

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ALAŞIMSIZ DÜŞÜK KARBONLU ÇELİKTEN
SOĞUK HADDELİ SACLARIN KALİTESİNİ
ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ**

139764

139764

Met. Yük. Müh. A.İlhan TAŞKIRAN

**F.B.E. Metalurji ve Malzeme Anabilim Dalında Üretim Programında
Hazırlanan**

DOKTORA TEZİ

Tez Savunma Tarihi : 27 Haziran 2003

Tez Danışmanı

: Prof. Dr. Müzeyyen MARŞOĞLU (YTÜ)

Jüri Üyeleri

: Prof. Dr. Ahmet TOPUZ (YTÜ)

Prof. Dr. Yılmaz TAPTIK (İTÜ)

Prof. Dr. Burak ALNİPAK (SAÜ)

Prof. Dr. Serdar KÜÇÜKKARAGÖZ (YTÜ)

İSTANBUL, 2003

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ	12
2. SLAB, DÖKÜM VE KATILAŞMA	15
2.1 Çeliğin Katılaşması	16
2.1.1 Porozite Teşekkülleri	18
2.1.2 Katılaşma Sırasında Büzülme	18
2.1.3 Gaz Teşekkülleri	19
2.1.4 Segregasyon Teşekkülleri	20
2.1.5 Normal Segregasyon	20
2.1.6 Göbeklenme (Coring)	20
2.1.7 Ters Segregasyon	21
2.1.8 Gravite Segregasyonu	21
2.2 Sürekli Döküm Teknolojisi ve Prensipleri	21
2.2.1 Sürekli Döküm Makinası Ekipmanları	22
2.2.1.1 Çelik Potası	22
2.2.1.2 Tandış	22
2.2.1.3 Çekme ve Doğrulama Merdaneleri	23
2.2.1.4 Kesme Mekanizması	24
2.2.1.5 Yüzey Temizleme Kontrolü	24
2.2.1.6 Sürekli Döküm Kademeleri	25
2.2.1.7 Sürekli Döküm Ürünlerinde Yüzey Kalite Kontrolleri	25
2.2.1.8 İnküzyon Miktarları Değerlendirmesi	26
2.2.1.9 Sürekli Slab Dökümünde İnküzyon Miktarı	28
3. SLAB ISITMA VE SICAK HADDELEME	29
3.1 Sıcak Hadde Prensipleri	30
3.1.1 Hadde Teorisi	31
3.1.1.1 Genel Konular	31
3.1.1.2 Haddeleme Şartları	32
3.1.2 İdeal Davranıştan Sapmalar	33
3.1.3 Haddelemenin Sıcaklık Konuları	34
3.1.4 Metalurjik Ve Teromekanik Konular	36
3.2 Slab Isıtma Fırınları	42
3.2.1 Fırının Yapısı	43

3.2.2	Yeniden Isıtılacak Ürünler.....	44
3.2.3	Fırın Geometrisi.....	44
3.2.4	Isıtma Gücü.....	44
3.2.5	Şarjın Taşınması	45
3.2.6	Yanma Gazları ve Yeniden Isıtma.....	46
3.2.7	Farklı Bölümlerdeki Sıcaklık Kontrolleri.....	46
3.2.8	Brulor Tipleri	46
3.2.9	Otomatik Isıtma Kontrolü.....	47
3.2.10	Oksit Tabakasının Oluşumu ve Etkileri.....	47
3.2.11	Isıtma Fırınlarda Isı Transferi.....	48
3.3	Sürekli Sıcak Haddeleme.....	49
3.3.1	Detaylı Organizasyon	51
3.3.1.1	Eksenel Kalınlık.....	53
3.3.1.2	Enine Kalınlık Değişimi ve Kenar İnceliği	53
3.3.1.3	Düzlemsellik	55
3.3.1.4	Köşe Eğriligi ve Köşegenlik.....	56
3.3.1.5	Genişlik.....	57
3.3.1.6	Yüzey (Görünüm).....	59
3.3.2	Fabrika Operasyonu.....	59
3.4	Gelecek Beklentileri	61
3.4.1	Akımlar	61
3.4.1.1	Yeniden Isıtma Fırınları.....	61
3.4.1.2	Haddehane	61
3.4.2	Perspektifler.....	62
4.	SOĞUK HADDELEME FONKSİYONU.....	63
4.1	Soğuk Hadde Ürünleri	63
4.1.1	İnce Şerit.....	64
4.1.2	Ambalaj Çemberi.....	64
4.2	Soğuk Hadde Prosesi	65
4.3	Asitleme.....	65
4.3.1	Amaç.....	65
4.3.2	Fabrika Yerleşimi	65
4.3.3	İtme-Çekme Hatları	66
4.3.4	Asidin Rejenerasyonu	66
4.4	Soğuk Haddeleme	67
4.4.1	Amaç.....	67
4.4.2	Soğuk Haddeleme Teknolojisi.....	70
4.4.3	Soğutma ve Yağlama.....	73
4.4.4	Düzlemsellik	75
4.4.5	Kalınlık	75
4.4.5.1	Kalınlık Ayarlama İlkeleri.....	76
4.4.5.2	Pratik Kalınlık Kontrol Teknikleri.....	76
4.5	Merdaneler.....	77
4.5.1	Tavlama, Kristalleşme	78
4.5.1.1	Metalurjik Altyapı	78
4.5.1.2	Bobin Tavlama.....	80
4.5.1.3	Sürekli Tavlamanın Endüstriyel Avantajı	81
4.5.1.4	İnce Şeritlerin Sürekli Tavlama Teknikleri	82
4.5.1.5	Hızlı Soğutma Teknolojisi.....	83

