haddeleme işlemindeki slab ısıtma sıcaklığı ve süresi, bobin kutusu kullanımı, şerit hadde giriş sıcaklığı, ikmal sıcaklığı, ezme oranı, sarılma sıcaklığı ve soğutma hızı gibi proses parametreleri ile etkileşim sonucu sıcak ürünün mikro yapısı, mekanik özellikleri, yüzey kalitesi ve boyutunun belirlenmesini sağlar.



Şekil 1.1. Sıcak Haddeleme Proses Optimizasyon Parametreleri.

BÖLÜM 2. LİTERATÜR İNCELEMESİ

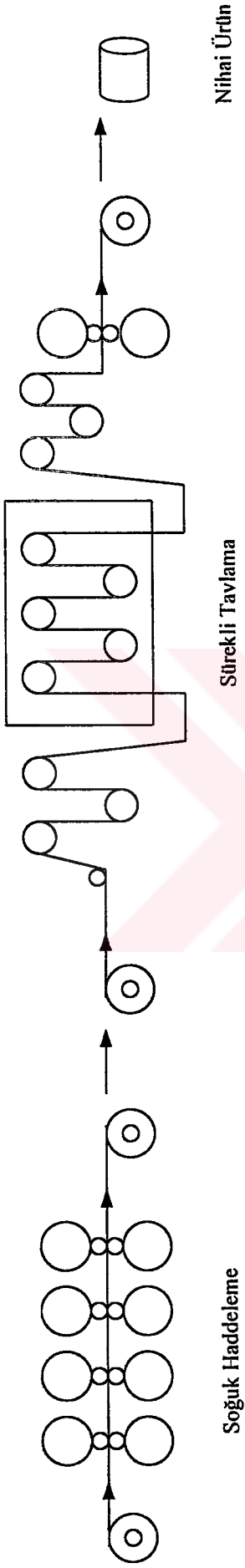
Uzun yıllar soğuk haddeleme işlemi ile üretilen soğuk ürünlerin özellikleri ve üretim yöntemlerinde gelişmeler olmasına karşılık tavlama prosesinde kayda değer bir gelişme olmamıştır. Yüksek derin çekilebilirlik, süneklik özelliklerine sahip olan ve yaşlanmaya karşı direnç gösteren düşük karbonlu soğuk haddelenmiş çelikler ticari olarak yıllarca klasik yığın tavlama prosesi ile tavllanmışlardır. Bu çeşit tavlama prosesinde, üretim sürecinin uzun olması alternatif tavlama proseslerinin araştırılmasında çok önemli bir rol oynamıştır. Ancak, özellikle altmışlı yıllarda uzun araştırmalar ve mühendislik çalışmaları sonucu sürekli tavlama prosesi geliştirilerek devreye alınmıştır. Şekil 2.1'den de görüleceği gibi klasik yığın tavlama işlemi ile beraber elektrolitik temizleme, bobinlerin tavlama ve soğutulması, temperleme ve muayene işlemlerini içeren üretim prosesi ile üretilen soğuk ürün, bütün bu kademelerin tek bir hat üzerinde sıralanması sonucu sürekli tavlama prosesi ile üretilerek toplam üretim süresi 10 günden 10 dakikaya indirilmiştir. Bunun yanında ürün kalitesi önemli oranda artarken, üretim maliyeti oldukça düşüktür .

2.1. Sürekli Tavlama Prosesinin Tarihçesi

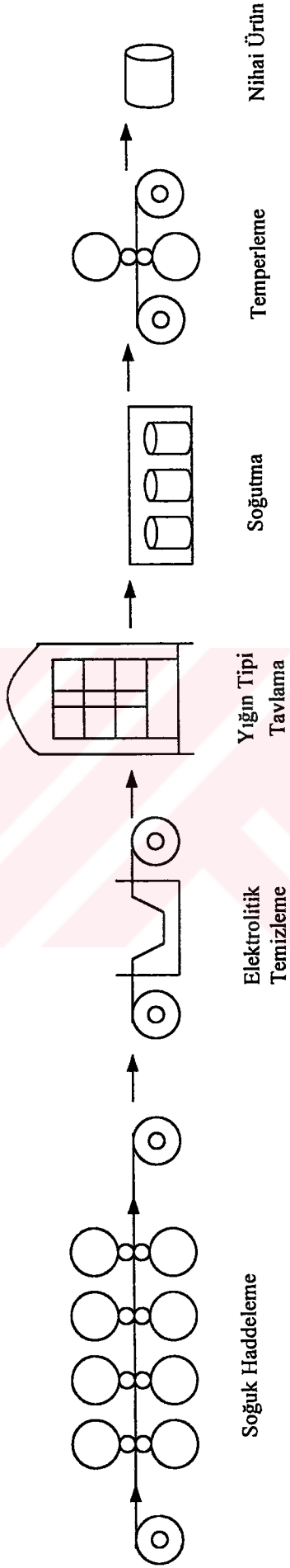
Soğuk sac üretiminin sürekli tavlama prosesi ile elde edilme uygulamaları ilk olarak Avrupa ve Amerika'da başlamış ve patent veya makalelerle pek çok fikir ortaya atılmıştır. Ancak, bu uygulamaların hiç biri ticari işletmeye geçememiştir.

Yetmişli yıllarda yaşanan yüksek ekonomik gelişme döneminde, soğuk haddelenmiş çeliğin sürekli tavlama işlemine tabi tutulması ilk defa Japon Demir Çelik Endüstrisi tarafından gerçekleştirilmiştir [1]. Bundan sonra bir çok ülkede yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Halen 18'i Japonya'da olmak üzere soğuk mamul veya teneke üretimi için toplam 45 adet sürekli tavlama prosesi faaliyet göstermektedir. Bunların bazıları inşaat halindedir. Böylece, özellikle yüksek

SÜREKLİ TAVLAMA PROSESİ



YIĞIN TIPI TAVLAMA PROSESİ



Şekil 2.1. Sürekli Tavlama Prosesi ile Klasik Yığın Tavlama Prosesi Akım Şeması.

şekillenebilirlik ve yüzey kalitesi ile otomobil parçalarının imalatında kullanılmak üzere, çelikhanede çelik üretim aşamasından itibaren kimyasal kompozisyonda gerekli ayar ve gelişmeleri yaparak (ekonomik olarak çok düşük azot ve karbon değerlerine inilebilme gibi), sıcak haddehanede ise sıcaklıkları, bekletme sürelerini ve soğumayı uygun şekilde optimize ederek yeni bir proses geliştirilmiştir.

Sürekli tavlama prosesinin ilk uygulaması 1936 yılında “Armco Steel Corporation” tarafından sıcak daldırma yöntemi ile galvanizli sac üretiminde kullanılmıştır [2]. Burada en önemli amaç sürekli tavlama prosesi ile homojen mekanik özelliklere ve yüksek yüzey kalitesine sahip ürünün en kısa zamanda üretilmesidir. Ancak, Blickwede’e göre özellikle otomotiv sanayiinde ve beyaz eşya üretiminde uygulama alanı bulan soğuk ürünlere sürekli tavlama işleminin uygulanabilmesi başlıca iki ana prensibe dayanmaktadır [3]:

- 1) Sıcak haddeleme işleminde yüksek sarılma sıcaklığının uygulanması ile iri ferrit tane boyutu elde edilmesi,
- 2) Herhangi bir ısıtım işlem yöntemiyle karbonun çökeltilmesi.

Blickwede, sürekli tavlama işleminin ekonomik olarak uygulanabilmesi için tavlama işleminin yapıldığı fırınların, yüzey kalitesinin oluşturulmasında önemli yer tutan temper haddesinin ve diğer ekipmanların birbirleriyle uyumlu olması gerektiğini vurgulamıştır. Ticari olarak derin çekme mamullerde sürekli tavlama prosesi ile soğuk sac üretimi, ilk defa Kasım 1972’de “Nippon Steel Corporation - Kimitsu No.1” de yapılmıştır [4]. Daha sonra, “NKK (Nippon Kokan K.)” ve “Kawasaki” firmaları da benzer prosesleri devreye almıştır. Bundan sonra da bu üç Japon çelik üreticisi firmanın geliştirdiği proseslere dayalı tesisler bütün dünyada yaygınlaşmıştır. Bu proseslerin temelde birbirlerinden çok büyük farklılıkları yoktur. Sadece karbürleri çökeltmede farklı ekipmanlar kullanmışlardır.

Bu çalışmada, NKK tarafından geliştirilen sürekli tavlama prosesi ele alınmıştır. NKK sürekli tavlama prosesini ilk defa 1963 yılında teneke üretmek amacı ile Japonya’da Keihin Works işletmelerinde kurmuştur. Bu tesisin yüksek tavlama kapasitesinden dolayı kapasitenin bir kısmının yığın tavlama ile beraber

yaşlandırma işlemine yönelik olarak kullanılması fikrini ortaya çıkarmıştır. Sürekli tavlama prosesinin soğuk ürünlere yönelik olarak kullanılması ise ilk defa 1971 yılında yine Japonya'da Fukuyama Works işletmelerinde olmuştur. Başlangıçta sıcak haddeleme sonucu üretilen üründe anormal tane büyümesi ve bobin boyunca homojen olmayan mekanik özellikleri yüksek sarılma sıcaklığı uygulaması ile çözen NKK firması, yeniden kristalleşme ve daha sonra karbür çökmesi için hızlı soğutma kademelerini içeren sürekli tavlama prosesini geliştirmiştir. Soğutma sistemi için öncelikle Su Soğutmalı (Water Quench-WQ) sistem ile çalışılmıştır. Ancak 1973 yılındaki enerji krizi ile beraber enerji tasarrufu sağlayan yeni bir proses geliştirilmiştir. Sonuçta, Merdaneli Soğutma (Roll Quench-RQ) adı verilen sistemin devreye alınması ile ürün maliyetlerinde büyük bir düşme görülmüştür. 1982 yılından günümüze kadar da, her iki sistemin uygulanabildiği tavlama prosesleri yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [4].

Sürekli tavlama hattındaki gelişmelerle birlikte temper hadde de (skin pass) yeniden gözden geçirilip tavlama hattı ile bütünleştirilmiş ve gerek diğer hatların durumu gerekse malzeme yüzey kalitesi yeniden hassas bir şekilde ayarlanmıştır.

Sürekli tavlama prosesinin uygulanabilmesi ile, soğuk haddeleme işleminden önceki proseslerde büyük bir iyileşme sağlanmış ve sonuçta soğuk ürün üretim süresi 10 günden 10 dakikaya inmiş; yatırım, personel ve enerji maliyetinin düşük olması sonucu verimlilik yükselmiş; ve yeni ürün tipleri geliştirilirken yüksek seviyede kaliteli ürün üretimi imkanı ortaya çıkmıştır. Bu şekilde, endüstride sürekli tavlama prosesinin uygulanabilmesi sadece kendine avantaj sağlamamış aynı zamanda üretilen çelik ürünlerini kullanan sanayilere de (otomotiv sanayi, beyaz eşya sanayi gibi) büyük avantajlar ve yenilikler getirmiştir. Örneğin, otomobil sanayinde süper şekillenebilirliğe sahip çelikler ile yüksek mukavemetli çeliklerin kullanılması sonucu ağırlıklarda bir azalma meydana gelmiştir.

2.2. Sürekli Tavlama Prosesinin Teknolojisi ve Prensipleri

Çelik sac standartta belirtilen miktarda Mn, Si, P ve benzeri elementleri içeren temel olarak bir demir-karbon alaşımıdır. Soğuk haddelenmiş çeliğin özellikleri başlıca çeliğin kimyasal bileşimi, sıcak ve soğuk haddeleme koşulları ve

tavlama pratiği ile belirlenir. Soğuk haddelenmiş sacda istenilen mekanik özellikleri elde etmek için üretim proseslerinin tüm kademeleri bilinçli olarak düzenlenmeli ve çeliğe istenilen optimum mikro yapı kazandırılmalıdır. Soğuk haddelenmiş elik sac üretim kademelerinin malzemenin özelliklerine olan etkisi Tablo 2.1’de gösterilmiştir [5].

İstenilen özellikteki sac kalitelerinin üretimi için oldukça hassas mikro yapı dengelerinin söz konusu olduğu sürekli tavlama hattında işlem parametrelerinin ve bunların mikro yapı üzerindeki etkilerinin çok iyi bir şekilde bilinmesi gerekir. Bu nedenle de sürekli tavlama hattında üretilecek yüksek şekillenebilirliğe sahip malzemelerin üretim ön şartı elik üretiminden başlayarak sıcak ve soğuk haddelemeye kadar olan üretim proseslerinde bir dizi önlemler almayı gerekli kılmaktadır. İyi bir şekillenebilme özelliğine sahip soğuk haddelenmiş elik mamulleri üretmek için genel anlamda aşağıdaki işlemleri yapmak gerekir [6].

- a) Zararlı empüritelerden arındırılmış uygun kimyasal bileşimde bir elik üretmek,
- b) Belirli aralıklar içinde yapıdaki tane boyutunu mümkün olduğu kadar irileştirmek,
- c) Yapı içindeki çözünmüş karbon miktarını azaltmak ve böylece karbondan dolayı oluşan yaşlanmayı önlemek,
- d) Yapı içindeki metalik olmayan inklüzyonları azaltmak,
- e) Derin ekilebilirlik indeksi olan “r” değerinin (Lankford değerı) yüksek olması için uygun kristallografik yönlenmeyi sağlamak.

Tablo 2.1. Genel Anlamda Soğuk Haddelenmiş Çelik Sac Üretim Kademelerinin Malzeme Özelliklerine Etkisi [5].

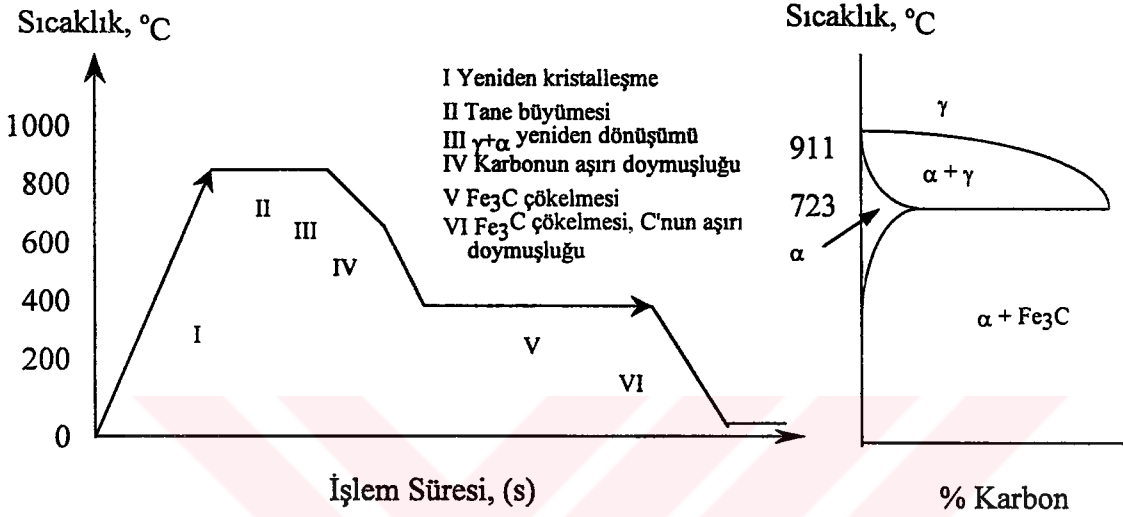
Üretim Kademeleri	Proses Parametreleri	Etkilenen Özellikler
Çelik Üretim	-Kimyasal bileşim -Deoksidasyon -İç temizlik -Döküm	-Çekme mukavemeti -Süneklik -Yaşlanma özelliği
Sıcak Haddeme	- Slab ısıtma sıcaklığı ve süresi -Sıcak haddeme sıcaklığı -Soğutma hızı -Bobin sarma sıcaklığı	-Mikroyapı -C ve N çökmesi -Malzemedeki kristallerin konumu -Anizotropi (kristallerin belli bir doğrultuda yönlenmesi)
Soğuk Haddeme	-Soğuk haddeme -Tavlama -Koruyucu gaz -Temper haddeme	-Tane boyutu -Mikro yapı -Tekstür -C ve N çökmesi -Anizotropi -Yaşlanma özelliği -Akma mukavemeti ve akma noktasındaki uzama -Yüzey yapısı

Sürekli tavlama prosesi hızlı ısıtma, kısa sürede tavlama ve hızlı soğutma kademelerini içermektedir. Klasik yığın tavlama (Batch Annealing Furnace-BAF) prosesinin tersine sürekli tavlama prosesinde malzeme özellikleri yüksek sıcaklıkta uzun süreli tavlama yerine çok daha kısa sürede elde edilebilmektedir. Bunun içinde klasik yığın tavlama prosesi sonucu üretilen çeliklerle aynı yada benzer mekanik özellikleri elde etmek için çelik üretimi sırasında kimyasal kompozisyonun ve tavlamadan önceki proseslerin sürekli tavlama prosesine uygun olarak ayarlanması

gerekmektedir. Yani, yeniden kristalleşme ve bundan yararlanılarak iyi şekillenebilme özelliklerini elde etmek için katı eriyik sertleşmesi yapan elementlerin yanında (Mn, Si ve P) özellikle arayer elementlerinin de (C, N) düşük seviyelerde tutulması gereklidir. Özellikle karbürlerin karbon içeriklerine bağlı olarak kısmi yada tümüyle çökelmeleri soğuk ürünlerin şekillendirilebilme kabiliyetlerinde çok etkilidir. Klasik yığın tavlama prosesinde bobinler düşük soğutma oranlarında işleme tabi tutularak soğutma sırasında karbonun doğal olarak çökmesi sağlanır. Bu şekildeki çökme işlemi 10 ile 50 saat arasında değişmektedir. Eğer mevcut çözünmüş durumdaki karbon çökeltilememişse nihai üründe yaşlanma ve sonuçta da mekanik özelliklerin bozulmasına neden olunur. Bu nedenle de çökme işlemi için bir çok metod geliştirilmiştir. Bunlar;

- 1) Yaşlandırma işlemi : Bu metotda, bobin öncelikle klasik sürekli tavlama hattında tavlana daha sonrada yığın tavlama işleminde 250-350 °C arasında bekletilerek çözünmüş karbonun çökmesi tamamlanmaktadır. Bu yöntemi NKK firması 1964'den itibaren belirli bir müddet kullanmıştır. Ürün kalitesi sadece klasik yığın tavlama işleminden üretilen ürüne göre daha iyidir. Ancak iki ayrı proses işlemini gerektirdiğinden maliyeti yüksektir.
- 2) Dekarbürizasyon : Bu metotda, çeliğin içindeki karbon vakum veya diğer başka bir proses ile giderilir. Ancak yine bu metodla, çelik imalat sırasında çeliğin içindeki karbon miktarını % 0.003'ün altına indirmek ekonomik olmamaktadır.
- 3) Karbonun stabilize edilmesi : Bu yöntemde çözünmüş karbon, Ti veya Nb gibi elementler ile çelikteki karbonun stabilize edilmesi sonucu azaltılır. Proses ancak vakumda gaz giderme sonucu yapılan dekarbürizasyon ile birlikte etkili olabilmektedir. Bu sistem çelik imalat maliyetini yükseltmesi dolayısıyla ekonomik değildir.
- 4) Hızlı soğutma ve yaşlandırma işlemi : Sürekli tavlama prosesinde ısıtma işlemi ile çözünmüş karbonun çökeltilmesi işlemidir. Uygun bir ısıtma işlemi ile kısa süreli yaşlandırma işlemi sonucu çözünmüş karbon en iyi şekilde çökeltilebilmektedir. NKK firması bu işlemler için su ile soğutma (Water Quench-WQ) ya da merdaneli soğutma (Roll Quench-RQ) tekniklerini kullanmaktadır.

Sürekli tavlama işlemi sırasında, tavlama sıcaklığına bağlı olarak öncelikle ısıtma ve bekleme kademelerinde karbonun çözünürlük dengesine ulaşılır ve yeniden kristalleşme ile tane büyümesinden sonra hedeflenen tane büyüklüğü elde edilir. Şekil 2.2’de sürekli tavlama işlem kademeleri görülmektedir [5].



Şekil 2.2. Sürekli Tavlama İşlemi Kademeleri [5].

Daha çok su veya merdaneli soğutma sistemleri ile yapılan soğutma işlemi sırasında ise aşırı doymuş karbon elde edilir. Hızlı soğutma ve arkasından yapılan yaşlandırma işlemi sonucu bir kısım karbon karbürler şeklinde tane sınırlarında çökelerken bir kısmı da çözeltide kalır. Sonuç olarak çökelen karbür miktarını ve çözeltide kalan çözünmüş karbon içeriğini kontrol etmek için hızlı soğutma parametreleri ile oynanır. Daha sonraki soğutma işleminde malzeme fırından alınarak kendi halinde soğumaya bırakılır. Bu şekilde basit bir ısıtma işlemi ile sürekli tavlama hattından proses parametrelerinin belirli oranlarda oynanması ile çeşitli kaliteler geliştirilmiştir. Klasik yığın tavlama prosesinde ise ısıtma işleminden sonra çelik fırında yavaş soğutma hızında soğutulurken karbonun doğal olarak çökmesi sağlanır. Sürekli tavlama prosesindeki yaşlandırma işlemi yığın tavlama prosesindeki fırında soğutma işlemine karşılık gelmektedir. Şekil 2.3’de herhangi bir düşük karbonlu derin çekme çelik kalitesinin sürekli tavlama prosesi ile üretimi görülmektedir.



Şekil 2.3. Düşük Karbonlu Derin Çekme Çelik Kalitesinin Sürekli Tavlama Proses Akım Şeması [6].

2.3. Sürekli Tavlama Prosesinin Avantajları ve Dezavantajları

Klasik prosese göre üretim; asitleme, soğuk haddeleme, elektrolitik temizleme, yığın tavlama, soğutma ve temperleme işlemleri gibi seri prosesleri ayrı ayrı içermektedir. Oysa sürekli tavlama prosesini içeren soğuk ürün üretimi asitleme, soğuk haddeleme ile elektrolitik temizlemeden temperlemeye kadar olan kademeleri içeren tek bir hat üzerinden olmaktadır [7].

Sürekli tavlama prosesinin klasik yığın tavlama prosesine göre avantajları ve dezavantajları vardır. Bu avantajların başlıcaları Şekil 2.4’de gösterilmiştir. Buna göre;

- a) Düşük yatırım maliyetli ve daha az alana yayılmış bir tesis gerektirmektedir.

Sürekli tavlama prosesi temizleme, tavlama, temperleme, kenar kesme, muayene gibi bir çok prosesi içermektedir. Bundan dolayı da yatırım maliyeti klasik yığın

tavlama işlemine göre % 20 daha düşük iken tesis alanı da 1/3 oranında daha azdır.

- b) Kuruluş yapısından dolayı sürekli tavlama prosesi, klasik yığın tavlama işlemine göre 1/3 oranında daha az eleman gerektirmektedir.
- c) Sürekli bir hat olma özelliğinden dolayı klasik yığın tavlama prosesindeki 10 gün yerine 10 dk. da nihai mamul üretilebilmektedir. Yani üretim hızı ve kapasitesi yüksektir. Aynı zamanda üretim sırasında ara kademe işlemlerinde stoklama yoktur. Sonuçta mamullerin sıralanma ve sevkiyatında da verimlilik artışı olmaktadır.
- d) Ürünlerin kalitesinde belirgin bir yükseliş olmaktadır. Bobinlerin özellikle baş ve sonlarında oluşan kusurlar ile bozuk sargı, yapışma, mekanik çizikler gibi özellikle klasik yığın tavlama prosesine ait kusurlar ortadan kalkmaktadır. Bunun yanında bobin boyu ve genişliği boyunca homojen mekanik özellikler ile fırın boyunca homojen gergi sonucu yüksek yüzey düzgünlüğü elde edilmiştir. Böylece nihai mamuldeki kayıplar klasik yığın tavlama prosesine göre 1/3 oranında azalmaktadır.
- e) Sürekli tavlama hattında kullanılan enerji miktarı klasik yığın tavlama işlemine göre % 25 daha azdır.
- f) Sürekli tavlama hattı basit bir yapılanma şekline sahip olduğundan bakım maliyeti klasik yığın tavlama göre % 65 daha azdır.
- g) Klasik yığın tavlama işlemine ait kusurlar klasik temperleme işleminde iş merdanelerini yaralar. Sürekli tavlama çıkışındaki temperleme işleminde bu çeşit kusurlar olmayacağından merdane ömürleri daha uzun olmaktadır.
- h) Sürekli tavlama hattında su ile soğutma, merdaneli soğutma veya her ikisinin de kullanıldığı sistemler ile elde edilecek çeşitli tavlama parametrelerinin uygulanması sonucu çok değişik aralık ve ihtiyaçlarda müşteri talepleri karşılanabilmektedir.

Sürekli tavlama prosesinin avantajları yanında dezavantajları da vardır. Bunlar özellikle sürekli tavlama prosesine uygun çelik ürün için gerek kimyasal bileşim ve çelik üretim gerekse sıcak haddeleme prosesinde daha hassas ve dikkatli çalışma pratiklerinin uygulanması ile sürekli tavlama hattının hızlı olmasından dolayı arıza durumlarında hızlı müdahalenin yapılamadığı an malzeme kayıplarının yüksek olmasıdır. Sürekli tavlama prosesinin diğer bir dezavantajı da klasik yığın tavlama prosesi gibi ürün boyutları açısından esnek olmayışıdır [6].





Şekil 2.4. Sürekli Tavlama Prosesinin Klasik Yığın Tavlama Prosesine Göre Avantajları[6].

BÖLÜM 3. SÜREKLİ TAVLAMA PROSESİ İÇİN TEMEL ÖZELLİKLER

Sürekli tavlama prosesi ile üretilecek olan derin çekme çelik kalitelerinin nihai özelliklerinin sağlanmasında önceki proseslerin önemi oldukça büyüktür. Bu nedenle soğuk ürünün nihai özelliklerini belirleyen gerek kimyasal bileşim ve çelik üretim gerekse sıcak haddeleme işlem parametrelerinin çok iyi bir şekilde oluşturulması gerekmektedir.

3.1. Sürekli Tavlama Prosesi ile Üretilecek Derin Çekme Çelik Kaliteleri

Derin çekme kalite çeliklerin sürekli tavlama işlemi ile üretilmesi için gerekli proses parametrelerinin tespiti belirli bir sürede olmuştur. Dünyada ilk defa sürekli tavlama hatlarında derin çekme kalite çelik ürünler 1972 yılında Japonya'da üretilmiştir [8]. Sürekli tavlama prosesi sonucu üretilen derin çekme kalite çelikler klasik kutu tavlama prosesine göre daha verimlidir. Ancak özellikle alüminyum ile deokside edilmiş düşük karbonlu derin çekme kalite çeliklerde düşük akma mukavemeti, yüksek uzama, yüksek şekillenebilme istenirken buna karşılık yaşlanmaya karşı direnç gösterme özelliği aranmaktadır. Buna göre sürekli tavlama hattında tavlancak derin çekme kalite çeliklerin yapısı aşağıdaki şekilde optimize edilmelidir [9].

- 1) Derin çekme özelliğini sağlamak için (111) yapısının oluşturulması,
- 2) Düşük akma mukavemeti için iri tane boyutu,
- 3) Sünekliği arttırmak ve yaşlanmayı önlemek için karbür dağılımını kontrol etmek.

Yapıdaki ferrit tane boyutu akma mukavemeti, sünekliği (% uzama) ve gerilebilirlik (deformasyon sertleşmesi $\propto n$) değerini etkilerken derin çekme işlemini sağlayan (111) kristal yapısı da derin çekilebilirlik (r) değerini etkilemektedir. İyi derin çekilebilirlik yüksek r değerine bu da malzemede (111) kristal yapısına karşılık gelmektedir. Diğer taraftan iyi gerilebilirlik yüksek n değerine denk gelmektedir.

Çözeltideki karbon miktarı ve çökelmiş haldeki karbürlerde sünekliği etkilerken, çözeltideki karbon aynı zamanda oda sıcaklığında yaşlanmanın önlenmesinde de etkilidir [4]. Yukarıda bahsedilen faktörlerden karbür çökmesi ve dağılımı özellikle tavlama işleminden sonra soğutma ve yaşlandırma işlemleri ile belirlenir. İlk iki faktör ise daha karışıktır ve çelik üretiminden nihai ürüne kadarki proses safhalarının hepsinden etkilenir. Bundan dolayı sürekli tavlama hattında üretilecek olan çeliklerde tane boyutu ve kristal yapısını etkileyen karbon, azot, oksijen ve kükürt gibi elementlerin miktarları ile karbür çökmesinde etkili olan alaşım elementlerinin (Mn, Al veya Ti gibi) miktarları nihai ürün kalitesinde çok önemli bir yere sahiptirler.

Alüminyum ile deokside edilmiş derin çekme kalitelerin sürekli tavlama hattında üretiminin sağlanması için gerekli olan önemli bir diğer metalurjik parametrede sıcak haddeme işlemi sırasında yüksek sarılma sıcaklığının uygulanmasıdır. Eğer sarılma sıcaklığı kritik sıcaklıktan (A_r) yüksek ise sarılma sıcaklığı yüksek, 650 °C'den düşük ise sarılma sıcaklığı düşük olarak adlandırılır. Sarılma sıcaklığı özellikle karbürlerin boyutları üzerinde ve sıcak üründe azotun AlN olarak bağlanmasında çok etkilidir.

Sürekli tavlama prosesinin uygulanabilmesi için gerekli olan temel şartlar şunlardır [10];

- 1) Derin çekme çelik kalitelerinde uygun çelik kimyasal bileşimi ve yüksek sarılma sıcaklığının uygulanması,
- 2) Düşük karbonlu çeliklerde yaşlanma mekanizmasından dolayı mekanik özelliklerde olumsuz yönde oluşabilecek etkilerin yaşlanma işlemi ile engellenmesi,
- 3) Yüksek mukavemetli çeliklerin üretilebilmesi için çeşitli mukavemet artırıcı mekanizmaların kullanılabilmesi.

Böylece derin çekme kalite soğuk ürünlerde istenilen mekanik özellikler ve mikro yapı, yukarıda bahsedilen metalurjik parametrelerin yanında başta kimyasal

kompozisyon ve sıcak haddeleme prosesi olmak üzere soğuk haddeleme ve tavlama proses parametrelerinin optimizasyonu ile elde edilirler.

3.2. Kimyasal Bileşim ve Çelik Üretimi

Sürekli tavlama hatlarından yığın tavlama işleminin tersine tavlama süresi çok daha kısa olduğundan kimyasal bileşiminin çelik üretimi sırasında uygun olarak ayarlanması gerekmektedir. Alüminyum ile deokside edilmiş çeliklerin yığın tavlama prosesinde tane boyutu ve kristal yapısı daha çok AIN tarafından saptanır. Diğer empürite elementlerin etkileri çok fazla değildir. Oysa sürekli tavlama prosesinde bu elementlerin tane büyümesi ve kristal yapısına etkileri oldukça fazladır. Bu nedenle sürekli tavlama prosesinde kimyasal bileşim için toleranslar çok dar bir aralıktadır [11]. Tablo 3.1’de sürekli tavlama hattında üretilebilen derin çekme ve yüksek mukavemetli çelik kalitelerinin kimyasal bileşimleri görülmektedir [12].