4.5.1.6	Bobin Ve Sürekli Tavlamanın Tamamlayıcılığı.....	83
4.5.2	Temper Hadde	84
4.5.2.1	Amaç.....	84
4.5.2.2	Teknoloji.....	84
4.5.2.3	Merdane Yapısı.....	84
4.5.2.4	Elektron Işını Dokulama(EBT).....	85
4.5.3	İlgili Aktivitiler.....	85
4.5.3.1	Depolama Operasyonları	85
4.5.3.2	Üretim Yönetimi.....	85
4.5.3.3	Ürün Gözlemi	85
5.	ÖLÇME VE KONTROL.....	87
5.1	Malzeme Balansını Belirlemekte Kullanılan Temel Ölçümler	87
5.1.1	Akış Miktarları Ve Ağırlık Ölçümleri	87
5.1.2	Sıcaklık Ölçümleri.....	87
5.1.3	Boyutsal Kontrol.....	89
5.1.3.1	Tek Boyutlu Parametreler:Genişlik,Kalınlık	89
5.1.4	Düzlemsellik Ölçüm Metodu.....	89
5.1.5	Yüzey Kontrolü	95
5.1.5.1	Kabuk.....	96
5.1.5.2	Tufal.....	96
5.1.5.3	Damar	97
5.1.5.4	Delik	97
5.1.5.5	Katlar	97
5.1.5.6	Haddeleme Yaraları:	98
5.1.5.7	Oyuk	99
5.1.5.8	Roll Mark.....	99
5.1.5.9	Ateş Çatlağının Markalanması	99
5.1.5.10	Sıcak Şerit Çizikleri.....	99
5.1.5.11	Soğuk Şerit Çizikleri.....	100
5.1.5.12	Tavlama Sonrası Lekeleri.....	101
5.1.5.13	Gerilme Çizikleri	101
5.1.5.14	Kesilmiş Kırıklar	101
5.1.5.15	Gölge.....	102
5.1.5.16	Yapışma Kırıkları	102
5.1.5.17	Rulo Kırıkları.....	102
5.1.5.18	Portakallanma	102
5.1.5.19	Pas.....	103
5.1.6	Çekme Testi.....	103
5.1.6.1	Çekme Testi Sonuçlarının Konvensiyonel Mühendislik Analizi	103
6.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	106
6.1	Kimyasal Analizler	106
6.2	Mekanik Testleri, Düzlemsellik Ve Yüzey Özellikleri	108
6.3	Metalografik İnceleme.....	110
6.4	Hedef Müşteri Grupları Belirlenmesi	112
6.5	Asitle Yüzey Temizleme İşlemi	114
6.6	Soğuk Haddeleme.....	116
6.7	Tavlama Prosesi.....	117
6.8	Temper Hadde	118

7.	SONUÇLAR VE İRDELEME	119
7.1	Kimyasal Analiz	119
7.2	Mekanik Özellikler	119
7.3	Yüzey Düzgünlüğü Ve Kalınlık Dağılımı	129
7.4	Yüzey Hataları	143
7.5	Metallografik İnceleme.....	149
7.6	Son Kullanımyerlerine Göre Değerlendirme.....	152
8.	SONUÇLAR.....	154
KAYNAKLAR.....		156
EK 1 Kullanılan Deney Cihazları.....		159
ÖZGEÇMİŞ.....		160



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 Sıcak prosesler.....	13
Şekil 1.2 Soğuk prosesler	14
Şekil 2.1 Sıcaklığa göre katı ve sıvı fazların enerji değişimi	17
Şekil 2.2 Ters segregasyonunun şematik gösterimi	18
Şekil 2.3 Katılaşma sırasında büzülme.....	19
Şekil 2.4 Katılaşma ve segregasyon	20
Şekil 2.5 Yüzeyinde açık çatlak bulunan bir slabın metalografik kesiti	25
Şekil 2.6 Metalin potadan tandişe, tandiştan kalıba dökülmesi sırasında korunumu	27
Şekil 2.7 Sürekli döküm sırasında kabukta hapsolmuş inklüzyonların görünebildiği enine slab kesiti.....	27
Şekil 3.1 Yassı çelik ürünleri için sıcak haddelemenin üretim sıralamasındaki yeri.	29
Şekil 3.2. Merdane düzleşmesi ve eğilmesi.....	32
Şekil 3.2 Merdane düzleşmesi ve eğilmesi.....	32
Şekil 3.3. Hadde tezgahının denge durumu ve elastik deformasyon.....	32
Şekil 3.4 Soğutma masasındaki ısısal davranış	38
Şekil 3.5. Bir bobinde çökelmiş AIN oranı	38
Şekil 3.6 Durağan yeniden kristalleşme tarafından takip edilen gerinim sertleşmesi	40
Şekil 3.7 Durağan yeniden kristalleşmenin kinetiği.....	40
Şekil 3.8 (1) Gerinim sertleşmesinin akan gerilim üzerine olan etkisinin idealize edilmiş sunumu. (2) Kısmi yeniden kristalleşme. (3) Yeniden kristalleşme yok. (1 ‘) tüm kristalleşme	41
Şekil 3.9 Gerinim sertleşmesi ve yeniden kristalleşme tane incelmesinin ilerlemesi	42
Şekil 3.10 Fırının genel yapısı.....	43
Şekil 3.11 Otomatik fırın kontrol sistemi	47
Şekil 3.12 Detaylı organizasyon.....	52
Şekil 3.13 Enine kalınlık değişimi ve kenar inceliği.....	53
Şekil 3.14 Dörtlü ve yedi ayaklı hadde merdaneleri görünümü	54
Şekil 3.15 İş merdaneleri hareket prensipleri	56
Şekil 3.16 Alt sarıcı	58
Şekil 3.17 Kalite-boyut ilişkisi	59
Şekil 3.18 Hadde kampanyaları için genişlik planlaması.....	61
Şekil 4.1 Sürekli soğuk tandem hadde prensibi.....	67
Şekil 4.2 Haddeleme teması ile değişen, haddeleme yükü bant akış gerilimi ve bant kalınlığı.....	68
Şekil 4.3 Metal akış gerilimi ve sürtünmesiz ortamda gerilim değişimleri.....	69
Şekil 4.4 Dörtlü soğuk hadde kesiti.....	71
Şekil 4.5 Yassı mamul haddelemede taclaşma etkisinin düzenlemesi ve azaltılması metodu	72
Şekil 4.6 Altılı hadde.....	73
Şekil 4.7 Sürtünmenin ve bant kalınlığının haddeleme yükü üzerindeki etkisi	74
Şekil 5.1 Göbek dalgalı bant örneği	90
Şekil 5.2 Coil set hatası	91
Şekil 5.3 Crossbow hatası.....	91
Şekil 5.4 Göbek dalgası	92
Şekil 5.5 Kenar dalgası	92
Şekil 5.6 Camber hatası	93
Şekil 5.7 Soğuk haddelemeye uygun sıcak bant özellikleri	94
Şekil 5.8 Bölgesel kalınlık farkı	94
Şekil 5.9 Sıcak banttaki sertlik dağılımının sebep olacağı dalga görüntüleri.....	95