Sürekli tavlama prosesinde üretilen soğuk çelik sacların tane büyümesi ve kristal yapısına, sonuçta da mekanik özelliklerine çeliğin içindeki elementlerin etkisi büyüktür. Aşağıda bu elementlerden başlıcalarının etkileri görülmektedir.

a) Karbonun Etkisi : Şekil 3.1’de alüminyum ile deokside edilmiş çeliklerde karbon miktarının mekanik özelliklere etkisi görülmektedir [6]. Şekilden görüleceği gibi karbon miktarı düştükçe akma ve çekme mukavemetlerinde bir azalma görülürken derin çekilebilirlikte artma görülmektedir. Karbon miktarının % 0.015’den büyük olduğu aralıklarda akma mukavemeti karbon miktarının azalması ile birlikte düşmekte, fakat karbon miktarının % 0.005 ile % 0.015 olduğu aralıklarda aniden yükselmektedir. Bunun nedeni çözeltideki karbon miktarının az olmasından dolayı yaşlanma işlemi sonucu karbür çökmesinin az veya hiç olmaması ve yaşlanma işleminden sonrada çözeltide karbonun kalmasıdır. Daha sonra akma mukavemeti karbon miktarının % 0.005 değerinin altına inmesi ile tekrar düşer. Yaşlanma indeksi ise malzemeye % 8’lik bir deformasyon uygulaması ile birlikte 100 °C’de 1 saat bekleme sonucu yapılan ölçüm işlemidir. Yaşlanma indeksi arttıkça malzemenin akma mukavemetinde bir yükselme eğilimi görülür.

Sonuçta;

$\% C \leq 0.02$ ise düşük akma mukavemeti
düşük çekme mukavemeti
yüksek uzama % si
yüksek r değeri
yüksek n değeri

$\% 0.02 < C \leq 0.015$ ise yüksek akma mukavemeti
yüksek çekme mukavemeti
düşük uzama % si
yaşlanma

$\% 0.015 < C \leq 0.050$ ise yüksek akma mukavemeti
yüksek çekme mukavemeti
düşük uzama % si
düşük n değeri
düşük r değeri

elde edilmektedir.

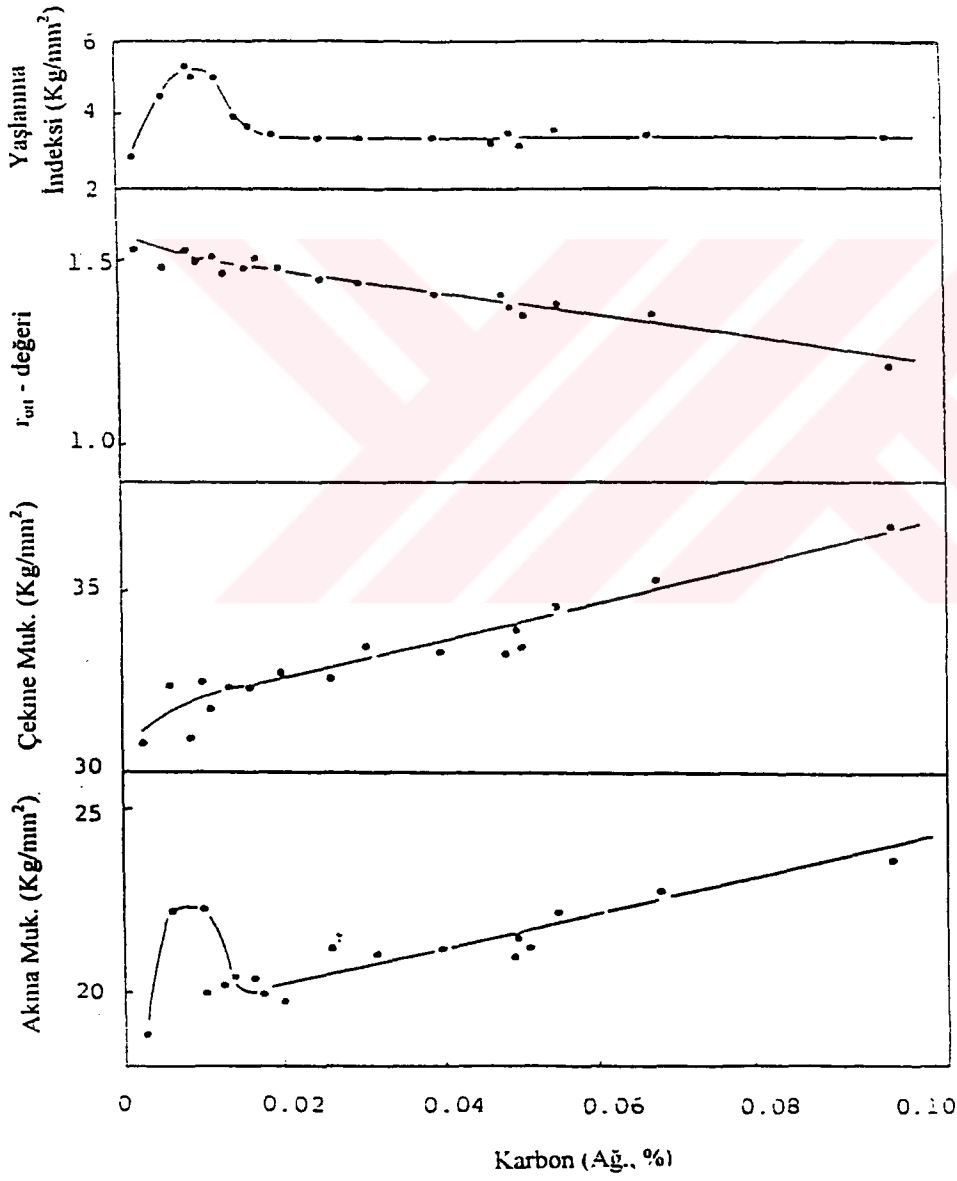
b) Manganez Etkisi : Karbondan sonra gelen diğer önemli elementtir. Manganez sadece mukavemet arttırmakla kalmaz aynı zamanda derin çekme özelliğini de etkiler. Böylece derin çekilebilirliği arttırmak için mangani düşük seviyelerde tutmak gerekir. Şekil 3.2’de manganezin Al ile deokside edilmiş çeliklerde mekanik özelliklere etkisi görülmektedir [6].

Tablo 3.1. Sürekli Tavlama Prosesi ile Üretilen Bazı Çeliklerin Kimyasal Bileşimi [12].

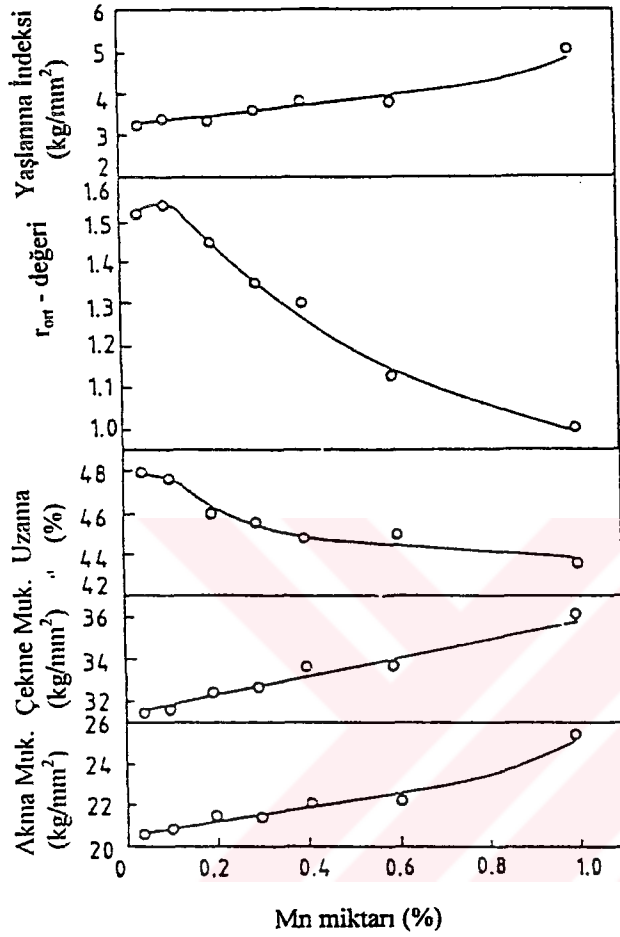
Mamul Kalitesi	C	Si	Mn	P	S	Sol.Al	N	Diğer
CQ	0.02/0.05	≤0.03	0.15/0.25	≤0.02	≤0.02	0.03/0.06	≤0.006	-
DQ-1	0.02/0.04	≤0.03	0.10/0.20	≤0.02	≤0.02	0.03/0.06	≤0.006	-
DQ-2	≤0.005	≤0.03	0.10/0.20	≤0.02	≤0.015	0.03/0.05	≤0.006	Ti : 0.05/0.08
DDQ	≤0.004	≤0.03	0.10/0.20	≤0.02	≤0.015	0.02/0.05	≤0.005	Ti : 0.05/0.08
EDDQ	≤0.003	≤0.03	≤0.015	≤0.015	≤0.015	0.02/0.05	≤0.005	Ti : 0.05/0.08
HSS-45	0.05/0.07	0.10/0.30	0.04/0.08	≤0.02	≤0.015	0.03/0.06	≤0.006	Nb : 0.035/0.045
HSS-60	0.09/0.11	0.40/0.60	1.30/1.50	≤0.02	≤0.015	0.03/0.06	≤0.006	Nb : 0.035/0.045

CQ : Ticari Kalite
 DQ-1 ve DQ-2 : Çekme Kalite
 DDQ : Derin Çekme Kalite
 EDDQ : Ekstra Derin Çekme Kalite
 HSS-45 ve HSS-60 : Yüksek Mukavemetli Çelik Kalite

Mn = 0.35%
S = 0.018%
P = 0.012%
Çöz. Al = 0.049%
N = 0.0053%



Şekil 3.1. Karbon Miktarının Mekanik Özelliklere Etkisi [6].



Chemical composition:

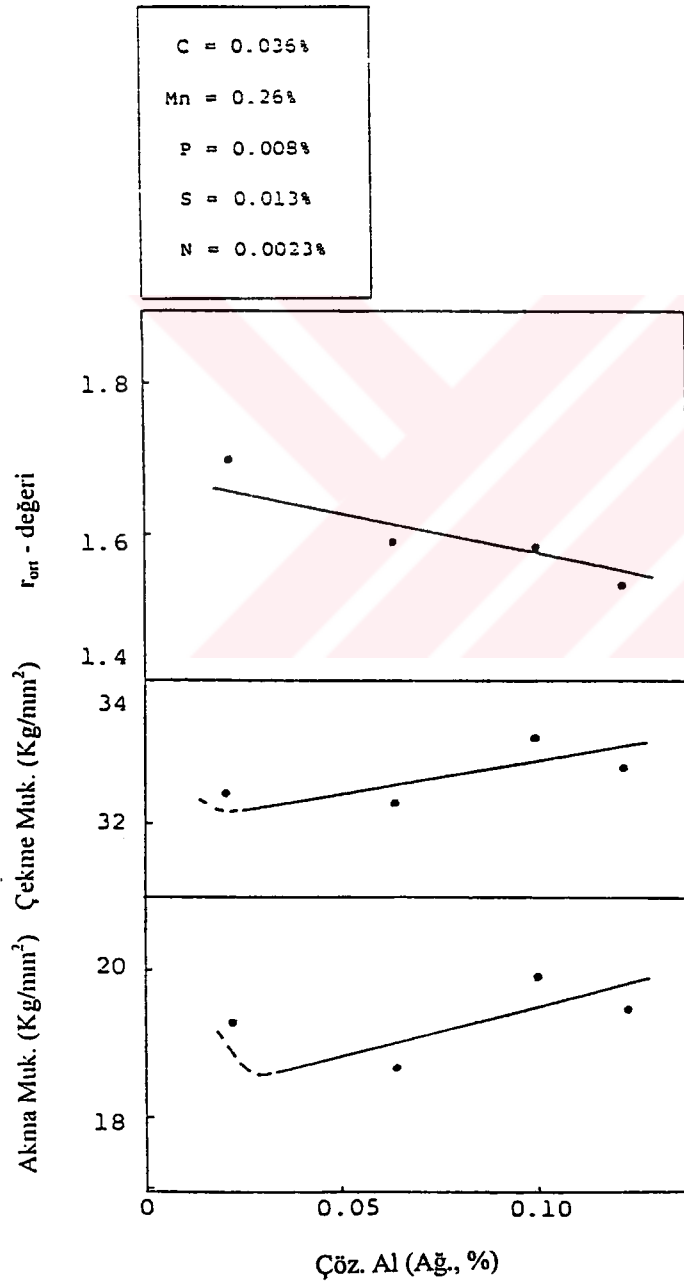
C	0.020 %
Si	0.01
P	0.013
S	0.005
Çöz. Al	0.050
N	0.0045

Şekil 3.2. Manganez Miktarının Mekanik Özelliklere Etkisi [6].

Manganezin katı çözelti sertleşmesi yanında diğer bir özelliği de karbür morfolojisinde yarattığı değişimle ikincil bir etki ortaya çıkarmasıdır. Bu durum mangan içeriği yüksek olan saclarda sarılma sıcaklığı yüksek olsa dahi karbürlerin daha sert olmasına ve böylece de derin çekilebilirliğin bozulmasına yol açar.

c) Alüminyumun Etkisi : Şekil 3.3'de alüminyum ile deokside edilmiş çeliklerde çözülmüş alüminyumun mekanik özelliklere etkisi görülmektedir [6]. Çözülmüş alüminyumun % 0.02'den büyük olduğu bölgelerde çözülmüş alüminyum miktarı düştükçe akma ve çekme mukavemetleri düşmekte, fakat derin

çekilebilirlik (r) değeri artmaktadır. Ancak çözünmüş alüminyumun etkisi karbon, mangan ve azot kadar fazla değildir. Alüminyum ile deokside edilmiş çeliklerde sıcak haddeleme işlemi sırasında sürekli tavlama prosesi için istenen yüksek sarılma sıcaklığından dolayı alüminyum azot ile birleşerek AlN şeklinde çöker. Bundan dolayı % 0.02 miktarının altındaki alüminyum AlN çökmesini sağladığından ferrit tane büyümesini engeller. Böylece optimum çözünebilen alüminyum miktarı % 0.03-0.06 arasında tutulmalıdır.



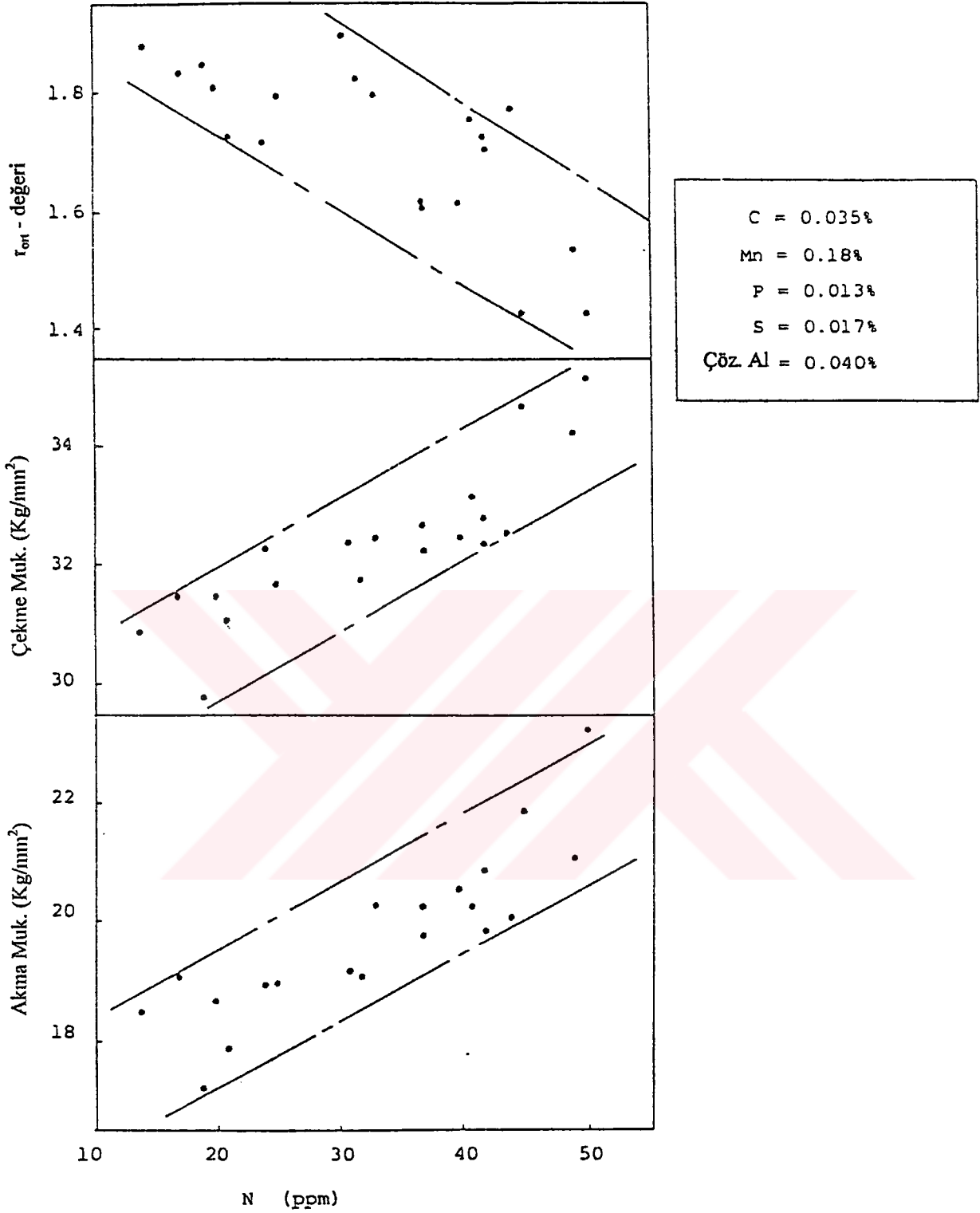
Şekil 3.3. Alüminyum Miktarının Mekanik Özellikler Etkisi [6].

d) Azotun Etkisi : Alüminyum ile deokside edilmiş çeliklerde azotun mekanik özelliklere etkisi Şekil 3.4’de gösterilmiştir [6]. Şekilden de görüldüğü gibi azot miktarı arttıkça akma ve çekme mukavemetleri artarken derin çekilebilirlik değeri azalmaktadır. Al ile deokside edilmiş çeliklerde, sıcak haddeleme işleminde uygulanan yüksek sarılma sıcaklığı ile azot, AlN olarak çökelir. Eğer azot miktarı artarsa, çökelen AlN miktarı artacak ve sonuçta da ferrit tane büyümesi engellenecektir. Böylece akma ve çekme mukavemeti artarken derin çekilebilirlik değeri azalacaktır. Bütün bu nedenlerden dolayı Al ile deokside edilmiş çeliklerde düşük azot değerleri istenilmektedir.

e) Titanyum’un Etkisi : Titanyum, karbür ve nitrür yapıcı bir elementtir. Titanyum özellikle IF (Interstitial Free Steel - Karbonsuz Çelik) çeliklerine ilave edilerek uygun mekanik özelliklerin sağlanmasını temin eder. İlave edilecek olan titanyum miktarı aşağıdaki formüle göre hesaplanır [6].

$$(Ağ. \%) [Ti] > (48/12) \cdot [C] + (48/14) \cdot [N] + (48/32) \cdot [S]$$

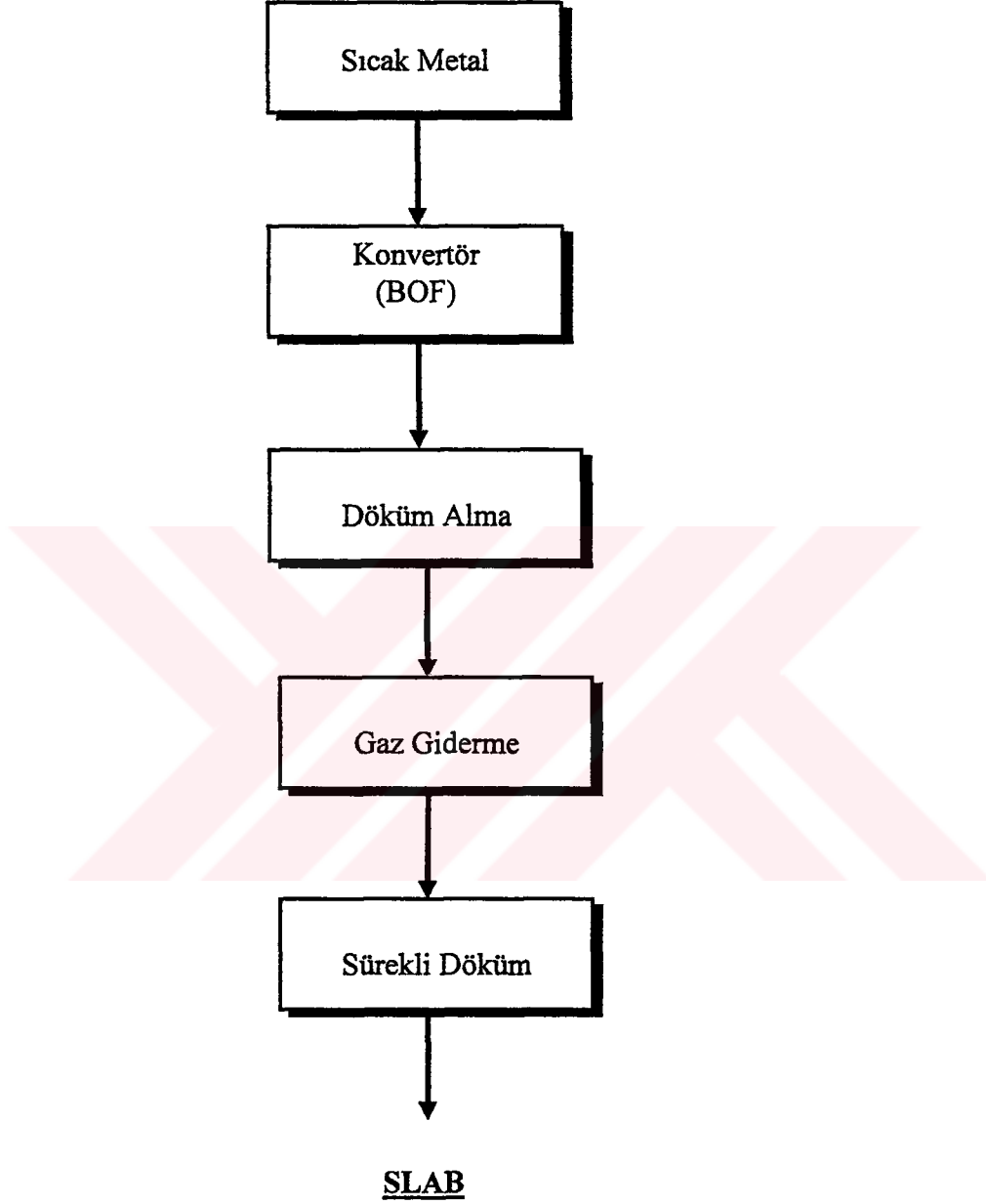
Eğer ilave edilen titanyum miktarı yukarıdaki formülden elde edilenden küçük ise derin çekilebilirlik ve yaşlanmaya karşı direnç azalır.



Şekil 3.4. Azot Miktarının Mekanik Özelliklere Etkisi [6].

Yukarıda sürekli tavlama hattında üretilecek Al ile deokside edilmiş derin çekme kalite çeliklerde kimyasal bileşimin mekanik özelliklere etkisi anlatılmıştır. Bu çeşit çeliklerin çelik üretim ve döküm şartları için herhangi özel bir uygulama yoktur.

Yani klasik yığın tavlama prosesi için uygulanan şartlar aynen geçerlidir. Sadece döküm sırasında azot kapılması önlenmelidir. Sıvı metalden sürekli döküm tesislerinde slab üretim prosesinin akım şeması Şekil 3.5'deki gibidir.



Şekil 3.5. Sıvı Metalden Slab Üretim Proses Akım Şeması [6].

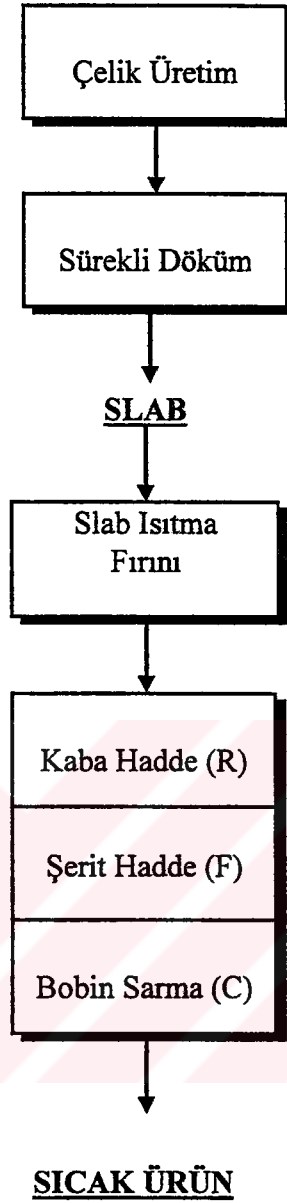
Sürekli döküm makinalarından çıkan slabların hem kimyasal bileşim ve boyut açısından hem de yüzey kalitesi ve kusur özellikleri açısından incelemesi yapılarak sıcak haddeme işlemine başlanması gereklidir. Yani sürekli döküm makinalarında üretilen slabların kimyasal bileşimi standarda uygun değilse veya herhangi bir kusur

içeriyorsa ve boyutlarında da bir uygunsuzluk mevcut ise bu durumda sıcak haddeleme işlemi sırasında problemlere neden olunacağı gibi sıcak üründe de gerek mikro yapı ve mekanik özellikler açısından gerekse boyut dağılımı açısından istenilmeyen özellikler elde edilmesine neden olur. Üretilen bu slablar, slab sahası adı verilen bir bölgede kontrol edilirler. Eğer slabların yüzeylerinde herhangi bir yüzey kusuru var ise bu kusurlar skarf adı verilen işlemle yüzeyden alevle uzaklaştırılır.



3.3. Sıcak Haddeleme İşlemi

Çelikhanede uygun kimyasal bileşimde üretilen ve sürekli döküm makinalarında dökülen slabların belirli boyut (kalınlık, genişlik, boy, ağırlık vb.), mikro yapı veya mekanik özelliklere sahip olabilmesi için sıcak haddeleme işlemi yapılır. Sıcak haddeleme işleminde temel amaç, belirli metalurjik şartlarda (sıcaklık ve deformasyon) optimum haddeleme programı ile (paso sayısı ve ezme oranı) istenilen nihai boyutlara inilmesidir. Bu amaçla slabların öncelikle yeterli miktarda ısıtılmaları gerekmektedir. Sonrada birbirine zıt yönde hareket eden merdaneler arasında yüksek oranda ezmeye tabi tutularak slabta, belirli oranda kalınlık azalması sağlanır. İstenilen yüksek orandaki ezme miktarlarının soğuk işlem ile gerçekleştirilmesi mümkün değildir. Bunun ana nedeni soğuk işlem sırasında metallerde oluşan deformasyon sertleşmesidir. Deformasyon sertleşmesi ezme işlemini zorlaştırdığı gibi malzemenin kırılmasına veya yırtılmasına da yol açar. Sıcak haddeleme işlemi metallerin bu özelliklerinden dolayı oluşan güçlükleri ortadan kaldırır. Bunun nedeni yüksek sıcaklıktaki ezme işlemi sonunda meydana gelen deformasyon sertleşmesi yeniden kristalleşme işlemi yardımı ile kısa sürede kaybolur. Malzemenin sıcak haddelemesinin getirdiği bir diğer önemli avantajda daha düşük yüklerde ezilme işleminin yapılabilmesidir. Bunun nedeni de yüksek sıcaklıkta şekil değişimi için gerekli olan düzlemsel kayma hareketinin aktivasyon enerjisi miktarının daha düşük olması ve yüksek sıcaklıkta kayma düzlem sayısının artması ile düzlemsel kaymanın çok daha kolay gerçekleşebilmesidir. Sıcak haddeleme işlemi sonucu ayrıca döküm sonunda elde edilen gaz boşlukları ve homojensizlikler giderilerek metalik olmayan oksit, sülfür, nitrür gibi inklüzyonlar kırılır ve yapı içinde homojen olarak dağılırlar. Şekil 3.6'da çelik üretiminden itibaren sıcak ürün için genel bir akım şeması verilmiştir.

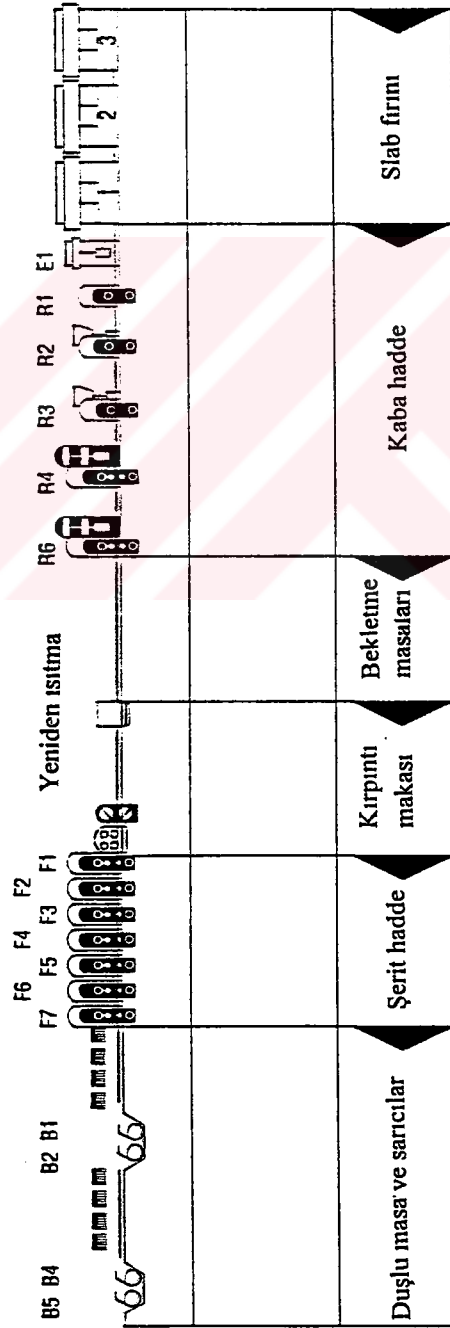


Şekil 3.6. Nihai Sıcak Ürün Genel Akış Şeması [13].