Şekil 6.1 St 22 sıcak haddelenmiş hammaddenin metalografik yapısı	111
Şekil 6.2 St23 sıcak haddelenmiş hammaddenin metalografik yapısı.....	111
Şekil 6.3 St24 sıcak haddelenmiş hammaddenin metalografik yapısı.....	111
Şekil 7.1 % Uzama (azaltma) 1.0'den küçük için yapılan test sonucu (kalınlık:1.20 mm) ...	123
Şekil 7.2 % Uzama (azaltma) 1.1'den büyük için yapılan test sonucu (kalınlık:1.20 mm) ...	123
Şekil 7.3 % Uzama (azaltma) 1.0'dan küçük için yapılan test sonucu (kalınlık:0.60 mm) ...	124
Şekil 7.4 % Uzama (azaltma) 1.1'den büyük için yapılan test sonucu (kalınlık:0.60 mm) ...	124
Şekil 7.5 % Uzama (azaltma) 0.8'den küçük için yapılan test sonucu (kalınlık:0.90 mm) ...	125
Şekil 7.6 % Uzama (azaltma) 1.0' dan büyük için yapılan test sonucu (kalınlık:0.90 mm) ..	125
Şekil 7.7 % Uzama (azaltma) 0.8'den küçük için yapılan test sonucu (kalınlık:0.90 mm) ...	126
Şekil 7.8 % Uzama (azaltma) 1.0'dan büyük için yapılan test sonucu (kalınlık:0.90 mm) ...	126
Şekil 7.9 % Uzama (azaltma) 0.6'dan küçük için yapılan test sonucu (kalınlık:1.20 mm) ...	127
Şekil 7.10 % Uzama (azaltma) 0.7'den büyük için yapılan test sonucu (kalınlık:1.20 mm) .	127
Şekil 7.11 %Uzama (azaltma) 0.6'dan küçük için yapılan test sonucu (kalınlık:0.7 mm)	128
Şekil 7.12 % Uzama (azaltma) 0.7'den büyük için yapılan test sonucu (kalınlık:0.7 mm) ...	128
Şekil 7.13 Bozuk crown ve asimetrik uygunsuzluk analizi bobin no: c28.....	130
Şekil 7.14 Bobin no: C28 ECL hattında dalga durumu.....	131
Şekil 7.15 Bobin no: A8 crown uygunsuzluğu.....	132
Şekil 7.16 Bobin no:A9 crown uygunsuzluk analizi	133
Şekil 7.17 Bobin no: A9 ECL hattında dalga durumu.....	134
Şekil 7.18 Bobin No: B14 düzgün crown analizi	135
Şekil 7.19 Bobin no: B14 ECL hattında dalga durumu.....	136
Şekil 7.20 Bobin no: B19 düzgün crown analizi.....	137
Şekil 7.21 Bobin No: B19 ECL hattında dalga durumu.....	138
Şekil 7.22 Bobin no: B18 düzgün crown analizi.....	139
Şekil 7.23 Bobin no: B18 ECL hattında dalga durumu.....	140
Şekil 7.24 Bobin no: A15 düzgün crown analizi.....	141
Şekil 7.25 Bobin no: A15 ECL hattında dalga durumu.....	142
Şekil 7.26 Kabuk	143
Şekil 7.27 Tufal	143
Şekil 7.28 Damar	144
Şekil 7.29 Delik	144
Şekil 7.30 Katlar	144
Şekil 7.31 Roll mark.....	145
Şekil 7.32 Ateş çatlağı.....	145
Şekil 7.33 Sıcak şerit çizgileri	145
Şekil 7.34 Soğuk şerit çizgileri.....	146
Şekil 7.35 Tavlama sonrası lekeler.....	146
Şekil 7.36 Gerilme çizgileri.....	146
Şekil 7.37 Kesişmiş kırıklar.....	147
Şekil 7.38 Yapışma kırıkları.....	147
Şekil 7.39 Rulo kırıkları	147
Şekil 7.40 Portakallanma.....	147
Şekil 7.41 Pas.....	148
Şekil 7.42 St 22 hammaddeden St 12 final ürüne kadar metalografik inceleme sonuçları	149
Şekil 7.43 St 23 hammaddeden St 13 final ürüne kadar metalografik inceleme sonuçları	150
Şekil 7.44 St 24 hammaddeden St 14 final ürüne kadar metalografik inceleme sonuçları	151

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 İki farklı şarj sıcaklığında gerekli enerji miktarları.....	45
Çizelge 3.2 Yedi standlı (ayaklı) bir haddede merdane çapları.....	55
Çizelge 3.3 Bitirme treninde hız artırma tekniği ile haddeleme yapılması	57
Çizelge 4.1 Kullanım yeri ve özellikler çizelgesi.....	63
Çizelge 4.2 Bobin Tavlama ve Sürekli Tavlama Özellikleri (Schmitt,1992).....	79
Çizelge 5.1 Birincil ergitme ve arıtma ölçüm ve kontrolleri.....	88
Çizelge 5.2 Sıcak hadde asitleme, soğuk haddeleme, tavlama ve temper hadde kontrol yöntemi	88
Çizelge 6.1 Deneyde kullanılan St22 malzemelerinin kimyasal analizi	106
Çizelge 6.2 Deneyde kullanılan St23 malzemelerinin kimyasal analizi	107
Çizelge 6.3 Deneyde kullanılan st24 malzemelerinin kimyasal analizi	107
Çizelge 6.4 Deneyde kullanılan St22 malzemelerinin mekanik test analizi.....	108
Çizelge 6.5 Deneyde kullanılan St23 malzemelerinin mekanik test analizi.....	109
Çizelge 6.6 Deneyde kullanılan St24 malzemelerinin mekanik test analizi.....	110
Çizelge 6.7 St 22 malzemelerin hedef müşteri grupları.	112
Çizelge 6.8 St 23 malzemelerin hedef müşteri grupları	113
Çizelge 6.9 St23 malzemelerin hedef müşteri grupları	114
Çizelge.6.10 Asitle yüzey temizleme parametreleri	114
Çizelge 6.11 Soğuk hadde parametreleri	116
Çizelge 6.12 Tav parametreleri	117
Çizelge 6.13 Temper hadde parametreleri.....	118
Çizelge 7.1 St22 mekanik özellik gelişimi	120
Çizelge 7.2 St23 mekanik özellik gelişimi	121
Çizelge 7.3 St 24 mekanik özellik gelişimi	122
Çizelge 7.4 Final değerlendirme	153
Çizelge 8.1 Asitle yüzey temizleme parametreleri.....	154
Çizelge 8.2 Soğuk hadde parametreleri.....	154
Çizelge 8.3 Tav parametreleri	155
Çizelge 8.4 Temper hadde parametreleri.....	155

ÖNSÖZ

Tezimin hazırlanması sırasında kıymetli fikir, öneri ve eleştirileriyle bana yol gösteren tezimin her aşamasında ilgilerini esirgemeyen hocalarım Sn.Prof.Dr.Müzeyyen Marşoğlu ve Sn.Prof.Dr.Ahmet Topuz'a en içten teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Doktora tezimin laboratuvar çalışmaları sırasında beni destekleyen ve benden yardımlarını esirgemeyen Bamesa Çelik ve Borçelik firma ilgililerine ve yöneticilerine teşekkürü bir borç bilirim.

Tez hazırlama sırasında benden desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen tüm çalışma arkadaşlarıma gönülden teşekkür ederim.

En son olarak bana gösterdikleri sabır nedeni ile aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.



ÖZET

Otomotiv, beyaz eşya, metalik mobilya, gemi inşaat, makina mühendisliği ve paketleme sektörlerinin ana girdi malzemesi olan ve günümüzde büyük stratejik önem taşıyan yeniden kazanımlı çelik mamullerin en yaygın kullanım grubu alaşımsız düşük karbonlu kalınlıkları 0,14 mm - 3 mm arası olan soğuk haddeli yassı ürünlerdir.

Soğuk haddelenmiş yassı ürünlerin yaratılış nedenleri aşırı soğuma nedeni ile sıcak haddeleme ile elde edilemeyen kalınlıkların üretilmesi, yukarıda adı geçen sektörlerde gerek duyulan mekanik özelliklerin elde edilebilmesi ve kullanım alanlarına bağlı olarak değişen düzlemsellik ve yüzey özelliklerinin (görünüm, parlaklık, pürüzlülük vb.) sağlanabilmesi olarak sıralanabilir.

Bu çalışmada, belirtilen sektörlerin hammadde girdisi olan soğuk haddelenmiş yassı mamüllerin kalitesini etkileyen faktörler sıcak haddeleme prosesi girdisi olan sürekli döküm prosesinden itibaren teorik olarak incelenmiş ilgili bölümlerde kaliteye etki eden faktörler detaylı olarak ele alınmıştır.

Bu faktörlerden mekanik özellikler ile boyutsal özelliklerin düzlemselliğe etkisi deneysel çalışmalar bölümünde değişik kalitelerin (St12 – St 13 – St 14) ve ebatların farklı redüksiyon oranları, tavlama çevrimi, kalınlık dağılımı bağlantıları ile endüstriyel ortamda davranışları incelenmiştir. Çalışmaların her aşamasında mikro yapı ve mekanik özellikler tespit edilmiştir.

Deneyler sırasında 2 mm – 4 mm kalınlıkları arasında her kaliteden otuzar adet malzeme (St12.13-14) alınarak bu malzemelerin her birinin prosese girişte kimyasal analizi, mekanik özellikleri belirlenmiştir. Daha sonra her pasoda sertlik, mekanik özellikler ve mikro yapıları tespit edilmiş ve bu değerlerin ortalamaları çalışmada sunulmuştur.