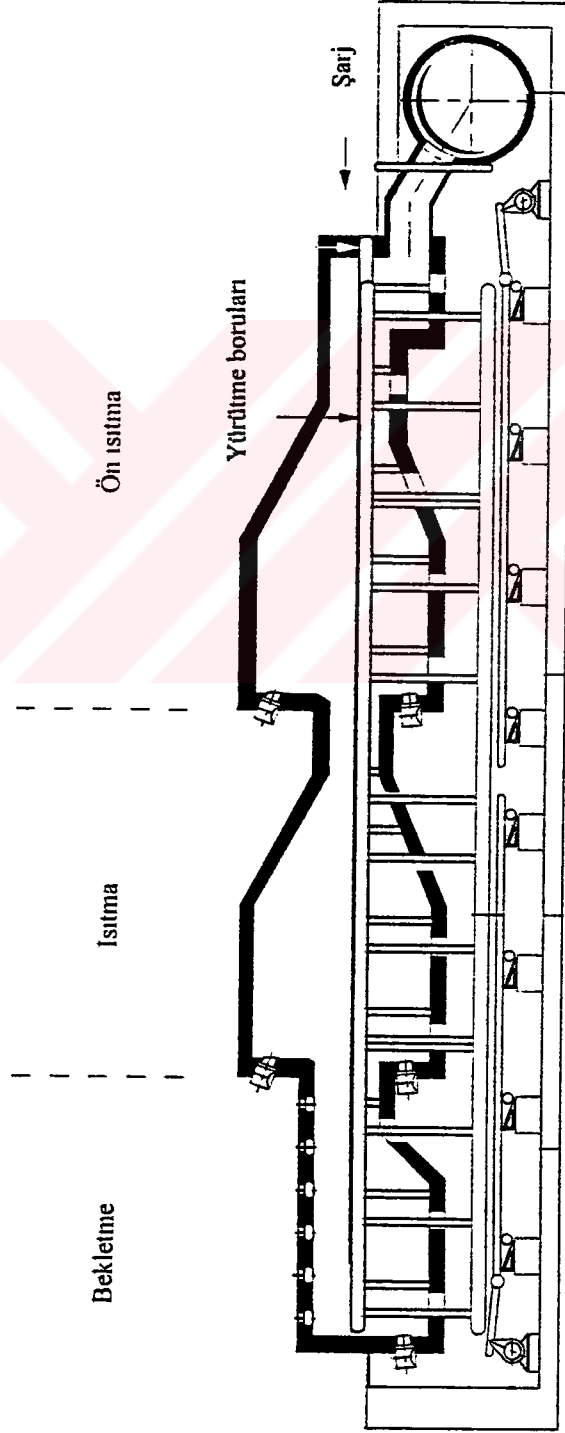
Sıcak haddelenmiş ürünlerin mekanik özellikleri (akma mukavemeti, çekme mukavemeti, % uzama gibi) çelik üretim işlemlerinde uygun kimyasal bileşimin seçilmesi yanında aynı zamanda ürünün mikro yapısına da bağlıdır. Bundan dolayı sıcak haddeleme prosesi sırasındaki işlemlerin etkileri çok önemlidir. Sıcak haddeleme işlemindeki en önemli prosesler başlıca slab ısıtma, kaba haddeleme, şerit haddeleme, soğutma ve sarma işlemleridir. Şekil 3.7’de sürekli üretim yapan bir sıcak haddeleme tesisinin yerleşimi görülmektedir.

Slab ısıtma fırınlarında slablar kimyasal bileşim ve boyutlarına göre yeterli bir sıcaklığa kadar ısıtılırlar (Şekil 3.8) [13]. Isıtma işlemi fuel-oil yada kok gazı kullanılarak yapılır ve slablar dökme demir ızgaralar üzerinde bir itici vasıtası ile hareket ederler. Slab fırınındaki sıcaklık ve süreler 1000-1310 °C ile 120-180 dk arasında değişmektedir. Slabların ısıtılmaları sonucu yüzeydeki kusurlar yüzeyden kolayca ayrılabilir. Ayrıca alaşım elementleri çözeltiye alınırken yüzeyde oksitlenme, karbürizasyon, dekarbürizasyon ve sülfürizasyon reaksiyonları oluşur. Diğer bir noktada yüksek sıcaklıktan dolayı tane büyümesinin olmasıdır.



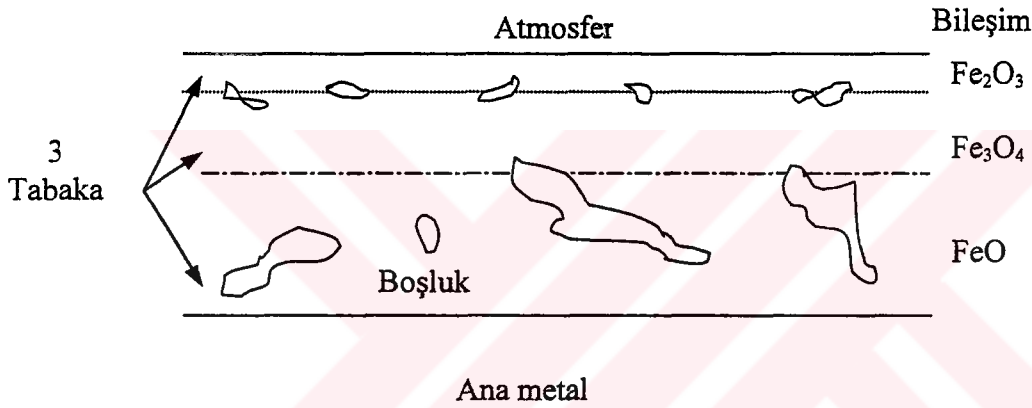


Şekil 3.7. Yüksek Kapasiteli Bir Sıcak Haddehanenin Yerleşimi [13].



Şekil 3.8. Yürüyen Tip Slab Isıtma Fırınının Genel Görünüşü [13].

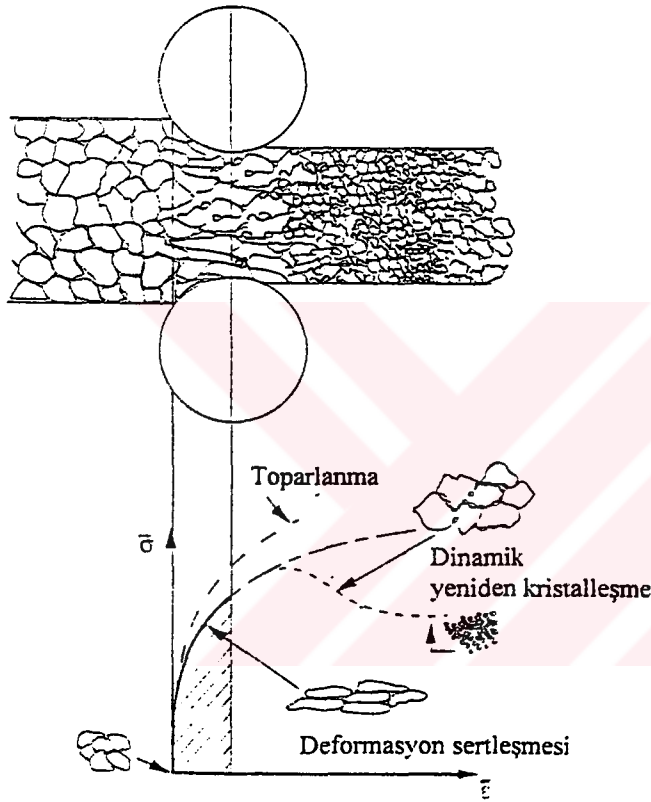
Slab ısıtma fırınlarında slabların sıcaklık dağılımları homojen olmalı ve fırından taşınmaları sırasında soğuk bölgelerin minimumda olması gerekmektedir. Aksi takdirde düşük sıcaklıktan dolayı oluşan yüzey kusurları (skid mark gibi) ve homojen olmayan tane yapısı meydana gelir. Slabların ısıtılma sırasında yüzeyde oksitlenme sonucu “tufal” adı verilen bir oksit tabakası oluşur. Tufal içerisinde, sıcaklık artışına bağlı olarak üç değişik tip demir oksit vardır. Bunlar wüstit (FeO), manyetit (Fe_3O_4) ve hematit (Fe_2O_3)’dir (Şekil 3.9) [14]. Sıcak haddeleme işleminde tufal oluşumu tamamen kaldırılamaz ancak, fırın şartlarının çok iyi bir şekilde kontrolü ve optimizasyonu ile minimuma indirilebilir.



Şekil 3.9. Tufal Yapısı [14].

Tufal oluşum mekanizması çeliğin kimyasal bileşimine, kullanılan gazdaki oksitleyici elementlerin miktarına ve sıcaklık-zaman profiline bağlıdır. Tufal, metal yüzeyinde demir oksit filminin oluşumu ile başlar ve oluşan demir-demir oksit ara yüzeyine oksijen yayılımı ile ilerler. Slab ısıtma fırınından çıkan slabların üzerindeki tufal, tufal kırıcılar ile atıldıktan sonra slablar kaba haddede (rougher) bir miktar ezme işlemine tabi tutulurlar. Kaba haddede sıcaklık aralığı 1050-1250 °C arasındadır. Buradaki ezme işlemi sırasında bir miktar yeniden kristalleşme işlemi olur. Kaba haddeden çıkan şerit ön malzemesi şerit hadde önüne geldiğinde sıcaklık 900-1200 °C civarındadır. Malzeme şerit haddeden geçerken her haddede bir miktar ezme işlemine tabi tutulur ve her ayak (stand) arasına yerleştirilmiş olan su jetleri de yüzeydeki tufalı atar. Ayaklar arasında sıcak malzeme plastik olarak deforme edilir. Burada ostenit taneleri öncelikle uzar. Deformasyonun başlangıcında

dislokasyonların sayısındaki artıştan dolayı hızlı bir şekilde deformasyon sertleşmesi oluşur. Buradaki mekanizma soğuk haddeleme prosesindeki mekanizmanın aynısıdır. Sadece farklı olarak toparlanma işlemi yüksek sıcaklıkta oluşur. Eğer malzemede 2 paso arasında depolanan enerji yeterli ise statik yeniden kristalleşme başlar ve yeni taneler oluşur. Yüksek deformasyonlarda ise dinamik yeniden kristalleşme oluşur. Standlar arasında bozulan tane yapısı ve deformasyon sertleşmesi yeniden kristalleşme sonucu oluşan yeni taneler ile giderilir (Şekil 3.10).

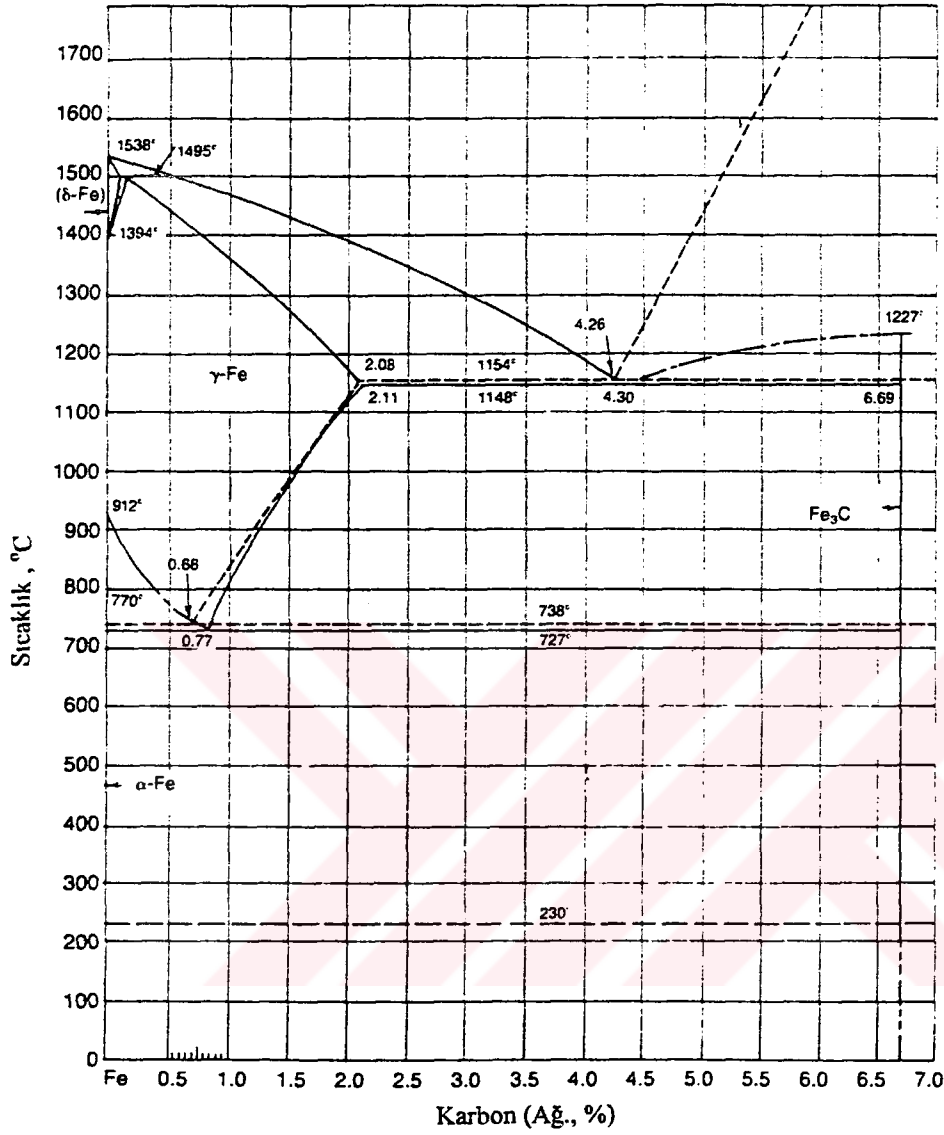


Şekil 3.10. Ezme Sonucu Oluşan Tane Yapısı ve Yeniden Kristalleşme [13].

Malzemenin şerit haddeden çıktığı andaki sıcaklık ikmal yada haddeleme (çıkış) sıcaklığı olarak adlandırılır. Bu sıcaklık değeri malzemenin kimyasal bileşim ve boyutuna göre 760-980 °C civarında değişmektedir. Daha sonra duşlu masalardan geçen şerit istenilen sıcaklığa kadar soğutulur ve bobin sarıcılarda sarılır. Şeridin sarılma öncesi ölçülen sıcaklığına da sarılma sıcaklığı adı verilir ve 540-760 °C arasında değişir.

Sıcak haddelenmiş ürünün mekanik özellikleri ve mikro yapısı (diğer parametreler sabit kalmak koşulu ile) başlıca ikmal ve sarılma sıcaklıklarına göre belirlenir. Yani faz değişimleri ile direk ilgili olan parametreler ikmal ve sarılma sıcaklıklarıdır. Soğuk haddelenmiş ve tavlannmış nihai ürünün mikro yapısı sıcak haddelemeden gelen mikro yapının özelliklerini taşımaktadır. Dolayısıyla soğuk haddelenmiş nihai üründe istenilen mikro yapıyı ve bunun sonucu da istenilen mekanik özellikleri elde etmek için sıcak haddehane proses parametrelerini tespit etmek gerekmektedir.

Düşük karbonlu çeliklerde soğuma sırasındaki faz dönüşümleri Şekil 3.11'deki Fe-Fe₃C denge diyagramından da görüleceği gibi Ar₃ ve Ar₁ eğrilerinde olmaktadır [15]. Metalurjik açıdan malzemelerin eş eksenli ve homojen bir tane yapısına sahip olması için Ar₃ eğrisinin üzerinde faz dönüşümü başlamadan önce haddeleme işleminin bitirilmesi (ikmal edilmesi) ve Ar₁ eğrisinin altında sarılması gerekmektedir [16]. Ancak bu şekilde haddeleme işlemi bittikten sonra çelikte faz değişimlerine izin verilir. Sarılma sıcaklığı haricinde bütün işlemlerin ostenit bölgesinde yapıldığı görülmektedir. Düşük karbonlu bir çeliğin oda sıcaklığındaki mikro yapısı ferrit ve karbürlerden oluşur. Derin çekme kalite çeliklerdeki özellikler; ferritin tane büyüklüğüne, karbürlerin boyut, şekil ve dağılımlarına bağlıdır. Sıcak haddeleme işleminde proses parametrelerinin mikro yapı ve mekanik özelliklere olan etkileri aşağıda anlatılmıştır.



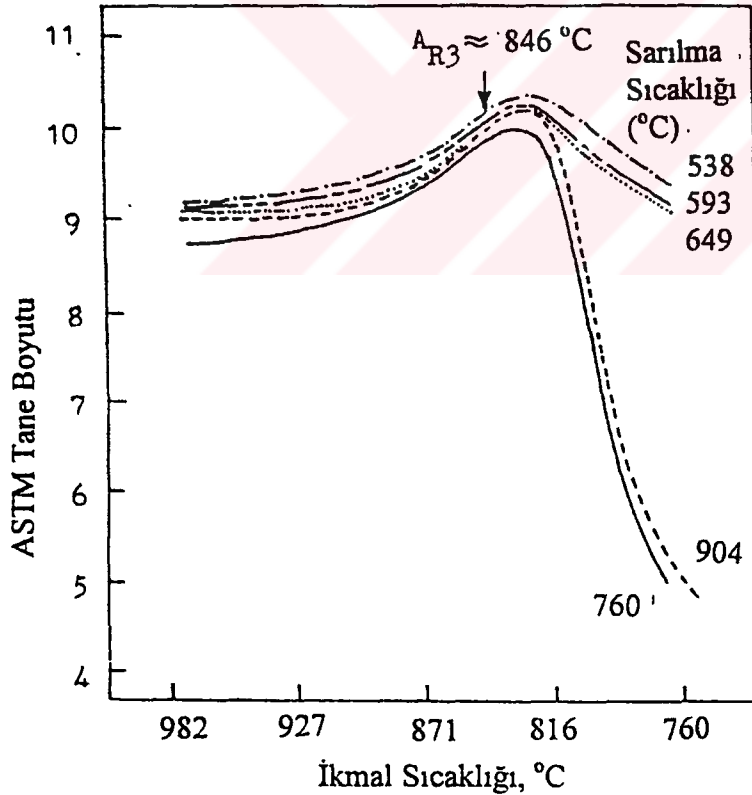
Şekil 3.11. Fe-Fe₃C Denge Diyagramı [15].

3.3.1. Mikro yapı

a) Tane Boyutuna İşlem Sıcaklıklarının Etkisi :

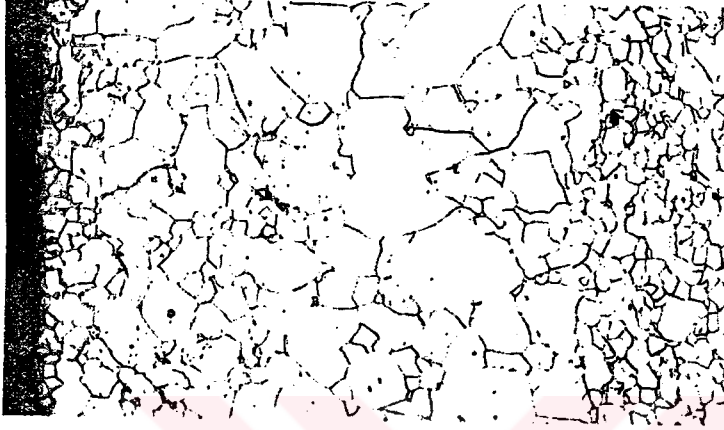
Düşük karbonlu derin çekme kalite çeliklerde Ar₃ eğrisinin altında ferrit, ostenit tane sınırlarında oluşmaya başlar. Ar₁ eğrisi geçildiğinde ostenitin tamamı ferrit ve sementite dönüşmüştür. Sıcak haddeleme işlemi sırasında çelik Ar₃ sıcaklığının

hemen üzerinde haddelenir ve uygun olarak soğutulup sarılırsa homojen ve eş eksenli bir tane yapısı elde edilir. Sıcak haddeleme işleminin başlaması ile ostenit taneleri deforme olarak parçalanır. Oluşan yeni tanelerin büyüklüğü malzemenin sıcaklığına ve ezmeler arasında geçen zamana bağlıdır. Tane büyüklüğüne etki eden en önemli faktör ikmal sıcaklığıdır. İkmal sıcaklığı dönüşüm sıcaklığına (A_{R3}) yaklaştıkça taneler küçülmektedir. İkmal sıcaklığı dönüşüm sıcaklığının altında kalırsa taneler önemli ölçüde büyür. Bu durum bir miktar ferrit oluşumundan sonra haddelemenin iki fazlı bölgede yapılmış olmasından kaynaklanmaktadır. Sonuçta haddeleme yönüne paralel kesitteki mikro yapının orta kısımlarında küçük, yüzeye yakın kısımlarında iri taneler elde edilir. Sarılma sıcaklığı arttıkça ikmal sıcaklığına karşı tane büyüklüğü eğrisinin büyük tane yapısına doğru kaydığı görülmektedir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Al ile Deokside Edilmiş Çeliklerde İkmal ve Sarılma Sıcaklığının Tane Boyutuna Etkisi [14].

İkmal sıcaklığı Ar_3 sıcaklığının altında olduğu zaman sarılma sıcaklığı yüksek ise iri tane yapısı görülürken düşük sarılma sıcaklıklarında deforme olmuş taneler elde edilir (Şekil 3.13). İkmal sıcaklığının düşüklüğüne bağlı olarak bu tabaka genişler [17].



a)



b)

Şekil 3.13. a) İri Tane Yapısı (100X).
b) Deforme Olmuş Tane Yapısı (100X) [17].

b) Sementit Oluşumuna ve Karbür Çökelmesine İşlem Sıcaklıklarının Etkisi :

Çelikte bulunan karbürlerin en belli başlıcası sementit (Fe_3C)'dir. Sementit genelde sert ve kırılgan bir yapıya sahiptir. İşlem sıcaklıklarından özellikle sarılma sıcaklığı yüksek olduğunda sementitler iri parçalar halinde oluşurlar. Bunun nedeni dönüşüme yüksek sarılma sıcaklığında izin verilmiş olmasındandır. Eğer dönüşüm düşük sarılma sıcaklıklarında olursa sementitler daha küçük parçalar halinde oluşur (Şekil 3.14) [17].



Şekil 3.14. a) İri Parçalar Halinde Sementit (500X).
b) Küçük Parçalar Halinde Sementit (500X)[17].

Genel olarak ostenitin ferrite dönüşümü sırasında soğuma hızı düşük ise dönüşüme uğrayacak ostenitin son taneleri yeterli miktarda doymuş olacağından perlit yapısı oluşur. Pratikte ise ostenitin karbonla zenginleşmesi için yeterli zaman bulunamaz. Bunun nedeni malzeme ikmal edildikten hemen sonra soğutulacağından A_{r1} eğrisi geçilmiş olur. Ancak yüksek sarılma sıcaklığında (A_{r1} eğrisinin üzerinde) ve yüksek karbon miktarlarında perlit teşekkül edebilir.

Çeliklerde ferrit yapısındaki karbon çözünürlüğü A_r sıcaklığından aşağı inildikçe azalır. Dolayısıyla soğuma arttıkça ferritten çökelen karbür miktarı artar. Sarılma sıcaklığı arttıkça çökeltme yüksek sıcaklıkta olacağından çökelen karbürlerin ebatları büyük olacak ve sayıları azalacaktır. Sarılma sıcaklığı düştükçe çökeltme düşük sıcaklıklara kayar. Ancak difüzyon için gerekli zaman ve difüzyon hızı azaldığından partiküller küçülür ve üniform olarak yapıya dağılırlar. İkmal sıcaklığı ise malzeme yapısındaki karbürlerin dağılımına etki eder. Düşük ikmal sıcaklığı yani ferrit yapısı oluştuktan sonra haddelemenin yapılması karbürlerin ince, uzun çubuk şeklinde olmasına yol açar. Bu da sıcak haddeleme işleminin iki fazlı bölgede yapıldığını gösterir. Düzgün karbür dağılımı ise haddelemenin ostenit fazından yapıldığının belirleyicisidir.

c) Kristallografik yapıya işlem sıcaklıklarının etkisi :

Fe-Fe₃C denge diyagramında dönüşüm sıcaklığının (A_{r3}) üzerindeki sıcaklıklarda rasgele kristal yönelmesi, altındaki sıcaklıklarda ise tercihli kristal yönelmesi beklenir. Dönüşüm sıcaklığının üzerinde tam anlamı ile rasgele kristal yönelmesi elde edilemezken, dönüşüm sıcaklığının altında da kalınlık boyunca yapı değişmesi oluşur. Ancak yüksek sarılma sıcaklıklarında yapı değişimi azalır. İkmal sıcaklığının A_{r3} 'ten yüksek olması durumunda derin çekilebilirliği yüksek olan kuvvetli (111) ve zayıf (100) yapısı oluşurken düşük olması durumunda derin çekilebilirliği düşük olan zayıf (111) ve kuvvetli (100) yapısı oluşur. A_{r3} 'ün üzerindeki ikmal sıcaklıklarında sarılma sıcaklığının yapı değişimine çok fazla etkisi yoktur.

İkmal ve sarılma sıcaklıklarının çelik kalitesine olan etkileri birçok kez ortaya konulmuştur. Sonuçta, ikmal ve sarılma sıcaklıklarının mikro yapıya olan etkileri özetle şöyle sıralanabilir [18]:

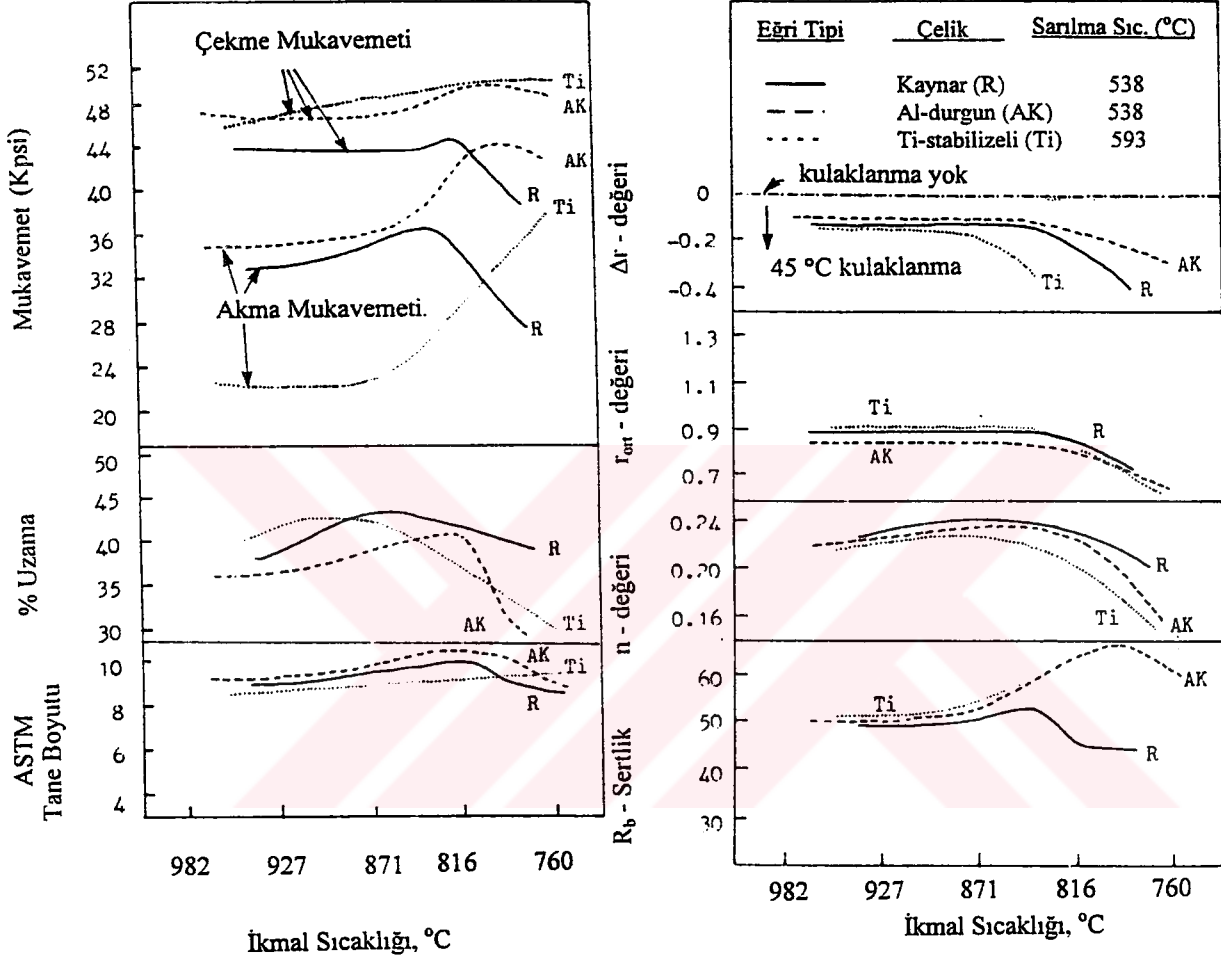
- 1) Sıcak haddelenmiş ürünlerin tane boyutunu saptayan ana faktörlerden biri ikmal sıcaklığıdır.
- 2) Haddeleme işleminin ostenit bölgesinde yapılması ile homojen eş eksenli tanelere sahip yapı elde edilir.
- 3) Anormal ve karışık büyüklükteki tane yapıları ikmal sıcaklığının dönüşüm sıcaklığının (A_{r3}) altına düştüğü durumlarda elde edilir.
- 4) Sarılma sıcaklığı oluşan sementit partiküllerinin boyut ve şekillerini belirler. Yüksek sarılma sıcaklıklarında iri sementitler oluşurken, düşük sarılma sıcaklıklarında ince ve üniform dağılmış sementit partikülleri oluşur.
- 5) İkmal ve sarılma sıcaklıklarını değiştirmek sureti ile düşük karbonlu sıcak haddelenmiş çeliklerde çok değişik karakterde mikro yapılar elde edilebilmektedir.

3.2.2. Mekanik Özellikler

Çeliklerde istenilen mikro yapı nihai ürünlerdeki mekanik özellikleri belirlemektedir. Örneğin ferrit fazı sonucu elde edilen yapı yumuşak bir yapı oluştururken, sementit kırılgan bir yapı oluşturmaktadır. Benzer olarak tane boyutu küçüldükçe akma mukamevetinde artış olurken, tane boyutu büyüdüğünde akma mukavemeti düşmektedir.

Şekil 3.15'den görüleceği gibi dönüşüm sıcaklığının üzerindeki ikmal sıcaklıklarında çelik üzerinde önemli bir değişiklik görülmemektedir. Ancak dönüşüm sıcaklığının yakınında ikmal edilme işleminde çelikte maksimum mukavemet seviyeleri elde edilir. İkmal sıcaklığı dönüşüm sıcaklığının altında olduğu zaman deformasyon sertleşmesi katsayısı düşer ve ferritin şekillendirme özelliği haddeleme ve sarılma sırasında kendi kendine tavlama işleminden dolayı

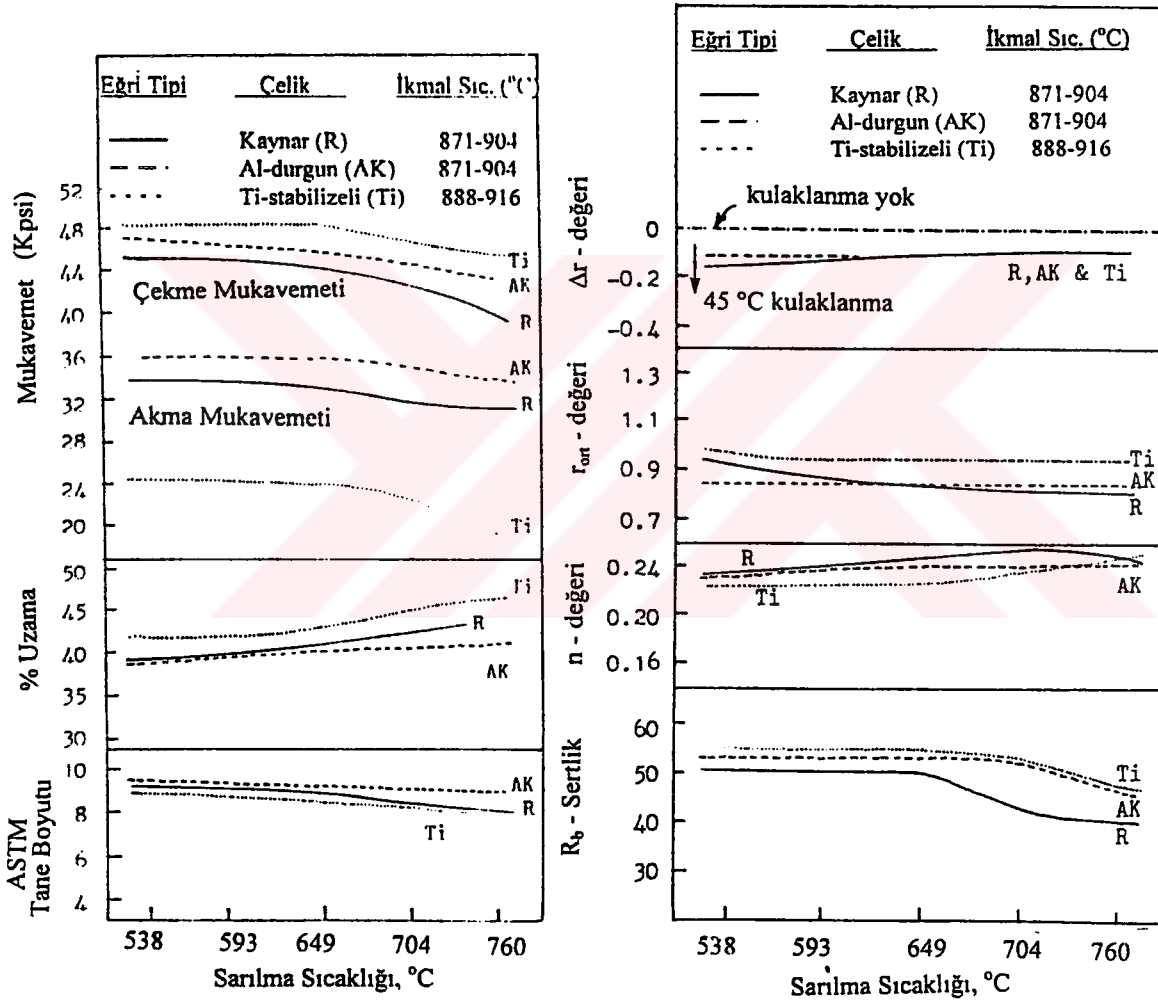
kötüleşir. Sonuçta malzemedeki sertlik, derin çekilebilirlik ve deformasyon sertleşmesi değerlerinde düşme görülür.



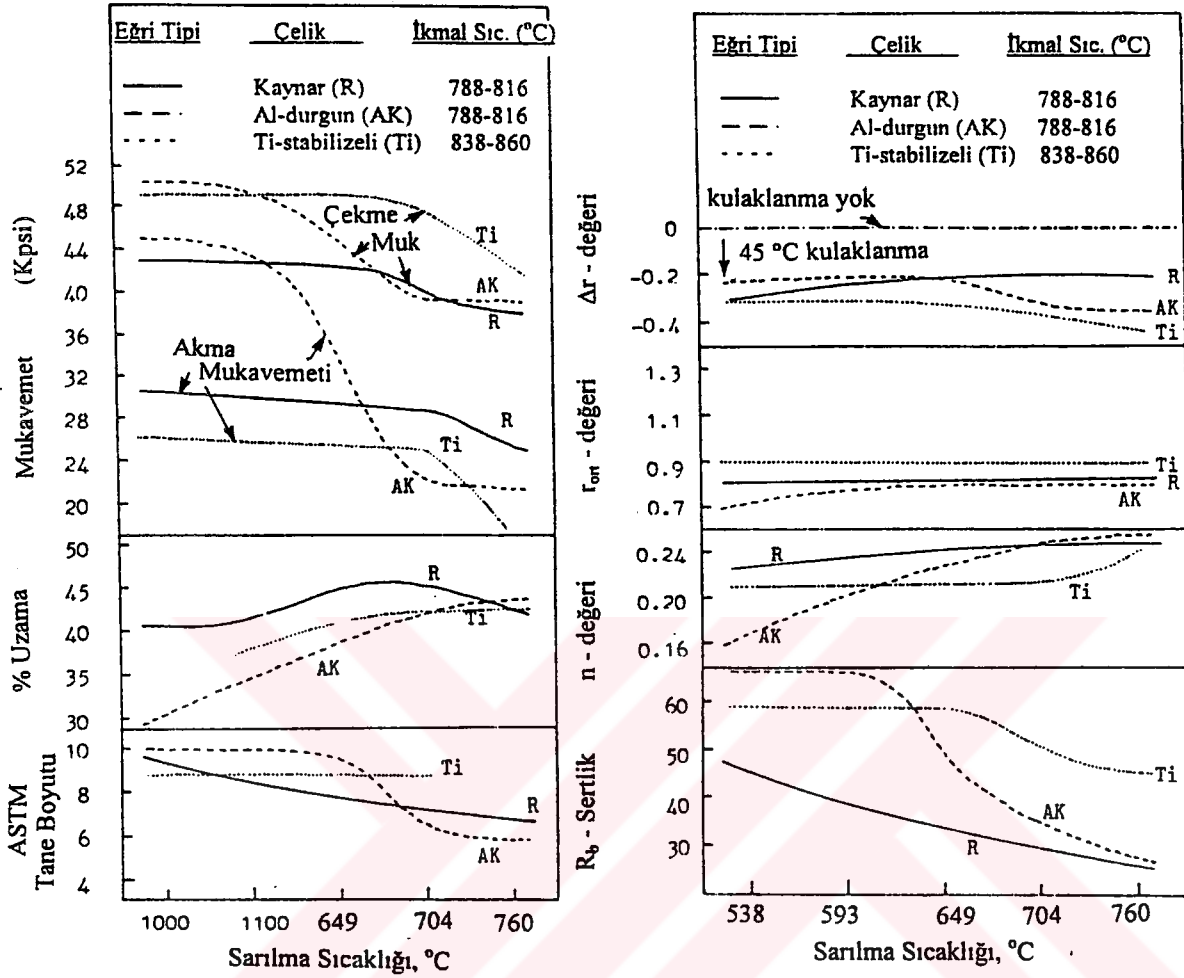
Şekil 3.15. İkmal Sıcaklığının Mekanik Özelliklere Etkisi [19].

Sarıma sıcaklığının mekanik özelliklere olan etkisi ise Şekil 3.16'da gösterilmiştir. Düşük sarıma sıcaklıklarında mekanik özelliklerde az bir değişim görülürken yüksek sarıma sıcaklıklarında tane boyutu büyümesinden dolayı akma ve

çekme mukavemeti azalırken, uzamada bir artış görülür. Şekil 3.16'dan görüldüğü gibi yüksek sarılma sıcaklığında sertlik belirli bir derecede azalır. Deformasyon sertleşmesi değeri ise sarılma sıcaklığı ile beraber bir miktar artma gösterirken, derin çekilebilme değerinde bir değişim görülmez. Hem akma hem de çekme mukavemet değerleri düşük, sarılma sıcaklıklarında daha yüksek değerdedir [19].



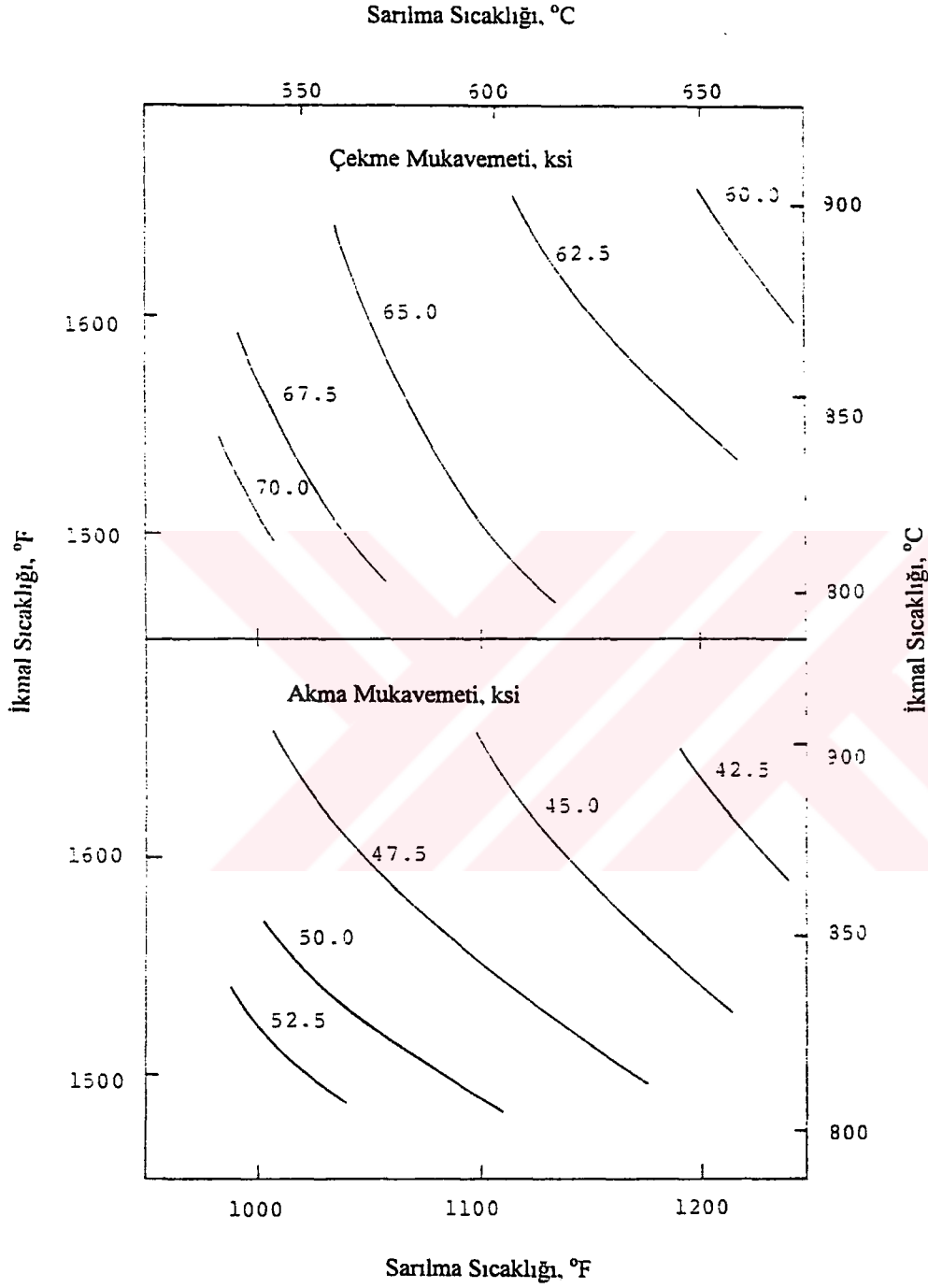
Şekil 3.16. Sarılma Sıcaklığının Mekanik Özelliklere Etkisi [19].



Şekil 3.17. Düşük İkmal Sıcaklığında Sarılma Sıcaklığının Mekanik Özelliklere Etkisi [19].

Şekil 3.17’de daha düşük ikmal sıcaklığında sarılma sıcaklığının mekanik özelliklere etkisi görülmektedir. Burada ise düşük sarılma sıcaklıklarında mekanik özelliklerdeki değişim daha fazla olmaktadır. Yüksek sarılma sıcaklığında ise tane büyümesinden dolayı akma ve çekme mukavemeti azalırken deformasyon sertleşmesi değeri artmaktadır. Derin çekilebilirlik değerindeki değişim ise çok azdır.

Şekil 3.18’de ise % 0.016 C ve % 0.62 Mn içeriğine sahip bir çelikteki akma ve çekme mukavemetinin hem ıkmal hem de sarılma sıcaklığına bağılı olarak değışim eğırleri görülmektedir [20].

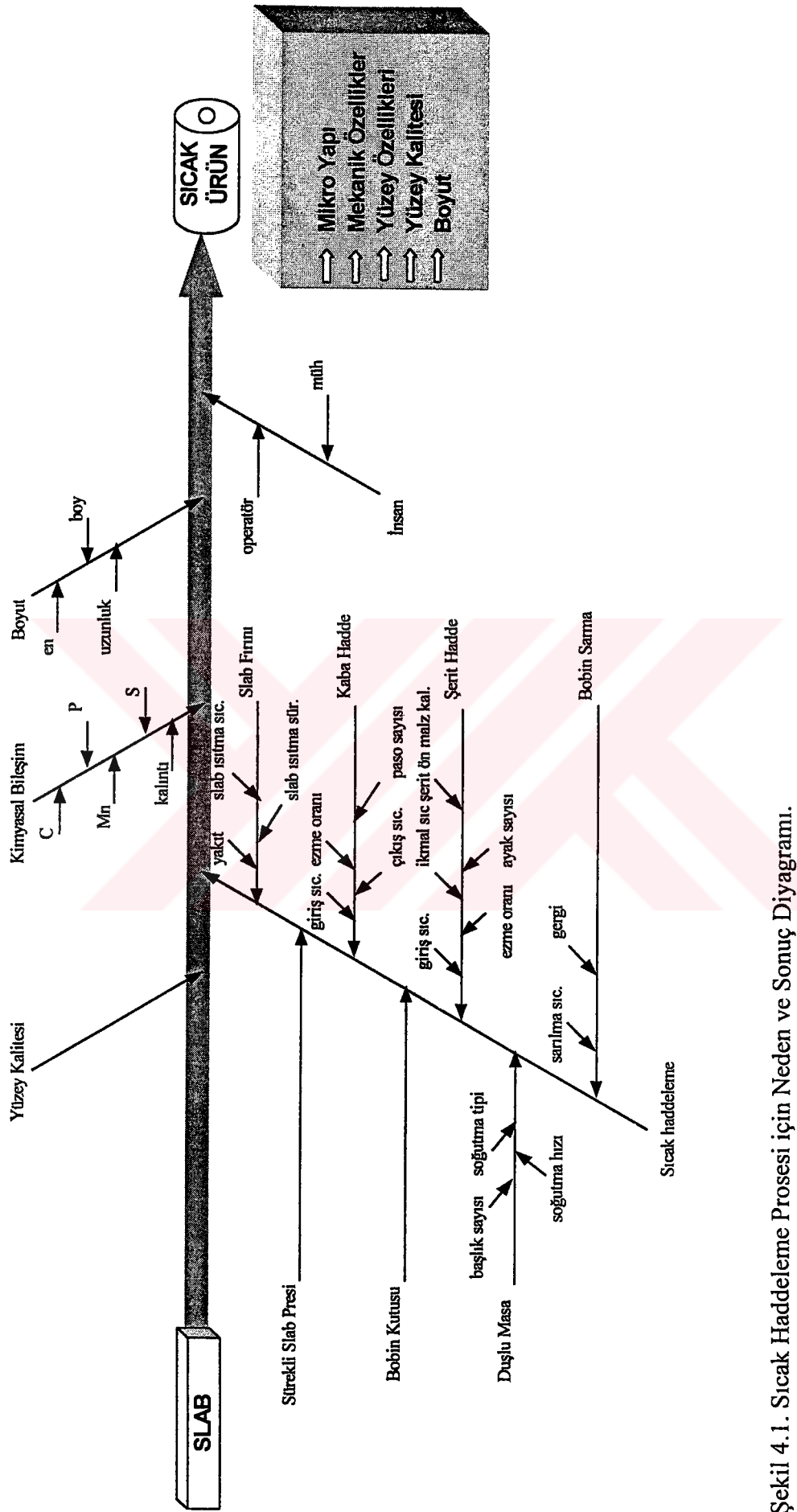


Şekil 3.18. % 0.016 C-% 0.62 Mn’lı Bir Çeliğin İkmal ve Sarılma Sıcaklığına Göre Akma ve Çekme Mukavemet Eğırleri [20].

BÖLÜM 4. SÜREKLİ TAVLAMA PROSESİ İLE TAVLANACAK DERİN ÇEKME KALİTE ÇELİKLERİN SICAK HADDELEME PROSES PARAMETRELERİNİN SAPTANMASI

Sürekli tavlama prosesi ile tavlanaacak olan derin çekme kalite çeliklerin sıcak haddeleme proses parametrelerini belirlemek ve optimize etmek için sıcak ürünlerdeki mikro yapıda, NKK tesislerinde mevcut halde kullanılan proste belirlenen ferrit tane boyutu için ASTM No.9 ile karbür iriliği için belirlenen karbür indeks No.9 hedeflenmiştir. Hedeflenen bu mikro yapının elde edilmesi için uygulanan sıcak haddeleme proses parametreleri ise en uygun proses parametreleri olarak belirlenmiştir. Daha sonra hedef mikro yapının sağlandığı bobinlerdeki mekanik değerlerde optimum mekanik değerler olarak kabul edilmiştir. Yani sürekli tavlama prosesi ile tavlanaacak sıcak ürünün mekanik özellikleri kimyasal bileşim ile birlikte mikro yapı tarafından kontrol edilmektedir [11].

Sürekli tavlama hattında tavlanaacak olan derin çekme çelik kalitelerinin mekanik özellikler ve mikro yapısını belirleyen başlıca sıcak haddeleme proses parametreleri Şekil 4.1'de neden sonuç diyagramı halinde gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi sıcak ürünün nihai özelliklerini etkileyen birçok parametre vardır. Bu parametrelerin bir çoğu kolayca kontrol altında tutulabilmektedir. Ancak özellikle malzemenin faz dönüşümleri ile ilgili olan slab ısıtma sıcaklığı, ikmal sıcaklığı ve sarılma sıcaklığı sıcak ürünün mikro yapı ve mekanik özelliklerini belirleyen başlıca proses parametreleri olduğundan diğer parametrelere göre daha fazla önemlidir. Genel anlamda sıcak üründe kimyasal bileşim ile beraber slab ısıtma sıcaklığı, ikmal sıcaklığı ve sarılma sıcaklığının kontrolü ile soğuk haddelenmiş çeliğin nihai özellikleri belirlenir. Bu nedenle slab ısıtma sıcaklığı ile beraber ikmal ve sarılma sıcaklığının öncelikle hedeflenen mikro yapıya ve o mikro yapının sahip olduğu mekanik özelliklere ulaşabilmek için belirlenmesi ve optimize edilmesi gereklidir.



Şekil 4.1. Sıcak Haddelerleme Prosesi için Neden ve Sonuç Diyagramı.

4.1. Slab Isıtma Sıcaklığı

Sürekli tavlama hattında tavlancak olan derin çekme kalite çeliklerin slab ısıtma fırınlarındaki sıcaklık kontrolleri ürünlerde yüksek kaliteyi sağlamak açısından büyük önem taşımaktadır. Slab ısıtma fırınlarında ısıtma ve bekletme süreleri AIN çökeltilerini çözeltiye almak için yeterli olmalı ve ısıtma slab boyunca homojen olmalıdır. Eğer AIN çökeltileri tamamen çözeltiye alınmazsa, sıcak haddeleme işlemi sırasında anormal tane büyümeleri oluşur. Bundan dolayı özellikle derin çekme kalite çeliklerde AIN'in tamamen çözünmesi ve bunun içinde yeterli slab ısıtma ve bekletme süresi gereklidir. CAL çeliklerinde slab ısıtma sıcaklıkları ve bekletme süreleri Tablo 4.1'de verilmiştir [12].

Tablo 4.1. Sürekli Tavlama Prosesine Uygun Çeliklerin Sıcaklık ve Süre Durumları [12].

Yüzey sıcaklığı (°C)	Toplam Isıtma Süresi (dk)
Slab Yüzey Sıcaklığı > 1000	> 180
Slab Yüzey Sıcaklığı > 1200	> 120

Üretim aşamasında optimum tonaja ulaşabilmek için gerek slab ısıtma sıcaklığı gerekse slab ısıtma süresinin de optimum bir değerde tutulması gerekmektedir. Eğer slab ısıtma sıcaklığı yüksek olursa fırın üretim kapasitesi artar. Fakat özellikle yüksek sıcaklıktan dolayı malzemede tane sınırlarının oksitlenmesinden dolayı kötü bir yüzey kalitesi elde edilir. Düşük slab ısıtma sıcaklıklarında ise nispeten daha ince bir oksit tabakası elde edilirken bunun sonucunda fırın kapasitesi düşer fakat yüzey kalitesi artar. Sonuç olarak CAL çeliklerinde Tablo 4.3'de gösterildiği gibi slab yüzey sıcaklığı 1000 °C'den yüksek ise gerekli olan toplam ısıtma süresi en az 180 dk. iken, 1200 °C'den yüksek yüzey sıcaklıklarında ise bu süre en az 120 dk. civarındadır. Bu sürelere uyulmaması durumunda ayrıca slabın merkez sıcaklığı ile yüzey sıcaklığı arasındaki fark da artacaktır. Kısa ısıtma sürelerinde (120 dk'nın altı) slab boyunca taşınma sırasında

malzemedeki soğuk bölgelerin (skid mark) sıcaklık farklılığı 50 °C'yi aşacaktır. Oysa daha uzun ısıtma sürelerinde oluşacak olan bu sıcaklık farklılığı 30 °C ve daha altı olacaktır. Böylece şeritte homojen olmayan mikro yapıların oluşması engellenecektir.

4.2. İkmal Sıcaklığı

Özellikle CAL çeliklerinde istenilen mekanik özelliklere sahip ve homojen bir mikro yapıdaki ürünü üretmek için ikmal sıcaklığının çok iyi kontrolü gerekir. Bu tip çeliklerde yüksek ikmal sıcaklığının ürün kalitesine getirdiği avantajlar oldukça fazladır. Ancak yüksek ikmal sıcaklığının özellikle sıcak haddehane kapasitesi ve tufal (oksit) oluşum problemi gibi üretime yönelik bir takım zorluluklardan dolayı belirli sınırlamaları vardır. Bu tür çeliklerde istenilen ikmal sıcaklığı klasik yığın tavlama prosesinde olduğu gibi $Ar_3 + (30 \text{ ve } 80 \text{ }^{\circ}\text{C})$ dönüşüm sıcaklığının üstündedir.

İkmal sıcaklığının istenilen değerden düşük olması durumunda % uzama ve derin çekilebilirlik değerleri düşer. İkmal sıcaklığının Ar_3 dönüşüm sıcaklığının altında olması durumunda derin çekilebilme için istenilmeyen kristal yönelmesi elde edilirken Ar_3 'ün çok üstünde de ferrit taneleri irileşmektedir. Bundan dolayı istenilen tane boyutu için ikmal sıcaklığının belirli aralıkta tutulması gerekmektedir (İkmal sıcaklığı = 850-950 °C).

Şekil 4.2'de NKK-Fukuyama tesislerinde Al ile söndürülmüş sürekli tavlama prosesine uygun çelikler için değişik ikmal sıcaklıklarındaki mikro yapılar görülmektedir [6].

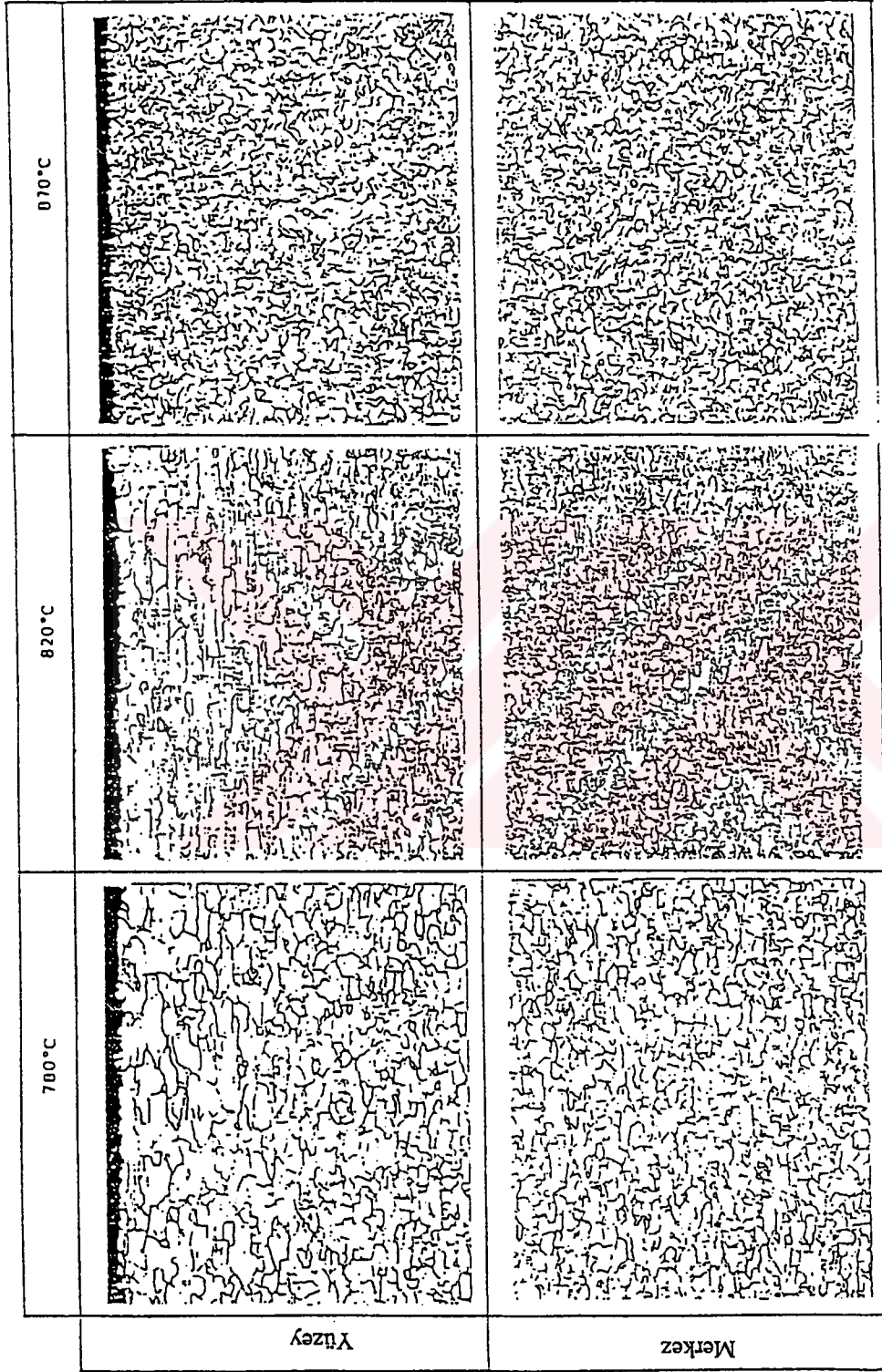
Şekil 4.2'de görüleceği üzere ikmal sıcaklığının düşük olduğu durumlardaki sıcaklıklarda (780 °C) merkezden yüzeye doğru iri ve uzamış ferrit taneleri görülmektedir. Ancak ikmal sıcaklığının 870 °C civarında olduğu durumdaki mikro yapıda homojen ve eşeksenli yapı elde edilmektedir.

Özellikle CAL çeliklerinde istenilen yüksek ikmal sıcaklığının sağlanabilmesi için kaba hadde çıkış sıcaklığının çok iyi bir şekilde kontrol edilmesi gerekmektedir. Düşük karbonlu Al ile durgunlaştırılmış çeliklerde bu sıcaklık değeri 1010-1060 °C civarında olmalı ve bu sıcaklığı kontrol altına alabilmek için şerit hadde giriş

kalınlığı (şerit ön malzemesi) mümkün olduğunca kalın tutulmalıdır. Şerit ön malzemesinin kalınlığındaki 1 mm'lik bir artış sıcaklık değerinde de 1 °C'lik bir artışı beraberinde getirir. Eğer şerit haddeye girecek olan malzemenin sıcaklığı yüksek olursa (>1060 °C) ilk stand'den önce yüzeydeki tufal kaldırılrsa bile malzeme hala sıcak olduğundan ilk stand'den hemen sonra yine tufal oluşur. Oluşan bu tufalın hem malzeme yüzeyine batması hem de daha sonraki asitleme işleminde asit tüketimi artırması karşılaşılabacak diğer problemlerdir.

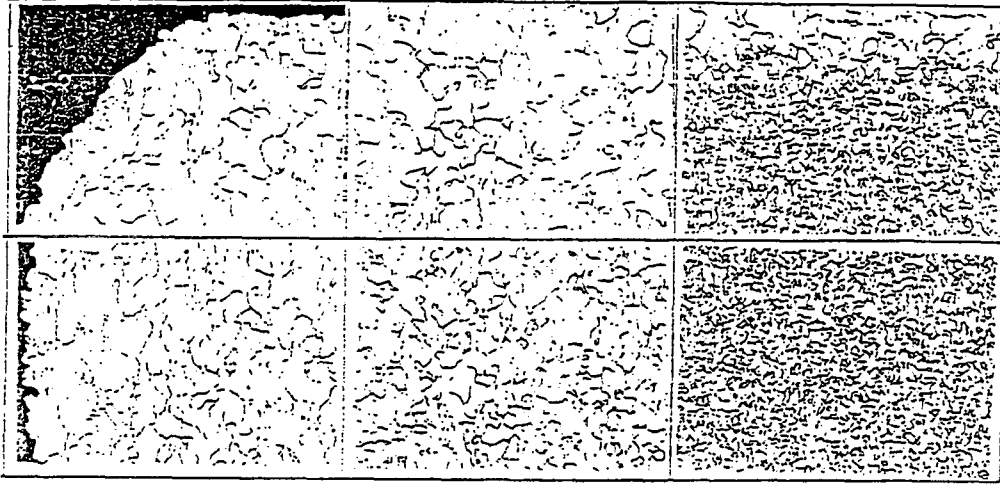
Düşük karbonlu Al ile durgunlaştırılmış CAL çeliklerinde istenilen mekanik özellikleri sağlamak için gerekli mikro yapı sıcaklıkların bobin boyunca homojen oluşturulması ile elde edilir. Bu nedenle özellikle şeridin kenar kısımlarının orta kısımlara nazaran daha hızlı soğumasından dolayı oluşan sıcaklık farklılıklarını önlemek için şerit hadde giriş sıcaklığını yükseltmek yerine ya “coil box” (bobin kutusu) kullanılır yada indüksiyon ile kenardan ısıtma işlemi yapılır. Genel olarak şerit ön malzemesinde kenar-orta sıcaklık farkı yaklaşık $\Delta T = 40$ °C'dir. Coil box veya kenar ısıtma gibi işlemlerle kenar-orta arasındaki sıcaklık farklı minimuma indirilmektedir.

Şekil 4.3'de şerit kenarından içeriye doğru mikro yapı değişiminin bobin kutusu olmadan veya bobin kutusu kullanımı sonucu nasıl değiştiği görülmektedir [21]. Bobin kutusu kullanılmadığı zaman heterojen tane yapısına bir mikro yapı elde edilirken, bobin kutusu kullanımı sonucu daha homojen bir tane yapısı elde edilmektedir.