Tüm mikroyapılardan ve mekanik özelliklerden malzemelerin haddeleme sırasındaki deformasyon sertleşmesi, rekristalizasyon tavlama sonuçları ve Temper hadde sonrası mekanik özelliklerde iyileşmeler gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yeniden kazanımlı çelik, soğuk haddelenmiş yassı ürünler, redüksiyon oranları, tavlama çevrimi, mekanik özellikler.

ABSTRACT

Cold rolled unalloyed low carbon recyclable steels between the thicknesses 0.14 mm – 3 mm are the main input material of the sectors, automotive, white goods, metallic furniture, ship construction, mechanical engineering and packaging. .

The reason of creating cold rolled steels are reaching the thicknesses that can not be produced with hot rolling, producing mechanical properties required for the sectors mentioned above and obtaining flatness and surface properties, flatness according to application field (appearance, brightness, roughness etc.).

In this study, the factors that effect the quality for the sensitive usage for the sectors written above of cold rolled products are explained in details including the teoritical explanation for casting and hot rolling processes.

In experimental part, the effect of mechanical and dimensional properties to flatness are investigated in different qualities (St12 – St13 – St14) related to their annealing cycles in different reduction rates and dimensions, thickness variations and their behaviour in industrial environment. In each stage microstructure and mechanical properties are observed and determined.

The defects of surface quality, that is one of the most important properties amongst cold rolled products, and its reasons are defined. During the experiments every 30 pieces of each quality (St12 – St13 – St14) between 2 – 4 mm, by defining chemical composition and mechanical property entering the process, has been detected whose hardness and mechanical properties and micro structures and the average of these values are presented in the study.

With all microstructure and mechanical properties during rolling process, deformation hardening and results of recrystallization annealing and the recovery of mechanical properties after SPM can be observed.

Key Words: Recycled steels, cold rolled flat steels, reduction rates, annealing cycle, mechanical properties.

1. GİRİŞ

Bu çalışmada alaşımsız düşük karbonlu soğuk haddelenmiş sacların kalitesini etkileyen faktörlerin incelenmesinde seçilen yol öncelikle bu malzemelerin ideal üretim metodu olan modern entegre çelik üretiminin genel incelenmesi olarak belirlenmiştir.

Takip eden bölümlerde tüm detayların verileceği bu çalışmalarda da görüleceği gibi tüm üretim aşamaları sıcak ve soğuk prosesler olarak ikiye ayrılabilir.

Sıcak bölüm hammaddeden başlayıp sıcak haddelemeyi de içine alan bölümdür. Bu bölüm aşağıda ki üretim adımlarından oluşur.

Hammadde hazırlanması: cevherin ve bazen kömürün homojenizasyonu

- Kok üretimi ve homojenize edilmiş cevherin sinterlenmesi: yüksek fırın beslemesi hazırlığı
- Yüksek fırında sıcak metal üretimi
- Çelik üretimine transfer öncesi demirin desülfirizasyonu

Saf oksijen üfleli konvertörlerde arıtma

- İkincil arıtmanın üretime bağlı olarak vakum altında veya standart metotla (gerektiğinde alaşımlandırma metodu ile) yapılması
- Sürekli slab döküm (~250 mm kalınlık 10-30 ton)