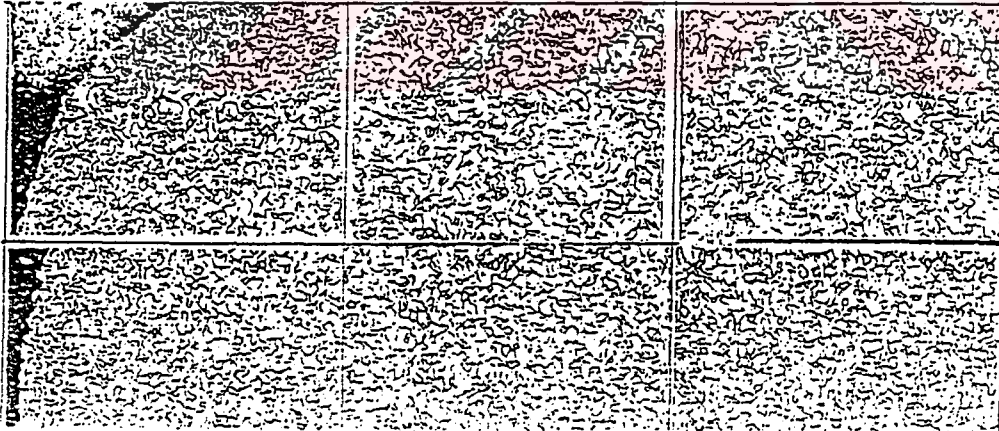


Sarılma Sıcaklığı = 700 °C

Şekil 4.2. İkmal Sıcaklığının Mikro Yapıya Olan Etkisi (100X) [6].



a)



b)

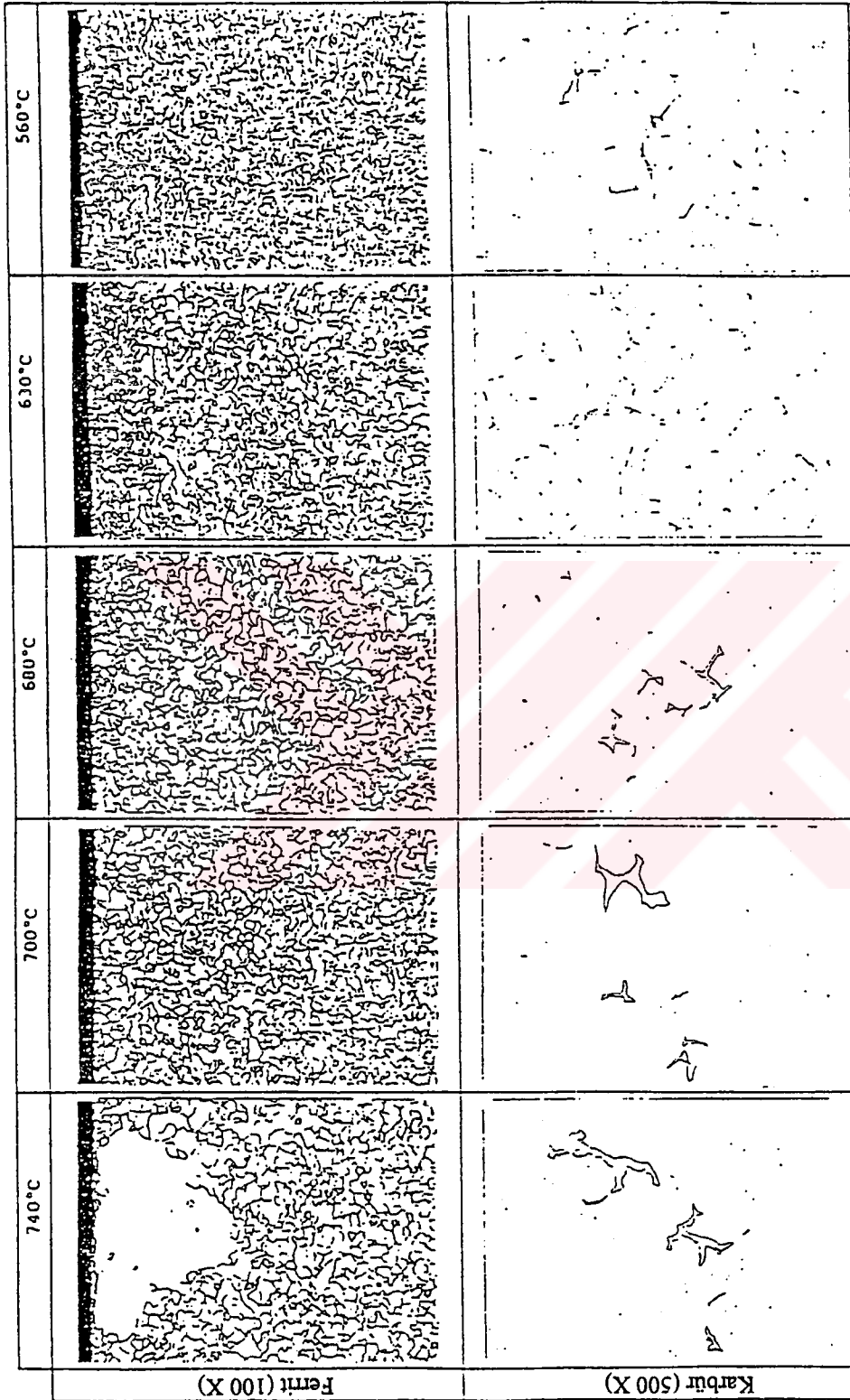
Şekil 4.3 a) Bobin Kutusu Olmadan Elde Edilen Mikro Yapı (100X)
b) Bobin Kutusu Kullanımı Sonucu Elde Edilen Mikro Yapı (100X) [21].

Sürekli tavlama prosesinde tavlancak olan derin çekme çelik kalitelerin bobin boyunca homojen ıkmal sıcaklığına sahip olması gerekmektedir. Bobin boyunca homojen ıkmal sıcaklığının sağlanabilmesi için şerit haddede ayak'lar arasındaki soğutma sularının çok iyi kontrol edilmesi gereklidir. Bu nedenle şerit haddede hat hızının çok iyi bir şekilde kontrolü ile şerit yüzeyinde su birikintilerinin kalmaması sağlanmalıdır.

4.3. Sarılma Sıcaklığı

Sürekli tavlama hattında tavlancak olan derin çekme kalite çeliklerin derin çekilebilirlik özelliklerini arttırmak amacı ile hem ferritin tane büyümesini hızlandırmak hem de karbürlerin toplanmasını teşvik etmek amacı ile yüksek sarılma sıcaklıkları tercih edilir. Klasik yığın tavlama işleminde uygulanan düşük sarılma sıcaklıklarında, Al ve N katı çözelti içinde tutulur. Daha sonra yavaş soğutma ile yeniden kristalleşme ve aynı zamanda AlN çökmesi sağlanır. Bu işlem malzemede (111) yapısının oluşmasında çok etkilidir. Oysa sürekli tavlama prosesi AlN kristal yapısını oluşturmada yığın tavlama prosesinde olduğu gibi çok etkili değildir. Bu nedenle AlN'in istenilen mekanik özellikleri sağlamak ve azotun sürekli tavlama işlemi sırasındaki olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak için tavlamadan önce çökeltmesi gerekir. Böylece sarılma sıcaklığının yüksek olması ile ferrit tane boyutu ile karbürlerin iri olması ve AlN'nin tamamen çökmesi sağlanır [22]. Bunun sonucunda çok iyi şekillendirilme özelliğine sahip derin çekme kalite çelikler elde edilir. Ancak sarılma sıcaklığının çok yükselmesi durumunda anormal tane büyümeleri olur ve sonuçta da haddelenmiş üründe süneklik düşer ve mekanik özellikler kötüleşir. Alüminyum ile durgunlaştırılmış CAL çeliklerinde istenilen sarılma sıcaklığı $T \geq A_{r1} + 80 \text{ }^{\circ}\text{C}$ civarındadır [12].

Şekil 4.4'de NKK Fukuyama tesislerinde yapılan denemeler sonucunda değişik sarılma sıcaklıklarındaki ferrit ve karbür yapıları görülmektedir [39]. Şekil 4.4'den de görüldüğü gibi sarılma sıcaklığının 630 °C'den yüksek olduğu durumda taneler büyürken karbürlerde irileşmektedir. Sarılma sıcaklığının yükselmesi durumunda (~ 740 °C) ise anormal tane büyümeleri oluşmaktadır. Bu nedenle sarılma



Şekil 4.4. Sıcak Haddelenmiş Üründeki Sarılma Sıcaklığının Mikro Yapıya Olan Etkisi [3].

sıcaklığının optimum bir aralıkta yani anormal tane büyümelerinin olmadığı bir sıcaklıkta tutulması gerekmektedir. Tablo 4.2’de NKK-Fukuyama tesislerinde uygulanan ikmal ve sarılma sıcaklıkları görülmektedir [11].

Tablo 4.2. Çeşitli Kalitelerdeki İkmal ve Sarılma Sıcaklıkları [11].

Mamul Cinsi	Çelik Tipi	İkmal Sıcaklığı (°C)	Sarılma Sıcaklığı (°C)
Çekme ve Derin Çekme Kalite	Al ile Söndürülmüş	$Ar_3 + (30-80)$	$\geq Ar_1 + 80$
Ekstra Derin Çekme Kalite	Intersititial Free (IF)	$Ar_3 + (30-80)$	*
Yüksek Mukavemetli Kalite	Al ile Söndürülmüş	$Ar_3 + (30-80)$	$Ar_1 - 60$

* Sarılma sıcaklığı çok etkili değildir. Ancak yinede yüksek sarılma sıcaklığı karbür çökmesinden dolayı oluşan sertleşmeyi azaltması açısından tercih edilmektedir.

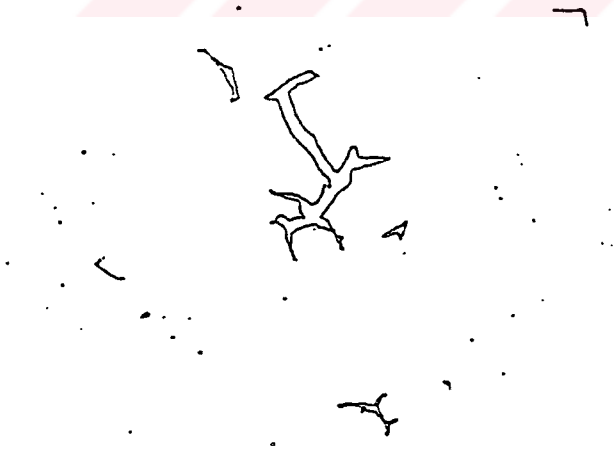
Gerçekte tabloda NKK-Fukuyama tesisleri için verilen bu değerler her bir işletmede yapılan çok sayıdaki denemeler sonucu bulunmaktadır. Her tesisteki koşulların farklı olmasından dolayı o tesise ait proses parametrelerinin mutlak suretle kendine özgü olarak belirlenmesi ve optimize edilmesi gereklidir. NKK tesislerinde Al ile söndürülmüş, çekme ve derin çekme kalite çeliklerin mikro yapısında tane boyutu için hedeflenen ASTM tane boyutu No.9 ve karbür iriliği için hedeflenen karbür indeks No.9 değerlerini sağlayan ikmal sıcaklığı 870 °C ve sarılma sıcaklığı ise 680 °C’dir (Şekil 4.5) [23].

Sürekli tavlama prosesine uygun çeliklerde istenilen sarılma sıcaklığının elde edilmesi ve kontrolü tamamen duşlu masalardaki soğutmanın kontrolü ile gerçekleşmektedir. Klasik üretimde soğutma işlemi, malzeme şerit haddeden çıktığı an duşlu masaların devreye girmesi ile olur. CAL çeliklerinde ise, şerit haddeden çıkan bobinin öncelikle havada soğumasına izin verilir ve böylece kristalleşmenin oluşması için imkan tanınır. Daha sonra da duşlu masalarda su ile soğutma yapılarak

şerit, bobin sarıcılarda sarılır. Yani özellikle CAL çeliklerinde soğutma zonunun ilk bölgesindeki soğutma hızı daha yavaş iken son kısımlardaki soğutma hızı daha şiddetli olmalıdır. Soğutma zonunun baş kısımlarında yapılacak olan aşırı soğutma (yüksek soğutma hızı) malzemede



a)



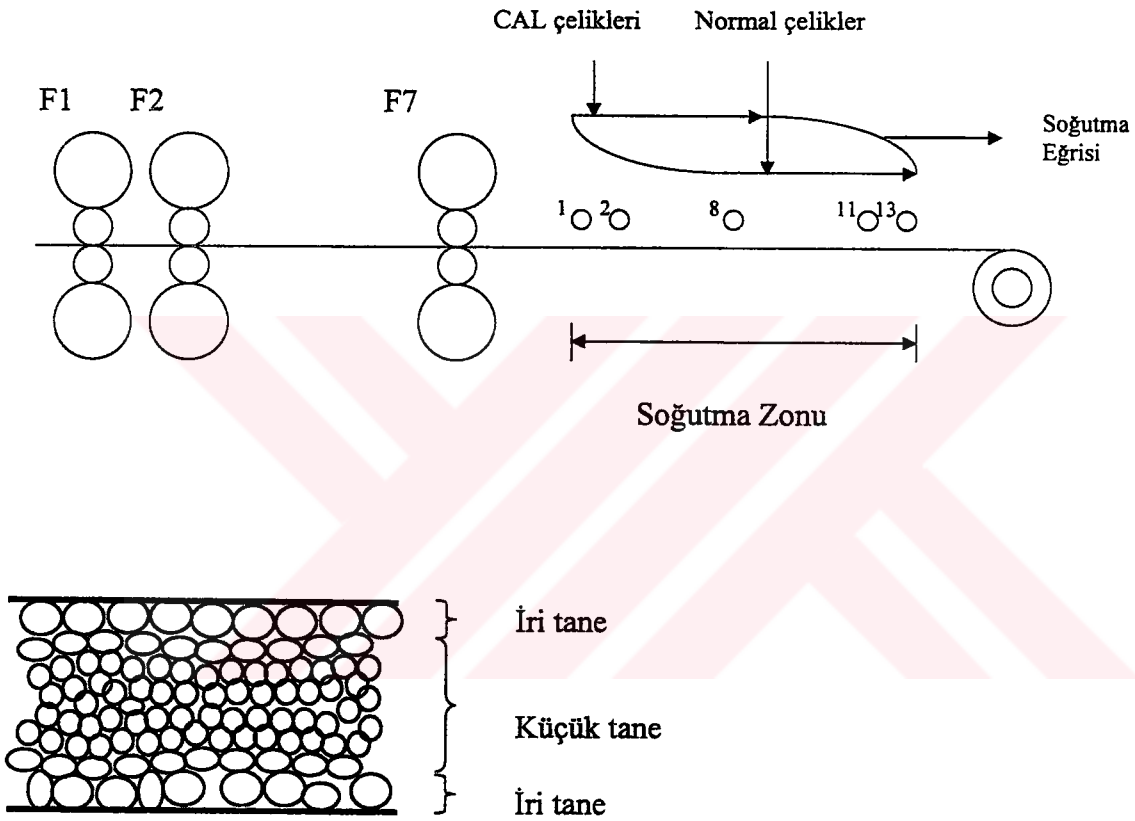
b)

Şekil 4.5. Sıcak Üründe Hedef Mikro Yapı

a) Tane Yapısı (ASTM No.9) (100X)

b) Karbür Yapısı (Karbür İndeks No.9) (500X) [23].

yarattığı gerilimlerden dolayı yüzeydeki tanelerin büyümesine neden olmakta ve sonuçta mikro yapıda heterojen bir tane yapısı oluşmaktadır. Yani hızlı soğutma oranı yüksek gerilimleri, bu da homojen olmayan tane yapısını oluşturur. Sonuçta da özellikle derin çekme kalitelerde derin çekilebilirlik değerlerinde bir kötüleşme görülür. Bundan dolayı aşırı soğutma işleminin soğutma zonunun son bölümlerinde yapılması gereklidir. Şekil 4.6'da sürekli tavlama prosesi için tavsiye edilen soğutma eğrisi görülmektedir [21].



Yüksek soğutma hızında oluşan mikro yapı

Şekil 4.6. CAL Çeliklerinde Soğutma Eğrisi ve Mikro Yapı [21].

CAL çeliklerinde istenilen mikro yapı ve mekanik değerler için bobinlerin baş ve sonunda yüksek sarılma sıcaklığını sağlamak soğumanın yüksek hızlarda olmasından dolayı oldukça zordur. Bobinin baş ve sonlarında hızlı soğumadan dolayı hem iri karbür hem de AlN çökmesi yeterli olmamaktadır. Bundan dolayı bobinin baş ve sonlarından itibaren belirli bir mesafe bobinin orta kısmına nazaran 40 °C veya daha yüksek bir sıcaklıkta sarılması gerekir. Bu işlemin sağlanabilmesi için ise özellikle bobinin baş ve sonlarındaki bölgelerde su ile soğutma işleminin

yapılmaması gerekir. Sistem, soğutma sularının açılıp kapanmasına hızlı cevap verecek yapıda olmalı ve duşlu masanın boyu ile haddeleme hızı dikkate alınarak kontrol yapılmalıdır. Yani soğutma zonundaki kontrolün tamamen bilgisayar sistemi ile tasarlanması gerekmektedir. NKK-Fukuyama tesislerinde bobin baş ve sonlarında dahil tüm şerit boyunca homojen bir tane yapısı elde edebilmek için uygulanan proses şöyledir [12]:

- Bobin başı ; ilk 80 metre susuz sarma,
- Bobin ortası ; sarılma sıcaklığı ~ 680 °C,
- Bobin sonu ; son 80 metre susuz sarma.

Şekil 4.7’de NKK-Fukuyama tesislerinde uygulanan sürekli tavlama prosesinde tavlanaacak olan derin çekme kalite çeliklerin ikmal ve sarılma sıcaklıklarının profilleri görülmektedir.



Şekil 4.7. NKK-Fukuyama Tesislerinde Uygulanan İkmal ve Sarılma Sıcaklıkları [12].

BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Sürekli tavlama hattında tavlancak olan derin çekme kalite çeliklerin oranı son yıllarda konvansiyonel tavlamaya nazaran hızla artmıştır. Yüksek derin çekme kabiliyetine sahip olan düşük karbonlu Al ile deokside edilmiş çeliklerin sürekli tavlama hattında üretilmesi için uygun AlN çökeltileri ile yeniden kristalleşmenin kontrolü ve tavlamadan sonra karbonun çözeltide bırakılmaması amaçlanmaktadır [13].

Özellikle sıcak haddeleme sırasında uygulanan yüksek sarılma sıcaklığı sürekli tavlama hattında tavlancak olan çeliklerin derin çekilebilirliğini arttırmada gerek N' un AlN olarak bağlanması gerekse karbürlerin irileştirilmesi açısından oldukça etkilidir. Yüksek sarılma sıcaklığı sıcak üründe N' un AlN olarak bağlanmasını, ince AlN çökeltilerinin sürekli tavlama sırasında daha az olmasını ve tavllanmış üründe tane büyümesine izin verilmesini sağlar [24]. Sonuçta da derin çekilebilirlik açısından tercih edilen (111) yapısı elde edilir. Derin çekilebilirlik ayrıca azot miktarının azaltılması ile de artırılabilir. Azot miktarının düşmesi sarılma sıcaklığının daha çok yükseltilebilmesine olanak sağlar.

Mekanik özellikleri olumsuz yönde etkileyen yaşlanmanın oluşmasını engellemek için gerek yaşlanma prosesi (Over Aging) gerekse soğutma paternlerinin uygulanması ile çelik içinde çözeltide kalan karbon miktarı azaltılır. Sonuçta hızlı bir yaşlandırma prosenin uygulanmasından sonra çözeltide kalan karbon miktarı düşer.

Bu çalışmada, özellikle sürekli tavlama hattında tavlancak olan Al ile deokside edilmiş düşük karbonlu derin çekme kalite çeliklerin sıcak haddeleme proses parametrelerinin belirlenmesi ve optimizasyonu ile bunların mikro yapıya sonuçta da mekanik özelliklere olan etkilerinin araştırılması için deneyler yapılmıştır. Bu deneyler sonucu, hedeflenen mikro yapıyı ve mekanik test değerlerini sağlayan sıcak haddeleme proses parametreleri belirlenmiştir.

5.1. Sıcak Haddehanenin Özellikleri ve Yerleşimi

Sürekli tavlama hattında tavlancak olan düşük karbonlu Al ile deokside edilmiş derin çekme kalite çeliklerin sıcak haddeleme proses parametrelerinin optimizasyonu amacı ile yapılan çalışmalar Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş. (ERDEMİR) II. sıcak haddehane tesislerinde yapılmıştır. II. sıcak haddehane 1978 yılında 1.660.000 ton/yıl kapasite ile kurulmuş ve 1992-1995 yılındaki modernizasyon ile kapasitesi 3.5×10^6 t/yıl'a ulaşmıştır. Bu kapasite artışını sağlayan başlıca ekipmanlar şunlardır :

- 3 No.lu Slab Fırını
- Ön Hadde 1 (R1) İlavesi
- Sürekli Slab Presi İlavesi
- Ön Hadde 2 Motor Gücü Artışı
- Ön Hadde Masa Tahrik Sistemi
- Bobin Kutusu İlavesi
- Şerit Hadde Motor Gücü Artışı
- Şerit Haddede 7. Ayak İlavesi
- 2. Bobin Sarma Modernizasyonu
- 3. Bobin Sarma İlavesi
- Bilgisayar Kontrollü Üretim

Erdemir II. sıcak haddehanenin yerleşim durumu Şekil 5.1'de görülmektedir.

Erdemir II. sıcak haddehanenin hat boyunca ekipmanların teknik özellikleri ise aşağıda verilmiştir [25].

1) Slab Isıtma Fırını No. 2 ve No. 3 (Slab Reheating Furnaces)

Fırın Tipi ve Bölge Adedi : İtmeli tip ve 5

Yakıt Türü : Kok gazı (Coke Oven Gas), Fuel Oil No. 6 ve doğal gaz

Kapasite (ton/s) : 320

Ebat (boy x genişlik, m) : 32 x 13.20

Slab Çıkış Sıcaklığı (°C) : 1250

- Homojen ısıtma için semi-hot skid (yarı kızgın kızak)
- Havayı ısıtmak için borulu tip (tube -type) reküperatör
- Proses kontrol için “Distributed Control System”

2) Slab Ebatlandırma Presi (Slab Sizing Press-SSP)

Tipi : Flying tip

Motor Gücü (HP) : 2700

Motor Hızı (RPM) : 0/500

Genişlik Daraltma (mm, max) : 250

3) Ön Hadde (R1 ve R2-Roughing Mill) ve Bağımlı Kenarcı (Edger)

	<u>R1</u>	<u>Edger</u>	<u>R2</u>
Merdane Sayısı	: 2	2	4
Merdane Boyu (mm)	:1676	406	1676
İş Merdanesi Çapı (mm, max)	:1270	864	1041
Destek Merdanesi Çapı (mm, max)	: -	-	1359
Motor Gücü (HP)	: 8000	1250	12000

Motor Hızı (RPM) : 0/40/100 0/100/250 0/50/100

Ön Hadde Merdane Tipi : Çelik döküm veya dökme demir

Ön Hadde Merdane Sertliği (ShC) : 70-75

Şerit Ön Malzemesi (Kalınlık x genişlik, mm): 24-25x600-1500

Edger Merdane Tipi : Yüksek kromlu çelik döküm
veya dökme demir

Edger Merdane Sertliği (ShC) : 45-55/60-65

- Bağımlı kenarcı Otomatik Genişlik Kontrolü (Automatic Width Control)

4) Bobin Kutusu (Coil Box)

Sarma Kalınlığı (mm, max) : 42

Merdane Çapı (mm) : 400

Motor Hızı (RPM) : 400/960

5) Kırpıntı Makası (Crop Shear)

Tipi : Çift Dişli Drum Tip

Motor Gücü (HP) : 375

Merdane Çapı (mm) : 890

Motor Hızı (RPM) : 375/750

Kapasite (max. kalınlık x genişlik, mm) : 45 x 1300

6) Şerit Hadde (Finishing Mill)

<u>Stand No</u>	<u>Motor Hızı (RPM)</u>	<u>Merdane Sayısı</u>	<u>Merdane Boyu (mm)</u>
F1	0/150/375	4	1676
F2	0/150/375	4	1676
F3	0/150/375	4	1676
F4	0/150/375	4	1676
F5	0/150/375	4	1676
F6	0/150/375	4	1676
F7	0/175/490	4	1676

	İş Merdane	Destek	
	Çapı	Merdane	
<u>Stand No</u>	<u>(max,mm)</u>	<u>çapı (max, mm)</u>	<u>Motor Gücü (HP)</u>
F1	699	1359	6000
F2	699	1359	6000
F3	699	1359	6000
F4	699	1359	6000
F5	699	1359	6000
F6	699	1359	6000
F7	699	1359	5000

Merdane tipi : Yüksek kromlu dökme demir

Merdane Sertliği(ShC) : 70-75

- F5 ile F7 arasında Hadde Kaydırma Sistemi (Work Roll Shifting-WRS), Hadde Bükme Sistemi (Work Roll Bending-WRB) ve Hidrolik Otomatik Kalınlık Kontrolü (Automatic Gauge Control-AGC)
- Hat boyunca X-ray kalınlık ölçme ve profil ölçme cihazı ile bobin sarma girişinde otomatik genişlik kontrolü

7) Bobin Sarma (Coiler)

Sarıcı Numarası	:	No.1	No.2	No.3
Max. spesifik bobin ağı. (kg/mm)	:	14.5	23.2	23.2
Max. bobin çapı (mm)	- iç :	711	762	762
	- dış :	1870	2140	2140
Motor hızı (RPM)	:	340/1020	300/910	300/910

- Sistemde Otomatik Sıçrama Kontrolü (Automatic Jumping Control)

8) Duşlu Masalar (Cooling Zone)

- Üst 15 x 4, laminar tip
- Alt 15 x 2, sprey tip

Erdemir II. sıcak haddehane'de üretim sonucu elde edilen ürünün özellikleri ise aşağıdaki gibidir.

Bobin Kalınlığı	:	min 1.5/max 16 mm
Bobin Genişliği	:	min 580/max 1525 mm
Bobin Ağırlığı	:	max 28.000 kg
Bobin Çapı (iç)	:	711-762 mm
Bobin Çapı (dış)	:	1870 - 2140 mm

NKK tesislerindeki sıcak haddehane 1966 yılında kurulmuş ve 1989-1990 yılındaki modernizasyon ile kapasitesi 4.3×10^6 t/yıl'a ulaşmıştır. NKK tesislerindeki sıcak haddehanenin yerleşimi Şekil 5.2'de verilmiştir. NKK tesislerinde ki sıcak haddehanenin hat boyunca ekipmanların teknik özellikleri ise aşağıda verilmiştir [6,12].

1) Slab Isıtma Fırını No. 1, 2, 3, 4, 5

Fırın Tipi ve Bölge Adedi : İtmeli-yürüten tip ve 5

Yakıt Türü : Kok gazı (Coke Oven Gas), Fuel Oil No. 6 ve doğal gaz

Kapasite (ton/s) : 220

Ebat (boy x genişlik, m) : No 1 ve 2 için 36 x 10 - No4 ve 5 için 32 x 9.8

Slab Çıkış Sıcaklığı (°C) : 1250

2) Ön Hadde (R1-R2-R3-R4-R5) ve Bağımlı Kenarcı (Edger)

- R1 hariç diğerlerinin girişinde edger var.
- Dik Tufal kırıcı (VSB) var.

Edger	Motor Gücü (HP)	VSB	: 150 x 1 AC
-------	-----------------	-----	--------------

E2	: 410 x 2 DC
----	--------------

E3	: 410 x 2 DC
----	--------------

E4	: 410 x 1 DC
----	--------------

E5	: 410 x 1 DC
----	--------------

Kaba Hadde Tipi	R1	: 2Hi (2 merdaneli)
-----------------	----	---------------------

R2	: 2Hi
----	-------

R3	: 4Hi
----	-------

R4 : 4Hi

R5 : 4Hi

Kaba Hadde Motor Gücü (Kw) R1 : 3750 x 1

R2 : 3750 x 1

R3 : 7000 x 1

R4 : 7000 x 1

R5 : 7000 x 1

4) Kenar Isıtıcı (Bar Heater)

Tipi : İndüksiyon

Kapasite (Kw) : 3600

5) Kırpıntı Makası (Crop Shear)

Tipi : Çift Dişli Drum Tip

Motor Gücü (Kw) : 410

Kapasite (max. kalınlık x genişlik, mm) : 40 x 1900

6) Şerit Hadde (Finishing Mill)

<u>Stand No</u>	<u>Motor Hızı (RPM)</u>	<u>Merdane Sayısı</u>	<u>Motor Gücü (Kw)</u>
F1	350	4	4000 x 2
F2	350	4	4000 x 2
F3	350	4	4000 x 2
F4	310	4	4000 x 2
F5	450	4	4000 x 2

F6	590	4	2667 x 2
F7	640	4	2667 x 2

- F5 ile F7 arasında Hadde Kaydırma Sistemi (Work Roll Shifting-WRS), Hadde Bükme Sistemi (Work Roll Bending-WRB) ve Hidrolik Otomatik Kalınlık Kontrolü (Automatic Gauge Control-AGC)
- Hat boyunca X-ray kalınlık ölçme ve profil ölçme cihazı ile bobin sarma girişinde otomatik genişlik kontrolü

7) Bobin Sarma (Coiler)

Sarıcı Numarası	:	No.1	No.2	No.3
Max. spesifik bobin ağı. (kg/mm)	:	24.5	24.5	24.5
Max. bobin çapı (mm)	- iç :	750	750	750
	- dış :	1095	1080	1080
Motor hızı (RPM)	:	920	750	750

- Sistemde Otomatik Sıçrama Kontrolü (Automatic Jumping Control)

8) Duşlu Masalar (Cooling Zone)

- Üst 15 x 4, laminar tip
- Alt 15 x 2, sprej tip

NKK sıcak haddehanesinde üretim sonucu elde edilen ürünün özellikleri ise aşağıdaki gibidir.

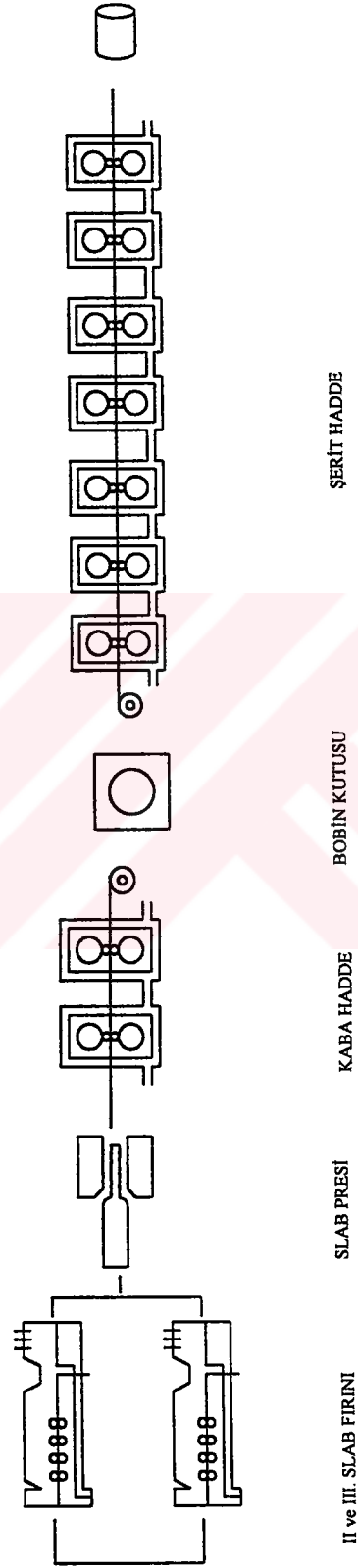
Bobin Kalınlığı	: min 1.2/max 22 mm
Bobin Genişliği	: min 650/max 1920 mm
Bobin Ağırlığı	: max 24.000 kg

Bobin apı (i) : 750 mm

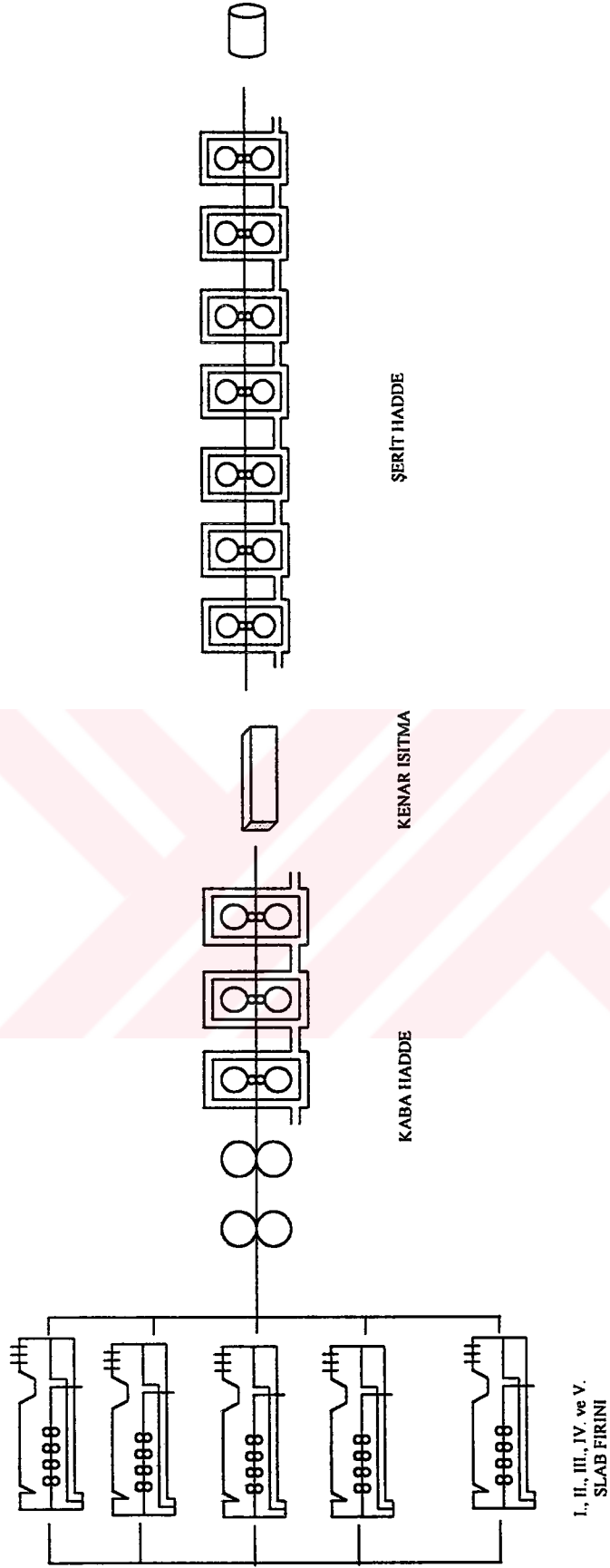
Bobin apı (dış) : 1092 - 2070 mm

Her iki tesis proses ve ekipman yerleşimi açısından incelendiğinde bazı farklılıkların olduğu görölmektedir. Bu farklılıkların başında slab fırını, kaba hadde ve bobin sarıcı adedi gelmektedir. NKK tesislerindeki slab fırını, kaba hadde ve bobin sarıcı adedi Erdemir II. sıcak haddehanesine göre daha fazladır. Diğer bir farklılıkta şerit hadde girişindedir. NKK tesislerinde malzemenin sıcaklık kayıpları şerit haddeye girmeden önce kenar ısıtma ile önlenirken, Erdemir II. sıcak haddehanesinde bobin kutusu kullanılmaktadır.

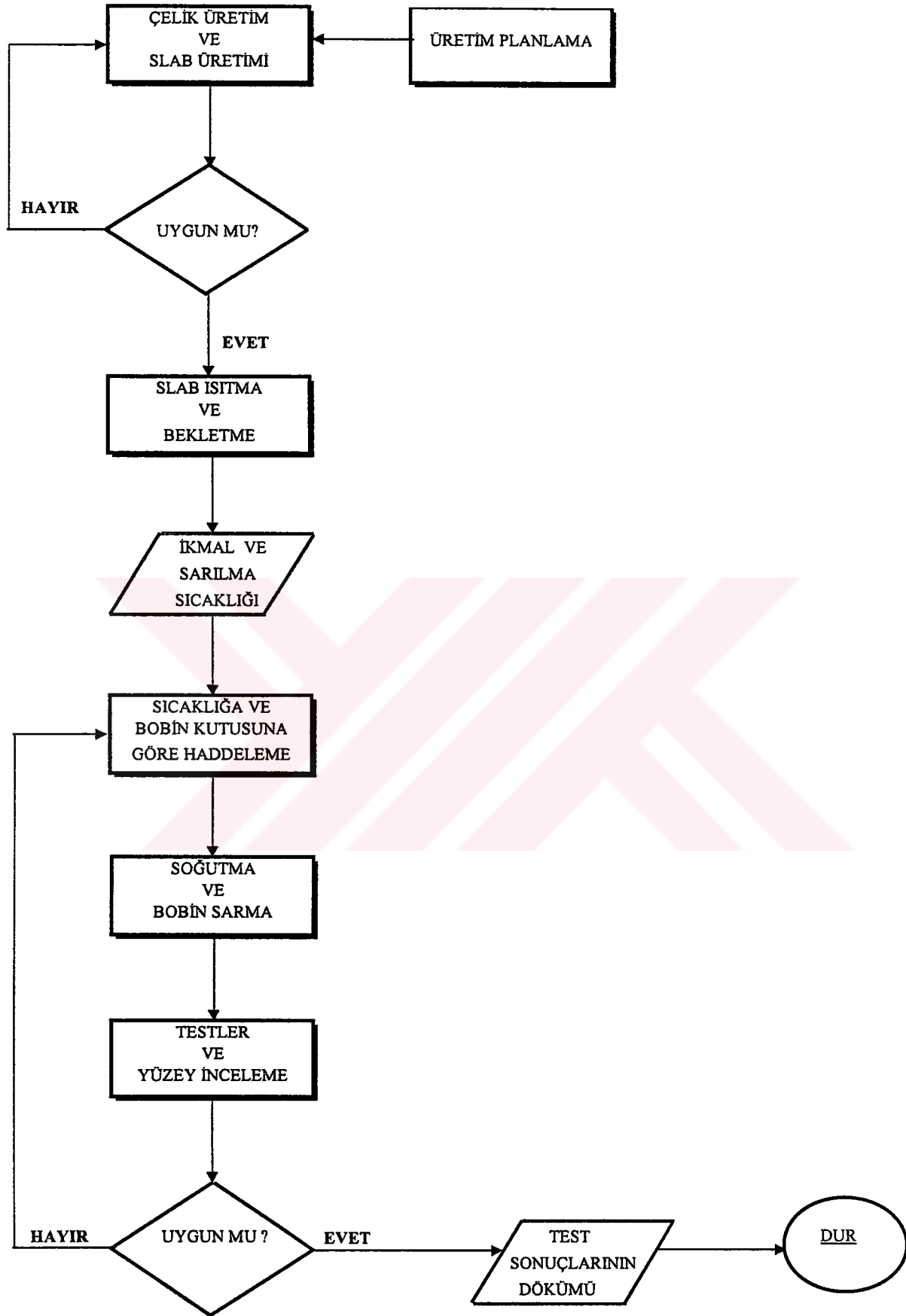
Sıcak haddeleme prosesini kontrol altında tutma ve geliştirme olanaklarının araştırılması için proses akış diyagramı ortaya konulmuştur. Deneylerde izlenmesi gerekli aşamalar ve kullanılan temel girdi ve çıktılar ile birlikte prosesin genel akış diyagramı Şekil 5.3'de verilmiştir.



Şekil 5.1. Erdemir II. Sıcak Haddehane Yerleşimi [25].



Şekil 5.2. NKK Tesisleri. Sıcak Haddehane Yerleşimi [6].



Şekil 5.3. Proses Akış Diyagramı.

5.2. Deneyler

5.2.1. Numuneler

Sürekli tavlama hattında tavlancak olan derin çekme kalite çeliklerin hem mikro yapı özelliklerini hem de mekanik test değerlerini oluşturan sıcak haddeleme proses parametrelerini belirlemek amacı ile çeşitli deneyler yapılmıştır. Deneylerde kullanılan çeliklerin kimyasal bileşimleri Tablo 5.1’de verilmiştir.

Tablo 5.1. Deneylerde Kullanılan Çeliklerin Kimyasal Bileşimleri.

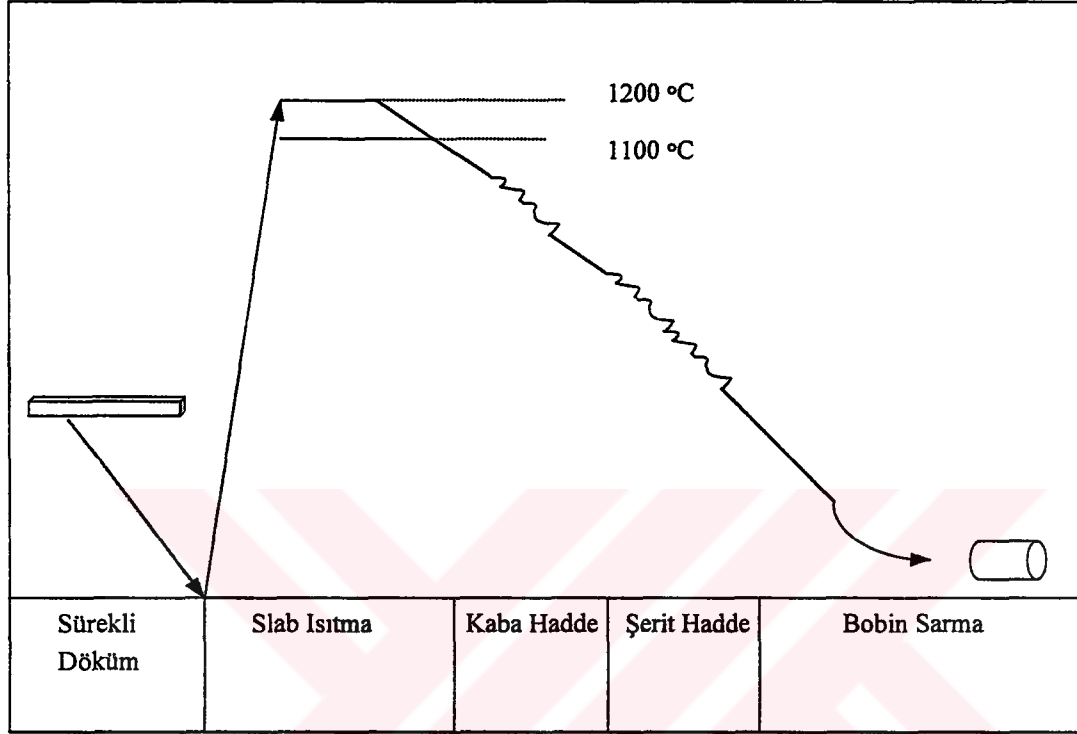
Deney No		C %	Mn %	P %	S %	Si %	Al %	N %	O %
I		0.035	0.250	0.012	0.010	0.025	0.045	0.0078	0.0058
II	A	0.025	0.250	0.014	0.016	0.010	0.045	0.0070	0.0050
	B	0.040	0.270	0.017	0.010	0.011	0.059	0.0073	0.0035
III	A	0.040	0.240	0.012	0.009	0.010	0.059	0.0058	0.0045
	B	0.050	0.280	0.014	0.014	0.013	0.049	0.0059	0.0081
	C	0.050	0.320	0.012	0.010	0.014	0.055	0.0069	0.0062
	D	0.025	0.250	0.014	0.016	0.010	0.045	0.0059	0.0060
IV	A	0.050	0.240	0.010	0.010	0.015	0.064	0.0070	0.0060
	B	0.040	0.290	0.017	0.017	0.014	0.061	0.0073	0.0063

Tablo 5.1’de verilen çeliklerin tamamı Al ile sndrlmş ve sürekli döküm tesislerinde 200 mm kalınlık ve 6000 ile 12000 mm uzunluğunda slablar halinde üretilmiştir. Bu slablar daha sonra sıcak haddeme işlemi için slab ısıtma fırınlarında 1100  C ve 1200  C sıcaklıklarına ısıtılmışlardır. Slab fırınından çıkan slablar kaba haddeme işlemi için 2HI (tek paso) ve 4HI (5 paso) merdanelerde ilk haddeme işlemine tabi tutulmuşlardır. Kaba haddeden çıkan 25 mm kalınlığındaki şerit n malzemesi 7 stand’li şerit haddede 870-930  C aradaki ikmal sıcaklığı ve 680-730  C aradaki sarılma sıcaklıklarında 2.50-2.80 mm kalınlık ve 925-1225 mm genişliğindeki boyutlara haddelenmiştir. Burada başlangıç sıcaklıkları olarak mevcut klasik tavlama sistemi için kullanılan derin çekme kalite çeliklerin sıcaklıkları seçilmiştir. Sıcak haddeme işlemi sırasında ayrıca farklı soğutma pratikleri de denenmiştir. Sistemde ayrıca hem bobin baş ve sonlarındaki ısı kayıplarını minimuma indirmek hem de bobin boyunca homojen sıcaklık dağılımı elde etmek için bobin kutusu uygulaması yapılmıştır. Deneyler sırasında sıcak haddeme ile ilgili proses parametre dataları toplanmış ve bu pratiklerin sonucunda bobinin belirli yerlerinden bobin hazırlama hattında numuneler alınmıştır. Tablo 5.2’de deneylerin koşulları ile numunelerin nerelerden alındığı görülmektedir.

5.2.2. Araştırma Yöntemleri

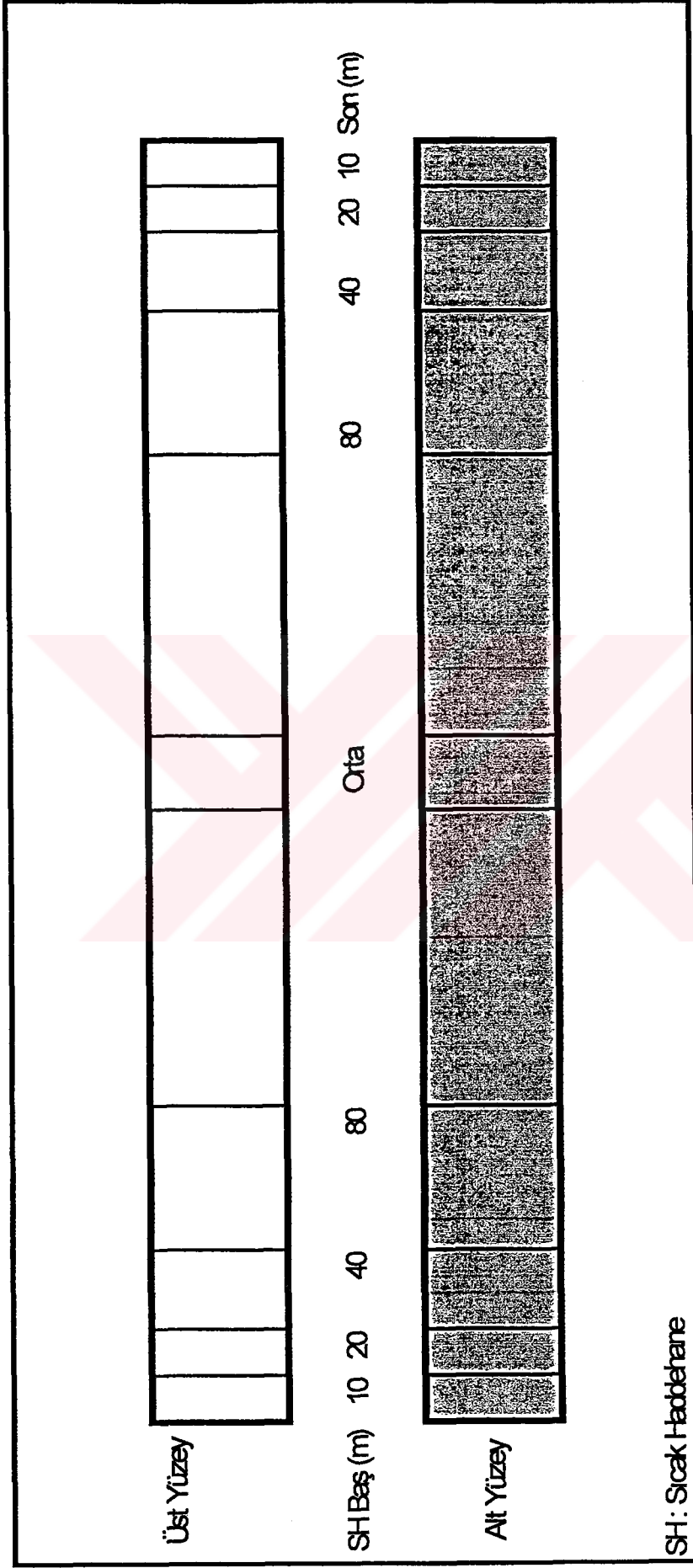
Tablo 5.2’de belirtilen koşullara göre alınan numunelerin her birinden ferrit tane boyutu ile karbür iriliğinin tespiti için a) mikro yapı inceleme çalışmaları ve b) akma mukavemeti, çekme mukavemeti ve % uzama değerleri belirlemek için çekme deneyi yapılmıştır. Numuneler SATEC Systems, Inc. UTM type, 55 ton MII-120 HVL-Model cihazında JIS (Japan International Standarts) No.5 standardına uygun olarak mekanik teste tabi tutulmuşlardır [26]. Mikro yapı incelemeleri için ise LECO 2001 IMAGE ANALYSING SYSTEM kullanılmıştır. Mikro yapı inceleme sırasında ferrit tanelerini ortaya çıkarmak için Nital (% 3), karbürleri ortaya çıkarmak içinde Picral dağılayıcısı kullanılmıştır. Tanelerin büyüklüğünü saptamak için ASTM standardı dikkate alınırken karbürlerin büyüklüğü içinde bir indeksleme işlemi yapılmıştır [27].

Sonuçta sıcak haddelene parametreleri, mikro yapı ve çekme deneyi sonuçları ile ilişkileri saptanarak; hedef mikro yapı ve test değerlerini sağlayacak optimum parametrelerin tespiti için şematik deney prosedürü geliştirilmiştir. Bu şematik deney prosedürü Şekil 5.4'de görülmektedir.



Şekil 5.4. Şematik Deney Prosedürü.

Deney prosedürüne göre sıcak haddelenen bobinlerden baştan 10, 20, 40, 80 ile sondan 10, 20, 40, 80 metre ve ortadan numuneler alınmıştır. Şekil 5.5'de şerit boyunca alınan numunelerin şematik numune alma yerleri görülmektedir.



Şekil 5.5. Şerit Boyunca Şematik Numune Alma Yerleri.

Tablo 5.2. Deney Koşulları ve Numune Yerleri.

Deney I			
Çelik Kalitesi	%C	0.035	
	Döküm No	20925	
Slab	Kalınlık/Boy	200/6000 mm	
Şerit	Bobin No	71174	
	Kalınlık	2.50 mm	
	Genişlik	925 mm	
Sıcak Haddeleme	Slab Isıtma Sıc.	1100 °C	
	İkmal Sıcaklığı	860 °C	
	Sarılma Sıcaklığı	670 °C Baş ve son 80 m susuz	
	Bobin Kutusu	Kullanılmadı	
Mikro yapı Numuneleri		Baş - Orta - Son	
Deney II			
Durum		A	B
Çelik Kalitesi	%C	0.025	0.040
	Döküm No	21619	11065
Slab	Kalınlık/Boy	200/6.000 mm	200/12 000 mm
Şerit	Bobin No	75159	74907
	Kalınlık	2.80 mm	2.80 mm
	Genişlik	1025	1225
Sıcak Haddeleme	Slab Isıtma Sıc.	1100 °C	1200 °C
	İkmal Sıcaklığı	890 °C	910 °C
	Sarılma Sıcaklığı	680 °C Baş ve son 80 m susuz	680 °C Baş ve son 80 m susuz
	Bobin Kutusu	Kullanıldı	Kullanıldı
Mikro yapı Numunleri		Baştan 10,20,40,80 m. Orta Sondan 10,20,40,80 m.	Baştan 10,20,40,80 m. Orta Sondan 10,20,40,80 m.

Deney III

Durum		A	B	C	D
Çelik Kalitesi	%C	0.04	0.05	0.05	0.025
	Döküm No	21395	21197	21786	21619
Slab	Kalınlık/Boy	200/6000 mm	200/6000 mm	200/6000 mm	200/6000 mm
Şerit	Bobin No	77835	79231	79257	71158
	Kalınlık	2.80 mm	2.80 mm	2.80 mm	2.80 mm
	Genişlik	1160	950	940	1050
Sıcak Haddelme	Slab Isıtma Sıcaklığı	1200 °C	1100 °C	1100 °C	1200 °C
	İkmal Sıcaklığı	890 °C	880 °C	860 °C	920 °C
	Sarılma Sıcaklığı	710 °C	630 °C	630 °C	670 °C
	Bobin Kutusu	Kullanılmadı	Kullanılmadı	Kullanılmadı	Kullanılmadı
Mikro yapı Numuneleri		Orta	Orta	Orta	Orta

Deney IV

Durum		A	B
Çelik Kalitesi	%C	0.05	0.040
	Döküm No	11216	21829
Slab	Kalınlık/Boy	200/12 000 mm	200/12 000 mm
Şerit	Bobin No	79374	74375
	Kalınlık	2.80 mm	2.80 mm
	Genişlik	1225	1225
Sıcak Haddelme	Slab Isıtma Sıcaklığı	1200 °C	1100 °C
	İkmal Sıcaklığı	920 °C	930 °C
	Sarılma Sıcaklığı	720 °C Baş ve son 80 m susuz	730 °C Baş ve son 80 m susuz
	Bobin Kutusu	Kullanılmadı	Kullanılmadı
Mikro yapı Numunleri		Baştan 10,20,40,80 m. Orta Sondan 10,20,40,80 m.	Baştan 10,20,40,80 m. Orta Sondan 10,20,40,80 m.

5.3. Deneylerin Sonuçları

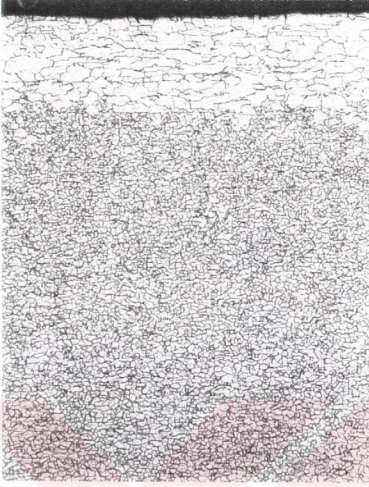
Deneylerin sonucunda Al ile söndürülmüş düşük karbonlu derin çekme kalite sıcak sacın mikro yapı, mekanik özellikler ve yüzey kalitesi detaylı bir şekilde incelenmiş ve sonuçlar aşağıda verilmiştir.

5.3.1. Mikro Yapı İncelemesi

Daha önce bahsedildiği gibi sıcak haddeleme işlemi Ar_3 sıcaklığının üzerinde yapıldığı zaman sıcak ürünün mikro yapısındaki tane boyutu homojen olarak elde edilir. Sıcak üründe elde edilen bu tane yapısı sürekli tavlama işlemi sonucu nihai üründe de homojen tane yapısının elde edilmesini sağlar. Bu nedenle sıcak ürünün mikro yapısı ile sıcak haddeleme proses sıcaklıklarının arasındaki ilişkinin çok iyi bir şekilde belirlenmesi gereklidir.

Deneyler sonucunda numuneler Tablo 5.2’de görüldüğü gibi bobinin belirli yerlerinden alınmıştır. Buna göre başlangıç sıcaklıkları olarak öncelikle Deney I ’de derin çekme kalite çelik için klasik yığın tavlama prosesinde kullanılan 860 °C ikmal ve 670 °C sarılma sıcaklığı uygulanmış, ancak bobinin baştan ve sondan 80 metresi sıcak (susuz) sarılmıştır. Şekil 5.6’da Deney I’e ait bobinin ortasından alınan numuneden yapılan mikro yapı incelemesi görülmektedir. Düşük ikmal sıcaklığı ile yüksek sarılma sıcaklığı heterojen tane yapısına ve özellikle yüzeyde uzamış iri ferrit tanelerinin oluşumuna neden olur. Yüzeyde iri tanelerin oluşumu yüzeydeki sıcaklığın nihai haddeleme işlemi sırasında Ar_3 sıcaklığının altına inmesi (düşük ikmal sıcaklığı) şeklinde açıklanmaktadır. Karışık yada heterojen tane yapısı da bobindeki sıcaklık farklılıklarından kaynaklanabilmektedir. Elde edilen tane yapısı ASTM No. 10 civarındadır. Karbürlerin dağılımı ise çoğunlukla sarılma sıcaklığının etkisi ile oluşmaktadır. Karbürlerin iriliği ise karbür indeks No.’ya göre 10’dur.

Yüksek ikmal sıcaklığında (yaklaşık ~920 °C) sarılma sıcaklığının düşmesi (670 °C) ferrit tane boyutunda bir küçülme meydana getirirken (ASTM No. 9.50) homojen yapıda bir değişiklik olmamaktadır. Karbür iriliği olarak da karbür indeks No. 10.75 değeri elde edilmiştir. (Deney III (D) bölgesi) (Şekil 5.7).



a)



b)

Şekil 5.6. Deney I'e Ait Bobinin Mikro Yapısı.

a) Tane Yapısı (100X)

b) Karbür Dağılımı (500X)



a)



b)

Şekil 5.7. Deney III (D)'ye Ait Bobinin Mikro Yapısı.

a) Tane Yapısı (100X)

b) Karbür Dağılımı (500X)

Diğer yandan deney II (A) (Şekil 5.8) ve II (B) (Şekil 5.9) bölgesinde olduğu gibi düşük ıkmal sıcaklığı (deney III (D)'ye göre) ferrit tane boyutunun üniform olarak büyümesini engeller. Burada deney II (B)'de ferrit tane boyutu ASTM No. 10.25, karbür indeks No. 10.75 iken deney II (A)'da ferrit tane boyutu ASTM No. 9.75, karbür indeks No. 11'dir.



a)

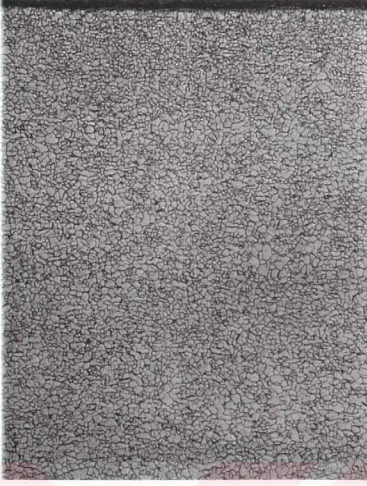


b)

Şekil 5.8. Deney II (A)'ya Ait Bobinin Mikro Yapısı.

a) Tane Yapısı (100X)

b) Karbür Dağılımı (500X)



a)

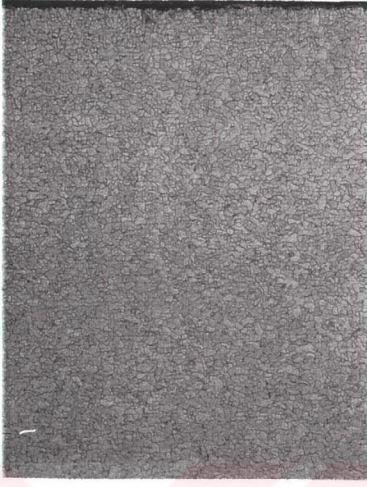


b)

Şekil 5.9. Deney II (B)'ye Ait Bobinin Mikro Yapısı.
a) Tane Yapısı (100X)
b) Karbür Dağılımı (500X)

Aynı şekilde 890 °C 'deki ikmal sıcaklığında ise sarılma sıcaklığının artması üniform tane yapısını oluştururken karbürlerde irileşir (Deney III (A) bölgesi). Yüksek sarılma sıcaklığı iri karbürlerin oluşmasını sağlamaktadır. İkmal sıcaklığında bir düşme olsa dahi, ferrit taneleri küçülürken yine iri karbürler elde edilebilmektedir. Bu bölgede ASTM No. 10 iken karbür indeks No. 9.25'dir (Şekil 5.10).

Düşük ikmal ve sarılma sıcaklıklarına sahip malzemelerde daha küçük ve uzamış ferrit taneleri elde edilir (ASTM No. 10.50) (Deney III (B) bölgesi). Bunun nedeni ise karbürlerin tane (karbür indeks No. 11) sınırlarına yerleşerek tanelerin büyümesini engellemesidir (Şekil 5.11).



a)

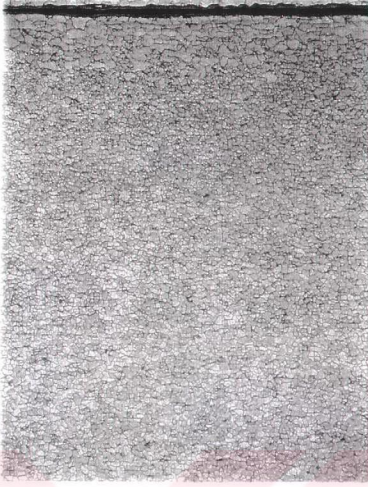


b)

Şekil 5.10. Deney III (A)'ya Ait Bobinin Mikro Yapısı.

a) Tane Yapısı (100X)

b) Karbür Dağılımı (500X)



a)



b)

Şekil 5.11. Deney III (B)'ye Ait Bobinin Mikro Yapısı.

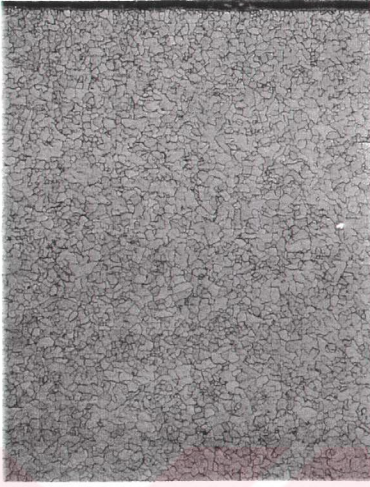
a) Tane Yapısı (100X)

b) Karbür Dağılımı (500X)

Yüksek ikmal ve sarılma sıcaklığının uygulanması sonucu Deney IV (B)'deki mikro yapı elde edilir. Sürekli tavlama hattında kullanılacak olan çeliklerin mikro yapılarında daha öncede bahsedildiği gibi ferrit tanelerinin büyük (ASTM No. 9), eşeksiz ve homojen olmaları, karbürlerinde iri olmaları (Karbür İndeks No. 9) istenmektedir. Ancak anormal ferrit tane büyümelerine de izin verilmemelidir. Bu durumda optimum mikro yapı için, Şekil 5.12'den de görüleceği gibi ikmal sıcaklığının 930 °C sarılma sıcaklığının da 730 °C olduğu deney IV (B)'ye ait bölgede ferrit tane boyutu için belirlenen ASTM No. 9 ve karbür iriliği için belirlenen karbür indeks No. 9 hedef değerlerine ulaşılmaktadır.

Deneyler sonucunda karbon aralığı % 0.025 ile % 0.050 arasında 2.50-2.80 mm kalınlığındaki sürekli tavlama hattında tavlacak düşük karbonlu derin çekme kalite çeliklerin ikmal ve sarılma sıcaklıklarının mikro yapıda yaptığı değişiklikler bir diyagram halinde ortaya çıkarılmıştır (Şekil 5.13). Bu diyagrama göre malzemelerin ikmal ve sarılma sıcaklıklarındaki değişim mikro yapıda hem ferrit tane boyutunu hem de karbürlerin boyutları ile dağılımlarını etkilemektedir. Sonuçta istenilen mikro yapıyı elde etmek için uygun ikmal ve sarılma sıcaklıklarını tespit edilmiş ve optimum mikro yapının yüksek ikmal ve sarılma sıcaklığı ile elde edilebileceği bulunmuştur.