Sıcak hadde öncesi

- Slab ısıtma
- Sıcak haddeleme

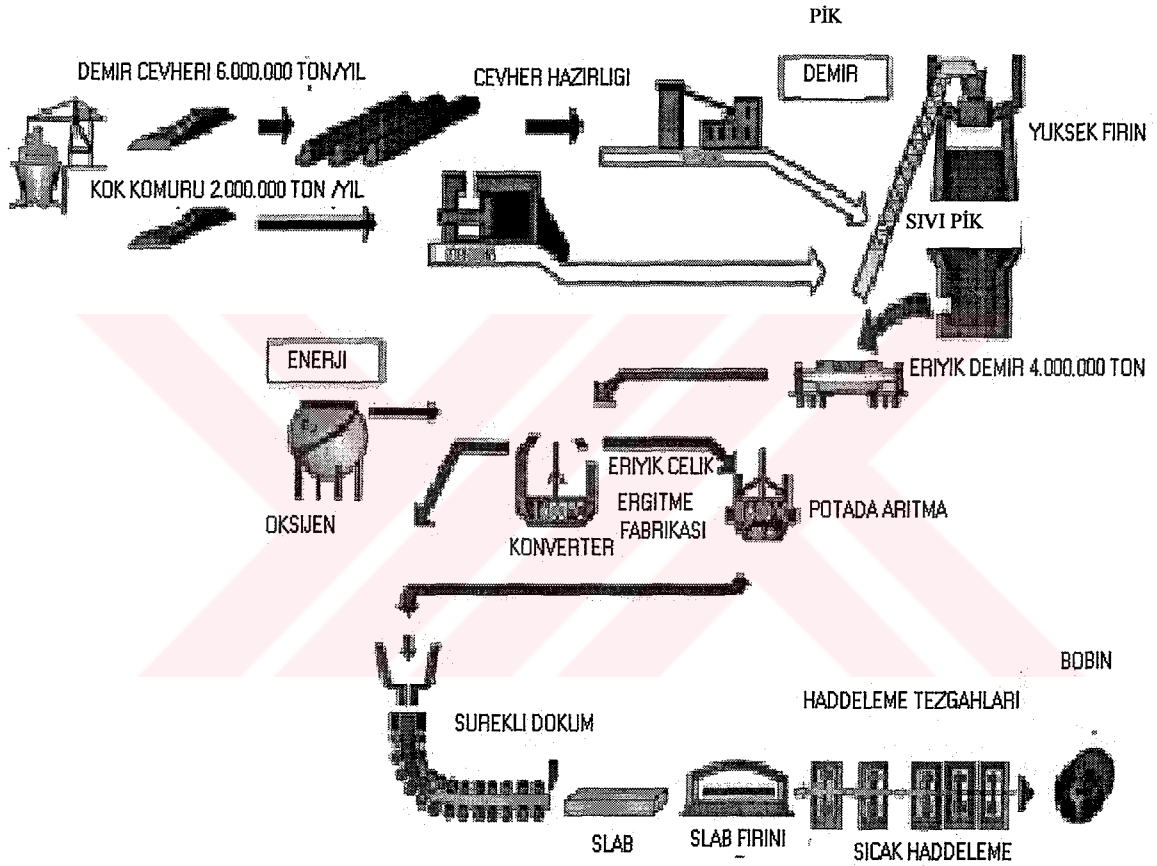
Soğuk prosesler ise;

- Asitleme ve soğuk haddeleme (modern tesislerde ara soğuma olmadan bu iki proses bir arada gerçekleştirilir.)
- Bobin tavlama veya sürekli tavlama
- Temper hadde

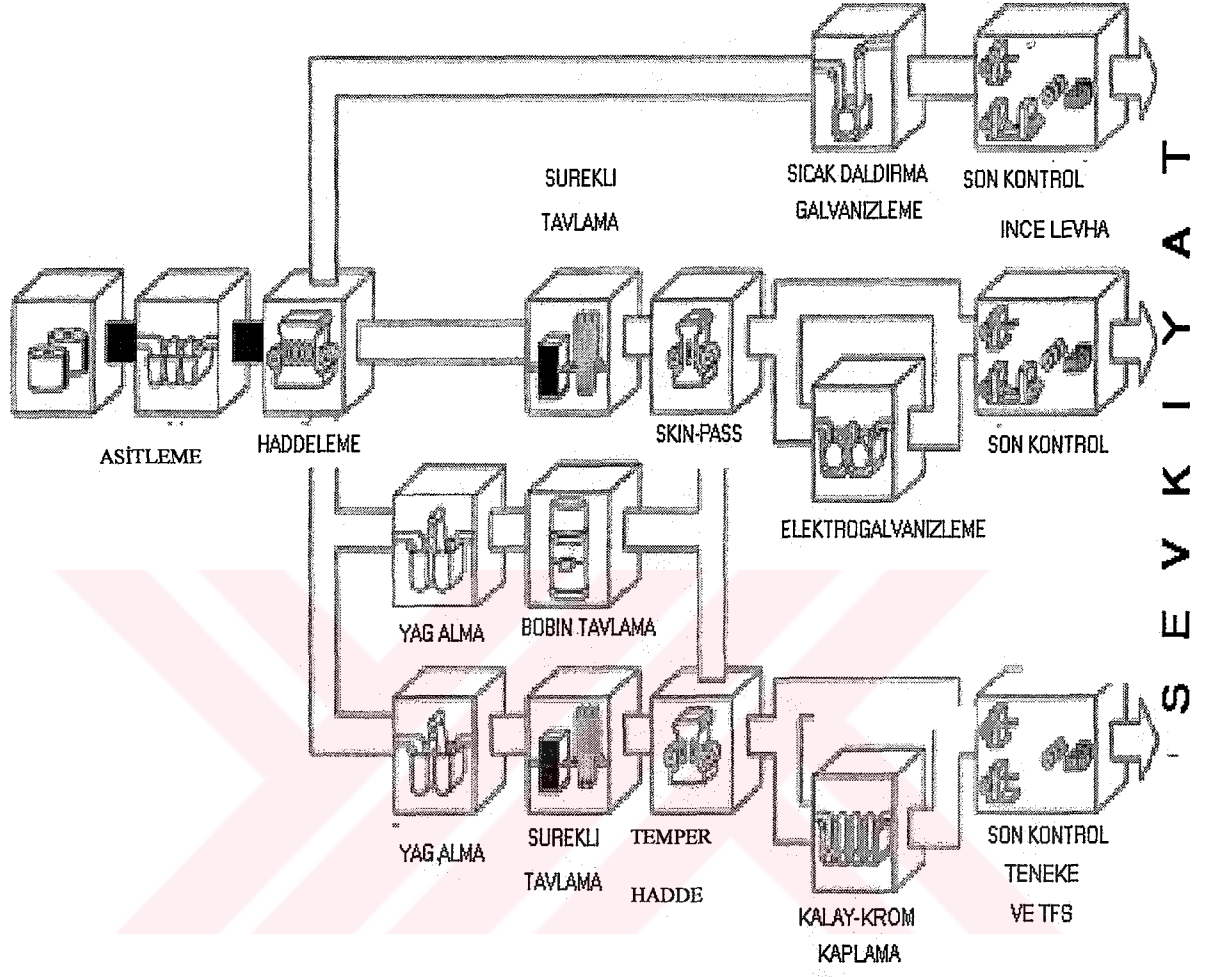
Kaplama konusu ve slab üretimine kadar olan sıcak prosesler konunun teorik incelenmesinin