Sıcak haddeleme işlemi sırasında klasik yığın tavlama prosesi için uygulanan 1100 °C veya 1200 °C'lik slab ısıtma sıcaklıkları mikro yapıda çok anormal tane büyümeleri oluşturmadığından bu sıcaklıkların fazla etkili olmadığı görülmüştür.



a)

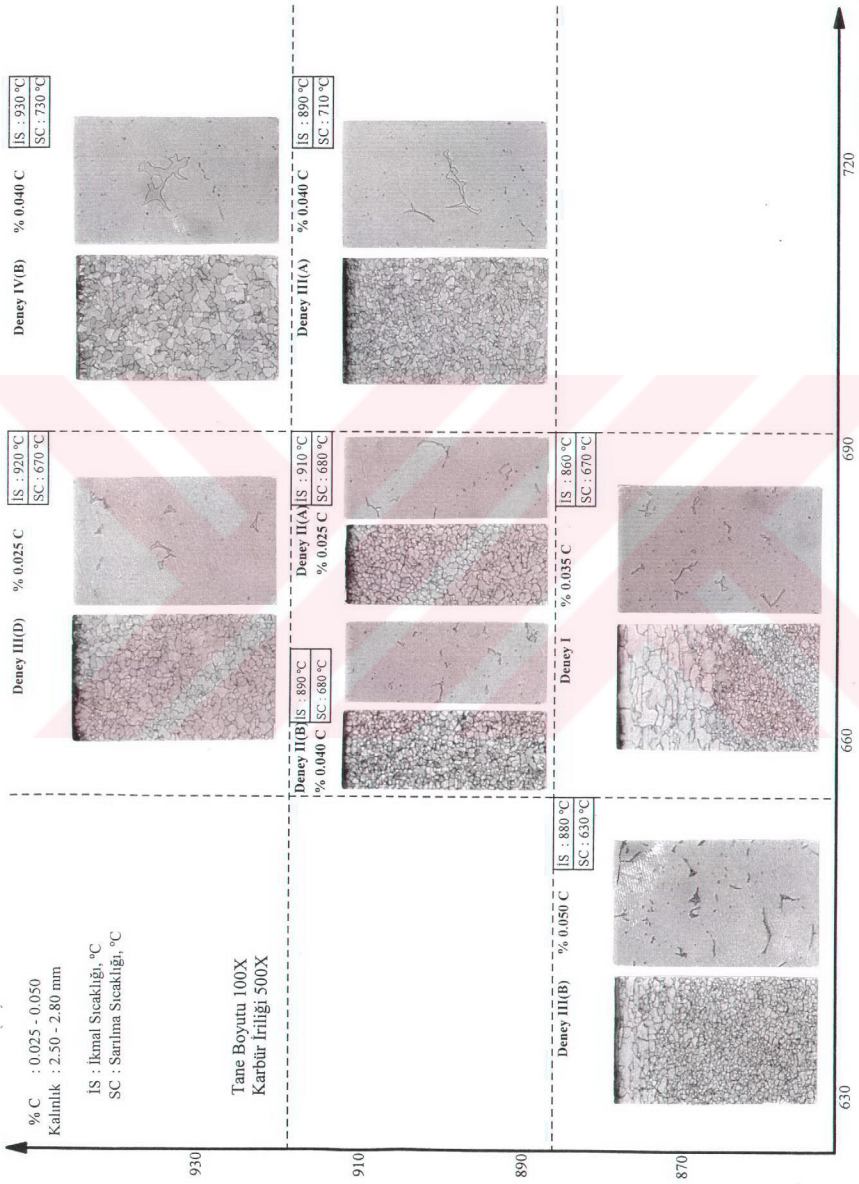


b)

Şekil 5.12. Deney IV (B)'ye Ait Bobinin Mikro Yapısı.

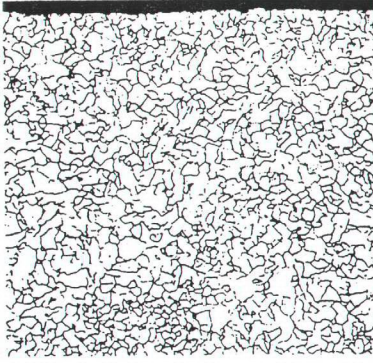
a) Tane Yapısı (100X)

b) Karbür Dağılımı (500X)



Şekil 5.13. İkmal ve Sarılma Sıcaklığının Mikro Yapıya olan Etkisi.

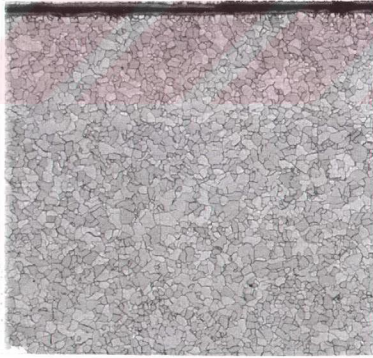
Sonuç olarak yapılan deneylerle optimum mikro yapının elde edilmesi için sıcak haddeleme işleminin ostenit bölgesinde bitirilmesi gerektiği bulunmuştur. Deney IV (B)'deki ikmal ve sarılma sıcaklığına bakıldığında NKK tesislerine göre ikmal sıcaklığının 60 °C, sarılma sıcaklığının ise 50 °C yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 5.14). Ancak, Erdemir II. Sıcak Haddehane tesisinde mikro yapıda hedeflenen ASTM No.9 tane boyutu ile karbür iriliği için hedeflenen karbür indeks No.9 değerlerine, slab ısıtma sıcaklığının 1100 °C, ikmal sıcaklığının 930 °C ve sarılma sıcaklığının 730 °C olduğu sıcaklıklarda ulaşılmıştır.



a) 100X



500X



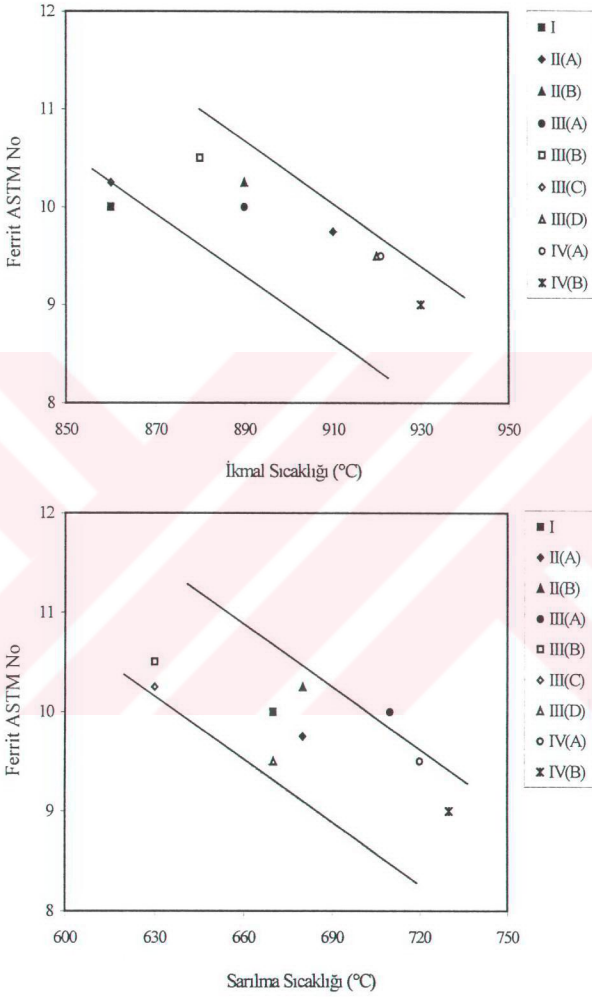
b) 100X



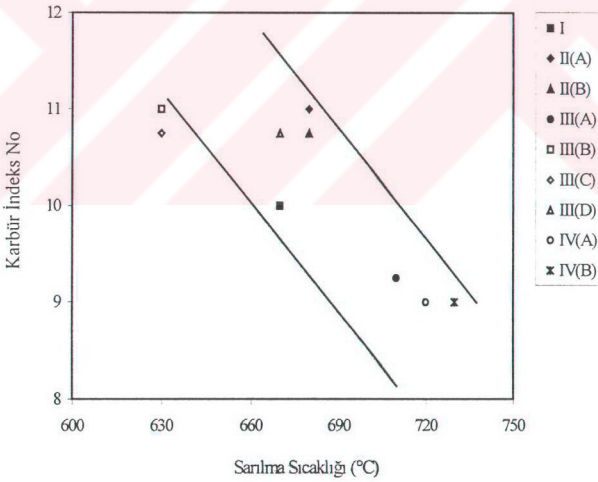
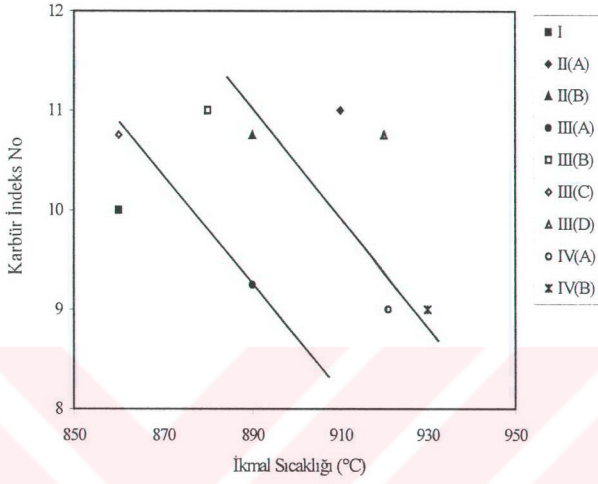
500X

Şekil 5.14. a) CAL Çeliklerinin Hedef Mikro Yapısı
b) Deney IV (B)'nin Mikro Yapısı.

Deneyler sonucu ASTM tane boyutu ve karbür indeks no.'nun hem ikmal hem de sarılma sıcaklıklarına göre ayrı ayrı ilişkileri Şekil 5.15 ve 5.16'da verilmiştir. Şekil 5.15'de görüldüğü gibi ikmal ve sarılma sıcaklığı arttıkça ASTM no azalmaktadır. Yani yüksek ikmal ve sarılma sıcaklıklarında iri ferrit tane boyutu elde edilmektedir. Yine Şekil 5.16'da ikmal ve sarılma sıcaklığının artması ile karbür indeks no.'nun azaldığı görülmektedir. Bunun sonucunda da iri karbür yapısı elde edilir. Şekil 5.15 ve 5.16'ya göre yüksek ikmal sıcaklığının 930 °C ve sarılma sıcaklığının 730 °C olduğu sıcaklıklarda hedeflenen ASTM tane boyutu No.9 ile karbür indeks No.9 değerlerine ulaşılmaktadır.

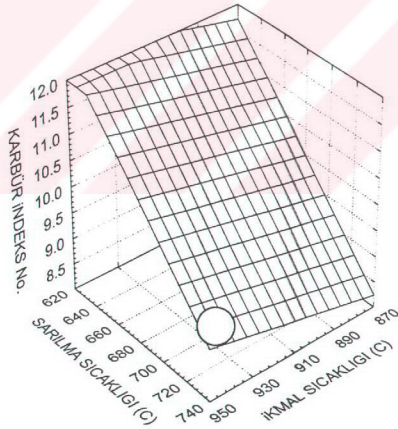
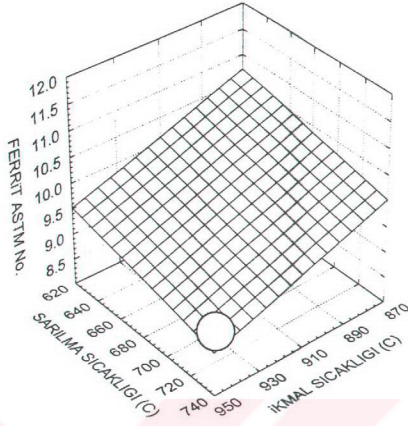


Şekil 5.15. İkmal ve Sarılma Sıcaklığı ile Tane Boyutu Arasındaki İlişki.



Şekil 5.16. İkmal ve Sırlama Sıcaklığı ile Karbür Boyutu Arasındaki İlişki.

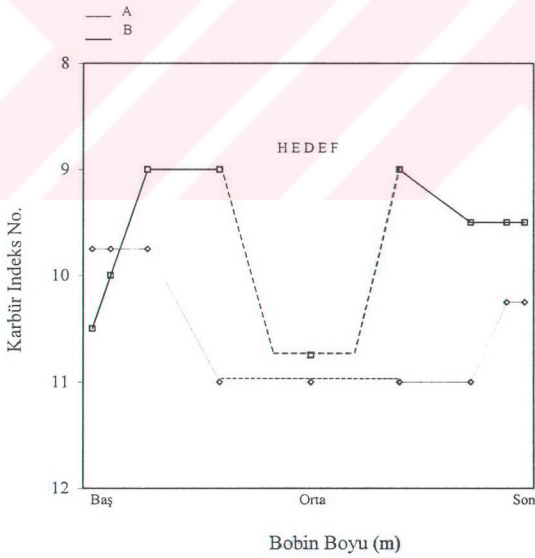
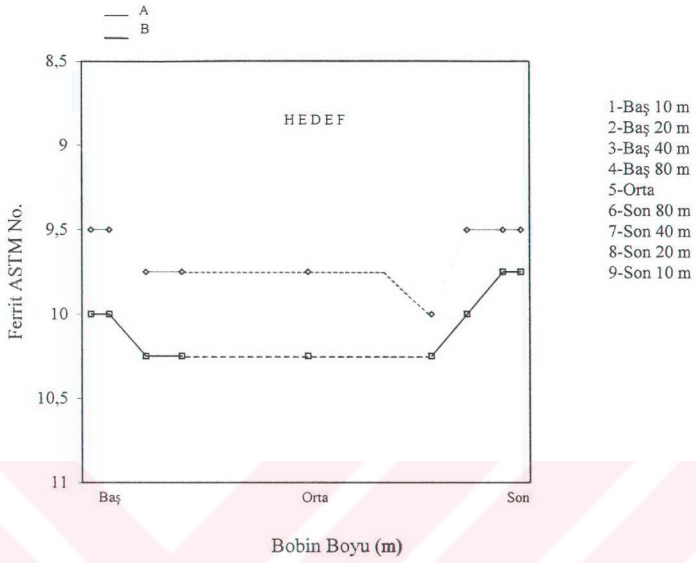
İkmal ve sarılma sıcaklığının hem tane boyutuna hem de karbür yapısına olan etkisi ise Şekil 5.17’de verilmektedir. Buradan da görüleceği gibi ferrit tane boyutu daha çok ikmal sıcaklığı tarafından etkilenirken, karbürlerin iriliğinde sarılma sıcaklığı tarafından etkilenmektedir. Sonuçta sürekli tavlama hattında tavlanaçak olan düşük karbonlu çelikler için hedeflenen eş eksenli iri ferrit tane boyutu (ASTM tane boyut No.9) ile iri karbürlerin oluşturduğu (karbür indeks No.9) optimum mikro yapının yüksek ikmal ve sarılma sıcaklıkları ile sağlanacağı görülmektedir.



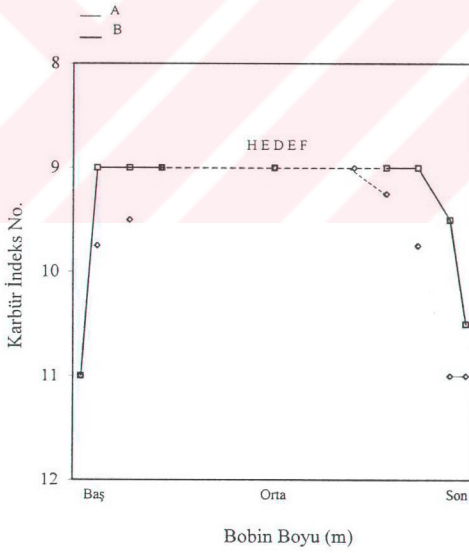
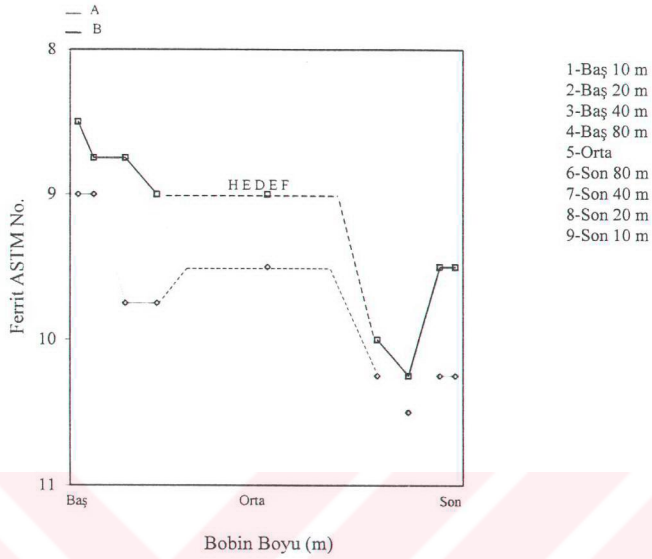
Optimum Bölge

Şekil 5.17. İkmal ve Sarılma Sıcaklığının Tane Boyutu ve Karbür Yapısına Etkisi.

Şekil 5.18 ve 5.19’da örnek olarak deney II (A,B) ve deney IV (A,B)’teki çeliklerin tane boyutu ile karbür yoğunluğu bobin boyunun bir fonksiyonu olarak verilmiştir. Şekil 5.18 ve 5.19’dan da görüleceği gibi özellikle bobinin baş ve sonlarından itibaren belirli bir mesafe (80 m) bobinin orta kısımlarına göre daha sıcak olarak (susuz sarma) sarılmıştır. Şekil 5.18’deki bobin boyunca ferrit ve karbür no.ları birbirlerine paralellik göstermektedir. Yani bobinlerin baş ve sonlarındaki ferrit tane boyutu ile karbür boyutları bobinlerin ortasına göre biraz daha büyüktür. Bunun nedeni ise bobinlerin baş ve sonlarının sıcak sarılmasıdır. Yani bobinin baş ve sonlarının sıcaklığı ortasına nazaran daha yüksektir. Şekil 5.19 incelendiğinde ise bobinin baş tarafındaki ferrit tane boyutu ve karbür iriliğinin bobinin orta kısmına yakın olduğu görülmektedir. Ancak, bobinin son kısımlarındaki ferrit tane boyutu ve karbür iriliği bobinin baş ve ortasına göre biraz daha düşüktür. Bunun nedeni ise özellikle bobinin baş kısımlarındaki sıcaklık değerleri orta bölge ile hemen hemen aynı iken son kısımlarındaki sıcaklık değerleri gerek orta kısım gerekse baş kısmının altına inmektedir.



Şekil 5.18. Deney II (A,B) nin Bobin Boyunca Mikro Yapısı.

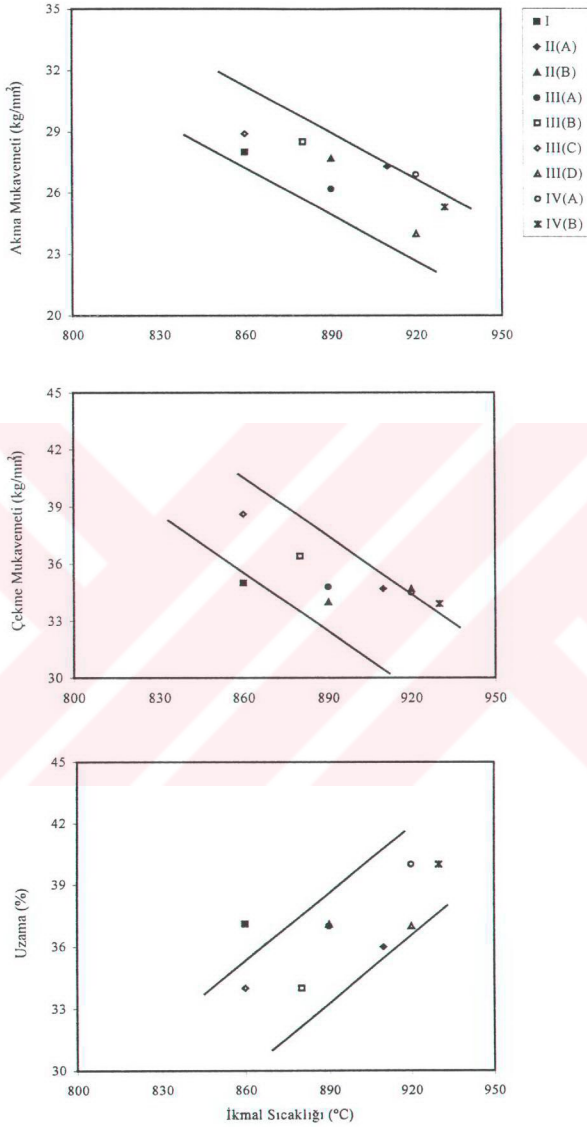


Şekil 5.19. Deney IV (A,B) nin Bobin Boyunca Mikro Yapısı.

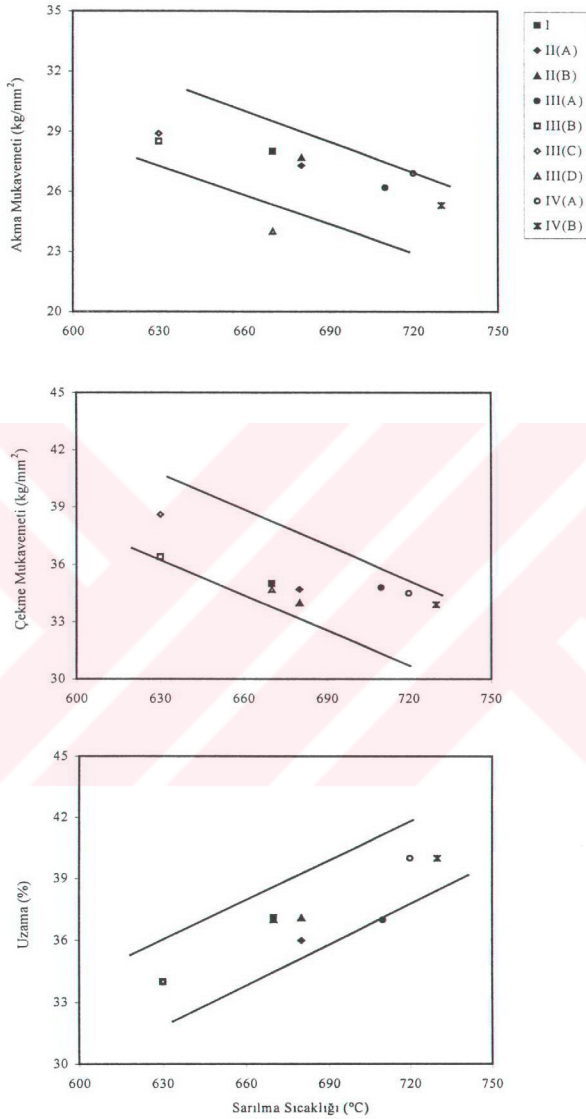
Deney II (A,B) ve deney IV (A,B) de bu farklılığın ortaya çıkmasının nedeni Deney II’de bobin kutusu uygulaması varken (Coil box) deney IV’de bobin kutusu uygulamasının olmamasından kaynaklanmaktadır. Özellikle 12 metre gibi uzun slablar da bobin boyunca istenilen homojen sıcaklıkları tutturmak zordur. Bu sıcaklık farklılığı haddeleme işleminde, bobinin son kısımlarının daha geç haddeleme işlemine tabi tutulmasından dolayı o bölgelerdeki sıcaklıkların bobin baş ve ortasına göre daha düşük olması şeklinde kendini göstermektedir. Bu nedenle de bobinin son kısımlarında hızlı soğumadan dolayı, istenilen iri ferrit tane boyutu ile karbür yapısı biraz daha küçük olmaktadır. Sonuçta hem istenilen yüksek ikmal ve sarılma sıcaklıklarını sağlamak hem de sıcaklık kayıplarını minimuma indirerek bobin boyunca homojen bir sıcaklık dağılımı elde etmek için özellikle bu tür derin çekme kalite çeliklerde bobin kutusu kullanılmalıdır. Bobin kutusu kullanımının diğer bir avantajı da şerit haddeye girmeden önceki malzeme yüzeyindeki kaba tufalın rahatlıkla atılabilmesidir. Böylece yüzey kalitesi de büyük oranda artırılmış olur.

5.3.2. Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi

Deneyler sonucunda bobin boyunca alınan numuneler JIS No.5 standardına (JIS No.5 ; 25 mm genişlik, 50 mm boy) göre çekme deneyine tabi tutularak akma mukavemeti, çekme mukavemeti ve % uzama değerleri saptanmıştır. Burada sadece bu testlerin yapılmasının nedeni optimize edilen prosesin ara bir proses olmasındandır. Sıcak haddeleme işleminden sonra ürüne soğuk haddeleme ve tavlama proseslerinin uygulanmakta ve nihai ürünün kalitesine yönelik diğer testler (r ve n değeri gibi) bu proseslerin sonunda yapılmaktadır. Daha sonra çekme deneyi ile proses sıcaklıkları arasındaki ilişkiler ortaya konmuştur. Şekil 5.20’de deney I, II, III ve IV’e ait bobinlerin ortalarından alınan numunelerin akma mukavemeti, çekme mukavemeti ve % uzama değerlerinin ikmal ve sarılma sıcaklıklarına göre değişimi görülmektedir.

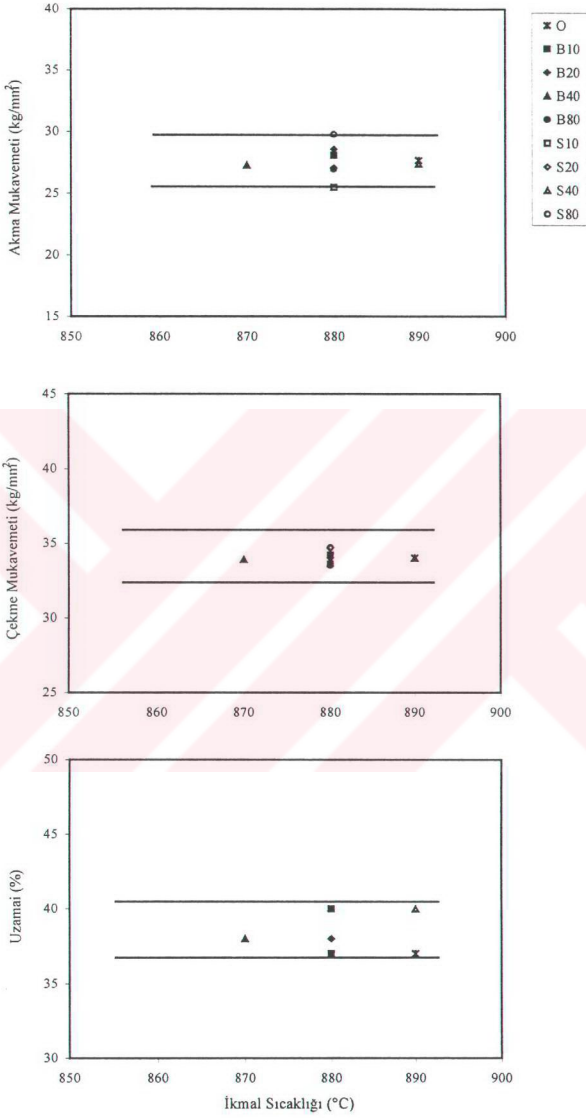


Şekil 5.20. a) İskal Sıcaklığı ile Mekanik Özellikler Arasındaki İlişki.
(Deney I, II, III ve IV-orta numuneler)

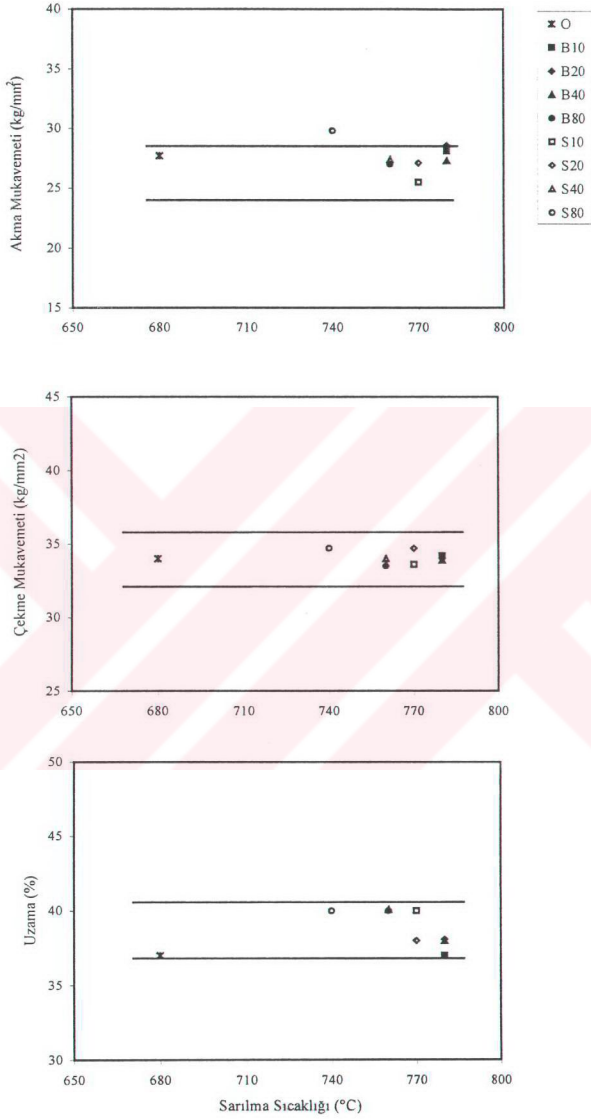


Şekil 5.20. b) Sarılma Sıcaklığı ile Mekanik Özellikler Arasındaki İlişki.
(Deney I, II, III ve IV-orta numuneler)

Şekil 5.21’de deney II’nin (B) durumu için bobin boyunca alınan numunelerden (Baştan 10, 20, 40, 80 metre ve ortası ile sondan 10, 20, 40, 80 metre) ikmal ve sarılma sıcaklıklarının mekanik özelliklere (akma mukavemeti, çekme mukavemeti ve % uzama) göre değişimi görülmektedir. Şekil 5.21a’da ikmal sıcaklığı ile mekanik özellikler arasındaki ilişki verilirken Şekil 5.21b’de sarılma sıcaklığı ile mekanik özellikler arasındaki ilişki verilmiştir.

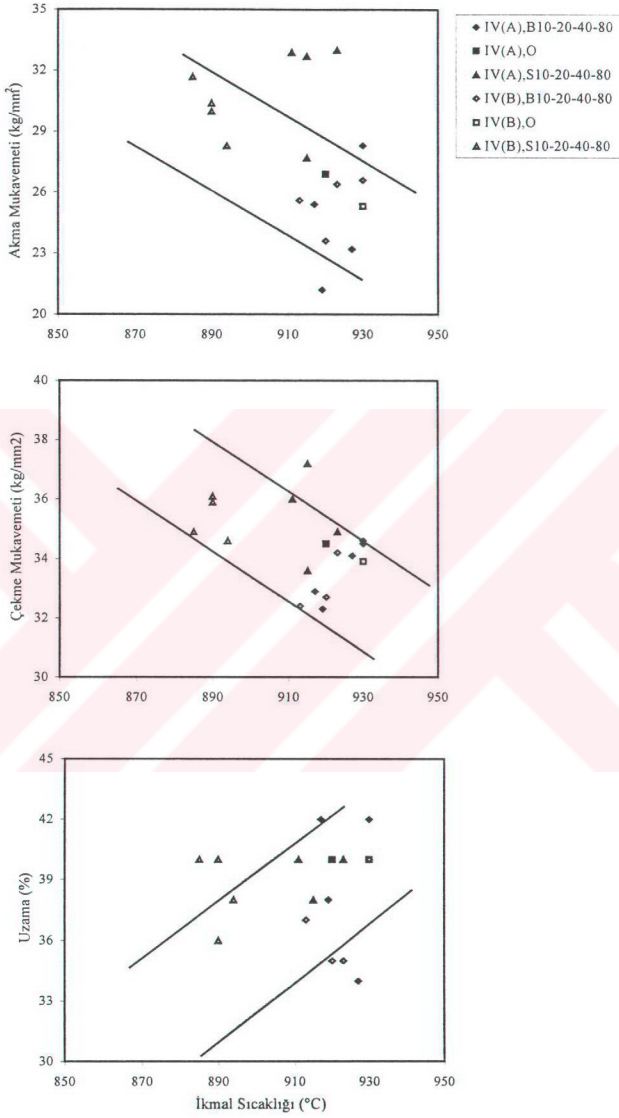


Şekil 5.21. a) İkmal Sıcaklığı ile Mekanik Özellikler Arasındaki İlişki.
(Deney II (B)/baş - orta - son numuneler)

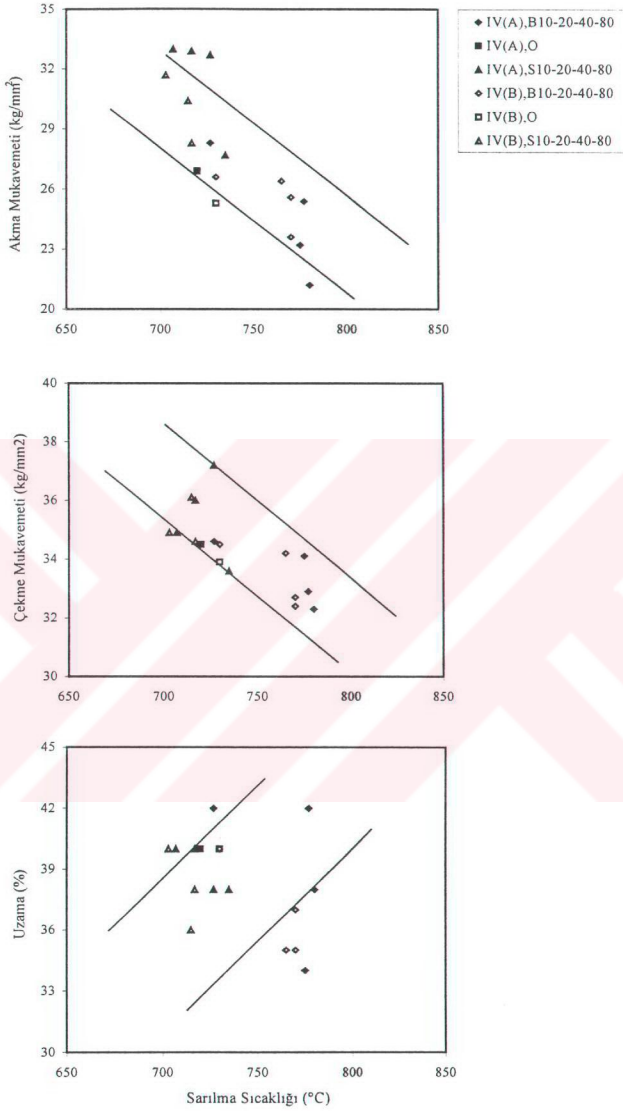


Şekil 21. b) Sarılma Sıcaklığı ile Mekanik Özellikler Arasındaki İlişki.
(Deney II (B)/baş - orta - son numuneler)

Şekil 5.22’de deney IV’ün (A) ve (B) durumları için bobinlerden alınan numunelerden (baştan 10, 20, 40, 80 metre ve ortası ile sondan 10, 20, 40, 80 metre) ikmal ve sarılma sıcaklıklarının mekanik özelliklere (akma mukavemeti, çekme mukavemeti ve % uzama) göre değişimi görülmektedir. Şekil 5.22a’da ikmal sıcaklığı ile mekanik özellikler arasındaki ilişki verilirken Şekil 5.22b’de sarılma sıcaklığı ile mekanik özellikler arasındaki ilişki verilmiştir.



Şekil 5.22. a) İkmal Sıcaklığı ile Mekanik Özellikler Arasındaki İlişki.
(Deney IV (A) ve (B)/baş - orta - son numuneler)



Şekil 5.22. b) Sarılma Sıcaklığı ile Mekanik Özellikler Arasındaki İlişki.
(Deneme IV (A) ve (B)/baş - orta - son numuneler)

Şekil 5.20, 5.21 ve 5.22'de hem ikmal hem de sarılma sıcaklıklarının mekanik özelliklere etkisi görülmektedir. Buna göre;

- a) Daha önce mikro yapısı yapılan numunelerin mekanik testlerinin ikmal sıcaklığının göre diyagramları Şekil 5.20a, 5.21a ve 5.22a'da görülmektedir. Şekil 5.20a ve Şekil 5.22a'dan anlaşılabacağı gibi ikmal sıcaklığı düştükçe akma ve çekme mukavemetleri artarken % uzamada bir düşme oluşur. Bu da sonuçta derin çekme özelliğini azaltır. İkmal sıcaklığının artması ise % uzamada bir artış meydana getirir. Ancak ikmal sıcaklığının çok artması ile ferrit tane boyutu gittikçe büyüyeceğinden, ikmal sıcaklığının ferrit tane boyutuna göre optimize edilmesi gerekir. Şekil 5.21a'dan anlaşılabacağı üzere bobin boyunca alınan numunelerde yapılan testlerden elde edilen sonuçlara göre ikmal sıcaklığındaki ± 20 °C'lik bir değişimde bile bobin boyunca homojen mekanik özellikler elde edilmektedir.
- b) Şekil 5.20b, 5.21b ve 5.22b'de ise sarılma sıcaklığının mekanik özelliklere etkisi görülmektedir. Şekil 5.20b ve Şekil 5.22b'den görüleceği üzere sarılma sıcaklığının artması akma ve çekme mukavemetlerinde düşme meydana getirirken % uzamada ise artış oluşturur. Genel anlamda sarılma sıcaklığının artması gerek ferrit gerekse karbürlerde bir irileştirme sağlar. Ancak sarılma sıcaklığının çok artması anormal tane büyümelerine sebebiyet verir ve bu da süneklikte bir düşüşe neden olur. Bundan dolayı ideal sarılma sıcaklığının anormal tane büyümesi oluşturmayacak sıcaklıkta olması gerekmektedir. Şekil 5.21b'de görüldüğü gibi bobin boyunca alınan numunelerde yapılan testlerde bobin boyunca mekanik özelliklerde bir homojenlik elde edilmiştir. Yani bobinin baş ve sonlarının ortasına göre daha sıcak sarılma işlemi, bobinin sarıldıktan sonraki mekanik özelliklerinin birbirine yakın olmasını sağlamıştır.

Bu çalışmada, sıcak haddeleme proses parametrelerinin optimizasyonu için öncelikle sıcak üründe NKK tesislerinde belirlenen tane boyutu ve karbür indeksi elde edilmeye çalışılmıştır. NKK tesislerinde tane boyutu için hedeflenen ASTM No.9 ile karbür için hedeflenen karbür indeks No.9 mikro yapısı için öncelikle slab ısıtma sıcaklığı, ikmal sıcaklığı ve sarılma sıcaklığı belirlenmiştir. Daha sonra hedef mikro yapının elde edildiği numunelerde mekanik testler yapılmıştır. Sonuçta hedef mikro

yapının sahip olduğu mekanik test değerlerine slab ısıtma sıcaklığı 1100 °C, ikmal sıcaklığı 930 °C ve sarılma sıcaklığı 730 °C olduğunda ulaşılmıştır. Bu sıcaklıklardaki mekanik test değerleri de optimum mekanik test değerleridir.

5.3.3. Yüzey Kalitesi ve Boyut

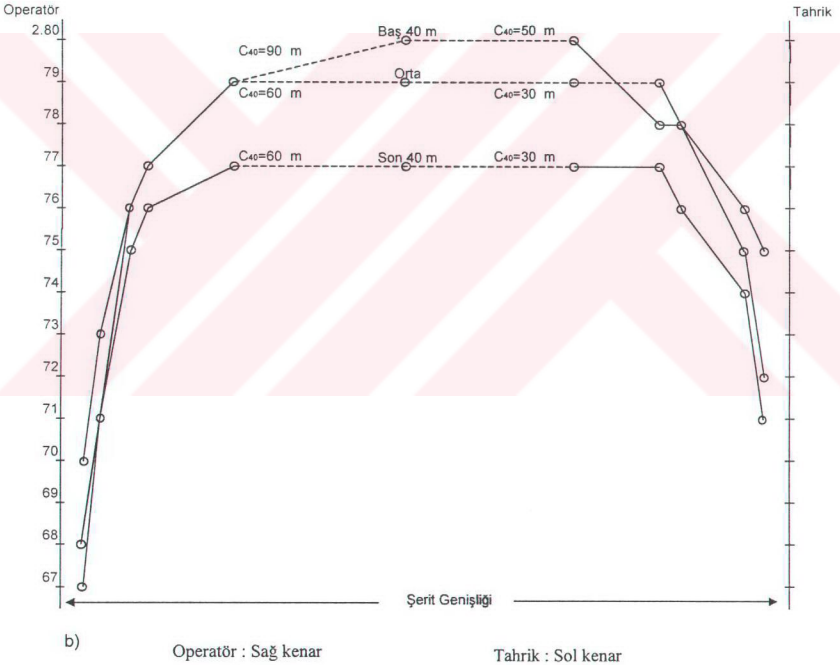
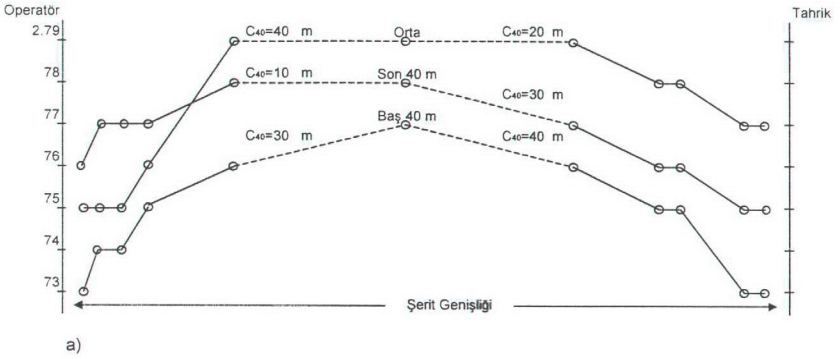
Burada yüzey kalitesinden anlaşılan üretilen şeridin yüzeyinde herhangi bir kusurun olmaması; boyuttan da anlaşılan şeridin kalınlık ve genişliğinin standartlarda belirtilen toleranslar içinde olmasıdır. Bu tip çeliklerin üretiminde yüksek ikmal ve sarılma sıcaklığından dolayı, asitleme işlemi ile yüzeyden atılması zor olan bir oksit (tufal) tabakası oluşturma eğilimi yüksektir. Bu nedenle, deneylerde kullanılan bütün bobinlerin bobin boyunca hem alt hem de üst yüzeyleri sıcak haddeleme işlemi tamamlandıktan sonra “Bobin Hazırlama Hattı (Recoiling Line) ’nda” kontrol edilmiştir. Genel olarak bobinlerin yüzey kalitesinin iyi olduğu ve yüzeyde herhangi bir kusurun olmadığı saptanmıştır. Ancak sadece deney IV (A) durumu için bobinin son 80 metresinde “batık tufal” adı verilen ve demir oksit partiküllerinin şerit üst yüzeyine batması şeklinde, hafif de olsa görülen bir kusura rastlanmıştır. Şekil 5.23’de deney IV (A)’nın kaba haddeden çıkış sıcaklık değerinin (özellikle bobinin kuyruk kısımlarındaki sıcaklık değerinin) bobinin baş ve sonlarına göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bu sıcaklık düşmesi şerit yüzeyinde demir oksitlerin oluşumuna yol açmakta ve özellikle ilk haddeleme işleminden sonra da bu oksitler parçalanarak yüzeye batmaktadır. Deney IV’ün (B) durumu için ise herhangi bir sıcaklık düşüşünün olmadığı saptanmıştır. Ancak her iki bobinin (IV (A) ve (B)) baş ve sonlarında, hafif bir şekilde “rulo kırığı” adı verilen (coil - break) kusura rastlanılmıştır. Bu da bobin hazırlama hattındaki bobin açma sistemindeki baskının yetersiz olmasından kaynaklanmıştır.

Proses Hattı : Bobin Hazırlama (Recoil)
İşlem : Bobin açma (Tempersiz olarak)
SH : Sıcak Haddehane

Bobin No	Bobin Şekli	Şerit Yüzeyi
79374	İyi	Şerit Yüzeyi Batık Tufal Rulo kırığı 0 20 40 60 80 100
79375	İyi	Şerit Yüzeyi Batık Tufal Rulo kırığı 0 20 40 60 80 100

Şekil 5.23. Deney IV (A) ve (B)'de Kullanılan Bobinin Yüzey Kontrolünün Şematik Gösterimi.

Deneylerde ayrıca bobinlerin sıcak haddeleme işleminden sonra, genişlikleri boyunca kalınlık dağılımları kontrol edilmiştir. Örnek olarak Şekil 5.24’de deney II (A ve B) ’nin bobin genişliği boyunca 25, 40, 75, 100 ve 200 mm içerden ölçülen kalınlık dağılım profili görülmektedir. Bu ölçümlerde genişlik boyunca kalınlık dağılımı; bobinin ortasından, baş ve sonun 40 m’sinden alınan numunelerde yapılan ölçümlerden çıkarılmıştır. Sonuçta kalınlıkların genişlik boyunca dağılımlarının; özellikle bobinlerin baş ve sonlarında bobinin ortasına göre biraz farklı olduğu bulunmuştur. Bu farklılık merdanelerdeki basma kuvvetlerinin her iki uçta fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle özellikle şeridin kenarları, daha fazla yüke maruz kaldığından ortaya nazaran biraz daha incedir. Ancak 2.80 mm kalınlığında ve 1200-1500 mm genişliğindeki sıcak ürünün kalınlık toleransı DIN 1016-1987 standardına göre ± 0.22 mm olduğundan bobinlerin kalınlık dağılımları standardın içindedir.



Şekil 5.24. Kalınlıkların Genişlik Boyunca Dağılımı.

- a) Deney II (A); 2.80 x 1030 mm
- b) Deney II (B); 2.80 x 1240 mm

BÖLÜM 6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, sürekli tavlama prosesine uygun derin çekme çelik kalitelerinin üretimi ve kalitesi üzerinde önemli rol oynayan sıcak haddeleme proses parametrelerinin etkileri belirli çelik bileşimleri gözönüne alınarak incelenmiştir. Yapılan incelemelere bağlı olarak, bu tip çelikleri üretmek için gerekli olan sıcak haddeleme proses parametreleri belirlenmiş ve optimize edilmiştir.

6.1. Özet

Özellikle son yıllarda sürekli tavlama hatunda tavlanan derin çekme özelliğine sahip çeliklerin üretimi gittikçe yaygınlaşmıştır. Bu durum sadece maliyetlerde ki bir düşme sonucunda değil aynı zamanda gerek çelik üretim ve gerekse sıcak haddehanede optimum proses şartlarının sağlanması ile elde edilmiştir.

Bu çalışmada, istenilen mikro yapı ve mekanik özellikleri sağlamak için sıcak haddehanede optimum proses parametrelerinin öngörülen düzeyde sağlanması çelik bileşimleri gözönüne alınarak amaç edilmiştir. Deneylerde ikmal sıcaklığı, sarılma sıcaklığı ve slab ısıtma sıcaklığı Tablo 5.6'da ortaya konan koşullarda araştırılmıştır. Ayrıca bobinlerin baş ve sonlarından kaynaklanan sıcaklık kayıplarının etkilerini de tespit etmek ve ortadan kaldırmak amacı ile bobinlerin baş ve sonlarında belirli bir mesafe ortalarına nazaran daha sıcak sarılmıştır.

6.2. Genel Sonuçlar

Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- 1) Bu çalışmada, karbon aralığı % 0.025-0.050 arasında, sürekli tavlama prosesi ile tavlana- cık olan derin çekme çelik kaliteleri için sıcak haddeleme proses parametreleri modellenerek optimize edilmiştir.

- 2) Bu tip çeliklerde prosesin özgün şartı olan sıcak haddeleme işleminin Ar_3 sıcaklığının üzerinde yapılma koşulu yerine getirilmiştir. NKK tesislerinde 870 °C ikmal sıcaklığı ve 680 °C sarılma sıcaklığında elde edilen hedef ferrit ASTM No.9 ile hedef karbür indeks No.9 'u ve bu mikro yapıdaki mekanik test değerleri bu çalışmada hedef alınmış ancak NKK'dan farklı olarak bu değerlere ikmal sıcaklığının 930 °C ve sarılma sıcaklığının da 730 °C olduğu sıcaklıklar ile ulaşılmıştır. Bu çalışmanın en önemli sonuçlarından biri olup nedeni şöyle yorumlanabilir: Sürekli tavlama prosesi ile tavlancak olan derin çekme kalite çeliklerin üretimi, bu tip çelikleri üreten firmaların üretim prosesleri ile ilgili deneyimleri ve uzun süren araştırma ve geliştirme çalışmalarını kapsamaktadır. Elde edilen proses parametreleri bu firmaların know-how birikimi içerisinde. Bu tip çelikleri farklı bir işletmedeki çeliklerin üretiminde o firmanın proses parametrelerini bire bir uygulayarak üretmek mümkün değildir. Bu durum ilk kez 1943 yılında Tokyo Üniversitesi profesörlerinden Kaou Ishikawa tarafından ortaya atılmış ve Kawasaki Çelik İşletmeleri'nde farklı etkenlerin prosesi nasıl etkilediği temel kılçıklar ile gösterilmiştir. Erdemir II. sıcak haddehanesinde de sıcak haddeleme prosesine etki eden insan, makine, çevre, malzeme, yöntem, yönetim ve ölçülebilirlik (7M Kuralı) parametrelerinin etkileşimi bu şekilde NKK tesisinde ki sıcak haddeleme prosesinden farklı sıcaklık değerleri ortaya çıkarmıştır. Bu nedenle belirli çelik bileşimleri gözönüne alınarak proses koşulları mevcut tesise göre belirlenirken en önemli amaç müşterinin talep ettiği kalite ve özellikle ürünü üretmektir.
- 3) Sıcak haddeleme prosesi sonucu üretilen sıcak ürünün öngörülen mikro yapısının (ferrit tane boyutu ve karbür yapısı) hangi proses sıcaklıklarının uygulanması sonucu elde edilebileceği tasarlanmıştır (Şekil 5.13).
- 4) Slab ısıtma sıcaklığının 1100 °C veya 1200 °C olması bu tip çeliklerin mikro yapı ve mekanik özelliklerinde çok farklı bir değişiklik yaratmamıştır. Yani slab ısıtma fırınlarında klasik yığın tavlama (BAF) için uygulanan şartların, sürekli tavlama prosesi için (CAL) kullanılacak olan malzemelere de uygulandığında herhangi bir farklılığın olmadığı tespit edilmiştir. Bu nedenle slab ısıtma sıcaklığı 1100 °C olarak uygulanmıştır. Böylece özellikle günümüzün rekabet koşullarında, çelik

tüketicilerinin öngördüğü kaliteyi en düşük maliyet ile yakalamayı hedefleyen tesisler açısından düşünüldüğünde 1100 °C sıcaklığın ekonomik açıdan getirisi oldukça fazladır.

- 5) Bobinlerin baş ve sonlarında (sıcaklık yükselmelerinden dolayı bu bölgelerde) anormal ferrit tane büyümelerine rastlanmamıştır. Bu durum öngörülen hedef açısından çok önemlidir. Çünkü bunun sonucu oluşacak malzeme kayıpları azalacaktır.
- 6) İkmal ve sarılma sıcaklığı arttıkça bobinlerde akma ve çekme mukavemetlerinde bir azalış görülürken % uzamalarda artış görülmüştür. Bobinin baş ve sonlarında uygulanan sıcak sarma işlemi bobin boyunca homojen mekanik özelliklerin elde edilmesini sağlamıştır. Bu durum sıcak haddeleme işlemi sonucu üretilen sıcak türünden öngörülen değerleri vermesi açısından önemlidir.
- 7) Özellikle 12 metrelik slablar kullanıldığında bobin boyunca homojen sıcaklık dağılımı ve mikro yapı için istenen yüksek ikmal ve sarılma sıcaklığı ile homojen mekanik özelliklerin sağlanması için bobin kutusu (coil box) kullanılmalıdır. Bobin kutusu kullanımının getirdiği avantajlar özellikle deney II (A) ve (B) ile deney IV (B)'de görülmektedir.
- 8) Slab ısıtma fırınlarından çıkan slabların özellikle baş ve sonlarındaki düşük sıcaklıklar bobinlerin yüzey kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu şekildeki yüzey kalitesi deney IV (A)'da görülmüştür.
- 9) Optimum mikro yapı ve mekanik özellikler için belirlenen sıcak haddeleme proses parametreleri sonucu üretilen bobinlerin kalınlık dağılımları standart içinde ve sargıları da düzgün olarak elde edilmiştir. Bu durum Şekil 5.24'de deney II (A) ve (B) için görülmektedir.
- 10) Bobinlerin baş ve sonlarındaki yüksek sarılma sıcaklığı (baş ve sondan 80 m) bobinin sarılması sırasında ve/veya sarıldıktan sonra hızlı soğuması nedeniyle bobin boyunca homojen mikro yapı ve mekanik özelliklerin sağlanması için gerekmektedir. Bobinlerin kalınlığı arttıkça (≥ 4.50 mm) soğuma hızının yavaşlamasından dolayı 80 m.lik kısım kademe kademe azaltılabilir.

11) Bu tip tesislerde slab ısıtma sıcaklığının 1100 °C, ikmal sıcaklığının 930 °C, sarılma sıcaklığının 730 °C olduğu ve karbon miktarının % 0.025 ile % 0.050 arasında değiştiği kimyasal bileşimde sıcak haddeleme prosesi için optimum koşullar tespit edilmiş ve sürekli tavlama prosesinde tavlancak olan çeliklerin üretiminde üretim sürekliliği sağlanmıştır.

6.3. Tezin Bilime Olan Katkısı

Bu çalışmada elde edilen sonuçların sürekli tavlama prosesi ile tavlancak olan Al ile söndürülmüş derin çekme çelik kalitelerin sıcak haddeleme prosesine ve bilime olan katkısı aşağıda verilmiştir.

- 1) Daha önceden başka bir tesis için belirlenmiş ön proses parametreleri başka bir tesisin proses parametreleri olarak kullanılamamaktadır. Yani proses parametreleri her bir işletme şartlarına göre özgünlük göstermekte ve her bir tesis için sistem optimize edilmelidir. Bu konunun irdelenmesine Genel Sonuçlar madde 2'de detaylı olarak değinilmiştir. Dolayısıyla bu çalışmada sürekli tavlama prosesi ile tavlancak Al ile söndürülmüş derin çekme çelik kaliteleri için sıcak üründe hedef nihai ürünün özelliklerini sağlayan bir çözüm yaklaşımı geliştirilerek özgün olarak sıcak haddeleme proses parametreleri saptanmış ve optimize edilmiştir.
- 2) Sürekli tavlama prosesi ile tavlancak Al ile söndürülmüş derin çekme çelik kaliteleri için sürekli üretim yapan şerit hadde tipindeki bir sıcak haddehanede optimum mikro yapı ve mekanik özellikleri sağlayan slab ısıtma, ikmal ve sarılma sıcaklıkları ile bunların ilişkileri belirlenmiştir.
- 3) Sürekli tavlama prosesi ile üretilebilecek olan bu tip çeliklerin şerit hadde ile haddelenmesinin sağlanması ile sıcak ve özellikle de nihai soğuk ürün üretim hızı klasik sistemlere nazaran artırılmasına olanak sağlayacak koşullar saptanmıştır.

6.4. Gelecekteki Araştırmalar için Yönlendirmeler

Bu tezde, sıcak haddeleme proses parametrelerinin etkileri belirli elik bileşimleri göz önüne alınarak detaylı bir şekilde incelenmiştir. Ancak, aşağıdaki konular üzerinde durulmamış, fakat bunların gelecekteki araştırmalarda incelenmesi önerilmiştir.

1. Deneyler sırasında karbon aralığı olarak % 0.025-0.050 arasındaki derin çekme elik kaliteleri kullanılmıştır. Aynı işlemlerin farklı bileşimdeki karbon değerlerine sahip çelikler içinde yapılması gereklidir.
2. Bobinlerin baş ve sonlarındaki yüksek sarılma sıcaklığı 2.50-2.80 mm kalınlıktaki şerit malzeme için belirli mesafeye kadar uygulanmıştır. şerit malzemenin kalınlığındaki artış veya azalışa göre bu mesafenin belirlenip arttırılıp yada azaltılacağı belirlenmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] Takechi, H., Asamura, T and Sakurai, K., 1990. C.A.P.L. - A Market Driven Process, *Steel Times International*, Nippon Steel Corporation, July.
- [2] Continuous Strip Galvanizing Developments, 1962. *Iron Steel Eng.*, 39, 80-87.
- [3] Dancy, T.E. and Robinson, E.L. ed. 1959. Continuous Annealing of Deep Drawing Steel, *Flat Rolled Products*, D.J. Blickwede, TMS – AIME, New York, 91-103.
- [4] Matsudo, K., Osawa K. and Kurihara K., 1984. Metallurgical Aspects of the Development of Continuous Annealing Technology at Nippon Kokan, *Technology of Continuously Annealed Cold-Rolled Sheet Steel*, Conference Proceedings, The Metallurgical Society of AIME, Michigan, September 17-18, 3-36.
- [5] Junius, H. – T., 1989. Continuous Annealing of Cold Rolled Steel Sheet - Metallurgical and Economic Aspects, *Iron and Steel Engineer*, Production Manager, Rasselstein AG, Neuwied, West Germany, August, 45-52.
- [6] Technical Information on NKK - CAL - PROCESS, 1995. Volume 1, *Metallurgical Information*, NKK Corporation, Japan, January.
- [7] Kurihara, T., Nakaoka, K., Yamaguchi, T., Kuroda, H., and Yamamoto, J., 1974. Continuous Annealing of Drawing Quality Steel Strip, *Iron and Steel Engineer*, Nippon Kokan K. K., Japan, Aug., 39-43.
- [8] Matsuo, M., Hayakawa, H. and Hayami, S., 1991. *Texture Formation in Continuous Annealing with Emphasis on the Effect of Coiling Temperature of Hot Strip*, Fundamental Research Laboratories, Nippon Steel Corporation, Japan.
- [9] Sster, B. and Bergstrom, U., 1989. Extra Deep - Drawing Quality Steels by Continuous Annealing, Svenskt StalAB, Domnarvret S-781 Borlange Sweden and W.B.Hutchinson, Swedish Institute for Metals Research, Drottning Kristinas Vag 48 S - 114, *Development in the Annealing of Sheet Steels*, R. Pradhan and I.Gupta. Stockholm, Sweden, 28-84.

- [10] **Katoh, H., Takechi, H., Takahashi, N and Abe, M.**, 1984. Cold rolled Steel Sheets Produced by Continuous Annealing, *Technology of Continuously Annealed Cold-Rolled Sheet Steel*, Conference Proceedings, The Metallurgical Society of AIME, Michigan, Sept. 17-18, 37-58.
- [11] **Okamoto, A.**, 1984. Effect of Minor Elements on Mechanical Properties of Continuously Annealed Steel, Sumitomo Metal Ind. Ltd, Control Research Lab., No.3, *Scandinavian Journal of Metallurgy* 13, 283-288.
- [12] **Technical Information on NKK - CAL - PROCESS**, 1995. Volume 2, *Metallurgical Information*, NKK Corporation, Japan, January.
- [13] **Beranger, G., Henry, G. and Sanz, G.**, 1996. The Book of Steel, SOLLAC Vsinor Socilor Group, France.
- [14] **Ginzburg V., B.**, 1989. Steel-Rolling Technology, Theory and Practice, International Rolling Mill Consultants Inc., Pittsburgh, Pennsylvania.
- [15] **Krauss, G.**, 1995. Steels : Heat Treatment and Processing Processing, Department of Metallurgical Engineering, Colorado School of Mines, ASM International, Fourth Printing, Golden, CO.
- [16] **Galvani, C., and Baragar**, 1991. Effects of Hot Rolling Conditions on Texture and Mechanical Properties of Hot Rolled and Annealing Ti - and Nb - Stabilized IF Steels, *Interstitial Free Steel Sheet : Processing, Fabrication and Properties, Proceedings of the International Symposium*, Ottawa, Ontario, Canada, Aug. 19-20, 119-133.
- [17] **Samuels, L., E.**, Optical Microscopy of Carbon Steels, Department of Defence, American Society for Metals, Fourth Printing, Australia, April 1992.
- [18] **Properties and Testing of Steel Products**, 1992. C : Fundamental Properties of Steel, C4: Cold Rolled Steel Sheet, Japan International Cooperation Agency, Nippon Steel Corporation.
- [19] **Roberts, W., L.**, 1988. Hot Rolling of Steel, New York, New York.
- [20] **Roberts, W., L.**, Flat Processing of Steel, 1988. New York, New York.
- [21] **NKK-CAL Brief Training Book**, 1995. Fukuyama, Japan, June.
- [22] **Takechi, H.**, 1991. Recent Developments in the Metallurgical Technology of Continous Annealing for Cold-Rolled and Surface-Coated Sheet Steels, *Development in the Annealing of Sheet Steels*, Nippon Steel Corporation, TMS, Cincinnati, OH, Oct. 22-24, 3-23.
- [23] **Matsudo, K.**, 1983. Production of Deep Drawing Quality Cold Rolled Steel Sheets by the NKK Continuous Annealing Line Process (NKK - CAL PROCESS), *Nippon Kokan Technical Report*, Japan.

- [24] **Mizni, N. and Okamoto, A.**, 1991. Effects of Manganese Content and Hot - Band Coiling Temperature on Deep Drawability of Continuous - Annealed Al-Killed Sheet Steels, *Developments in the Annealing of Sheet Steels*, Cincinnati OH, Oct. 22-24, 247-251.
- [25] **Sıcak Haddeleme**, 1991. Sıcak Haddehane Müdürlüğü, Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları, T.A.Ş, Eğitim Müdürlüğü Yayınları, Kdz. Ereğli, Temmuz.
- [26] **JIS Handbook**, 1992. Ferrous Materials and Metalurgy, Japanese Standards Association, Test Pieces for Tensile for Metallic Materials, 27-29.
- [27] **ASTM Standards**, 1965. Metallography, Nondestructive Tests, Radiation, Industrial Chemicals, Spectroscopy, Part 31, May, 222-236.

ÖZGEÇMİŞ

1965 yılında Kars'da dünyaya geldi. Orta öğrenimini Gazi Lisesi'nde tamamladı. 1984 yılında girdiği İstanbul Teknik Üniversitesi'nden 1988 yılında Metalurji Mühendisi olarak birincilikle mezun oldu. 1989 yılında gittiği ABD Colorado School of Mines (CSM)'dan Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümü'nden 1991'de yüksek lisans eğitimini tamamlayarak yurda döndü. Ayrıca IISS (International Iron and Steel Society), ISS (Iron and Steel Society), CSM-Alumni, Metalurji Mühendisleri Odası ve Seramik Derneği üyesi olup bilgisayar ile modelleme ve demir-çelik konularında yurt içi ve yurt dışı çeşitli makale ve bildirileri vardır. Halen, Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş. Kalite ve Teknoloji Baş Müdürlüğü'nde çalışmaktadır.