soğuk haddeleme prosesine odaklanabilmesi için sadece başlangıç aşamasında şematik olarak sunulmuş olup detaylar alınmamıştır.

Slab üretimi soğuk haddeleme prosesinin hammaddesini oluşturan sıcak haddelenmiş bobin hammaddesi olması nedeniyle detaylar içerisinde bulunmaktadır. Tüm deneysel çalışmalar endüstriyel uygulamalar şartlarında yapılmış olup laboratuvar şartlarında test edilmişlerdir.



Şekil 1.1 Sıcak prosesler



Şekil 1.2 Soğuk prosesler

2. SLAB, DÖKÜM VE KATILAŞMA

Birinci ve ikinci arıtma işleminden sonra eriyik malzeme üretilecek malzemenin son halinde, sahip olması gereken kompozisyona , saflığa ve geometrik yapıya sahip olmalıdır. Dikişsiz boru ve çubuklar için yuvarlak, şekillendirilecek parça ve teller için kare, levha ürünler için ise dikdörtgen parçalar uygun olacaktır. Kesin ölçülü döküm üretiminde ise biraz farklı kriterler göz önünde bulundurulur.

Dökümle şeklini alacak olan yarı mamül, sonrasında sıcak ve soğuk şekillendirme için indirgeme gereksinimi duyar. Şu an hala, malzemeye minimum düzeyde sıcak şekillendirme yapılırken heterojen yapının giderilmesi ile istenilen mekaniksel özelliklerin daha rahat sağlanıldığı düşüncesi kabul görmektedir.

Döküm malzemesinin kalınlığını saptayan döküm teknolojisinin gelişmesindeki son durumu, levha malzemenin kalınlığını direkt etkiler. İngot döküm tüm kalınlıklarda uygulanabilir ancak yüksek kalınlık tercih edilir. Slablarda genelde kalınlıklar 150-350 mm ancak daha ince uygulamalarda bu kalınlıklar 20 –60 dır. Direkt şerit dökümlerde ise kalınlık çok daha azdır. Geleneksel ingot dökümler yüz yıllık tecrübelerle dayanır. Daha ince malzemeler genellikle, slabta basınçlı döküm hariç , sürekli döküm yöntemi ile üretilir. Geleneksel sürekli döküm 1960 ve 1970’ lerde ince slablara dökümler ise 1980’lerde gelişmeye başlamıştır. Direkt şerit dökümler ise bazı pilot fabrikalarda 20. Yüzyılın sonunda gelişim yaşamıştır (Tylecote,1976).

Konverterlerin ebatları, sıcak hadde tesislerinin kapasitesine yeterli, hem eriyik ve hemde malzeme üretim işlemlerine uygun olmalıdır.

Sayısal olarak baktığımızda levha malzemelerin üretiminin bütününde sürekli döküm yapılır, slap kalınlıkları 150-350 mm ve genişlikleri ise 750-2700 mm.dir. Yüksek verim elde edilen entegre tesislerin hepsinde sürekli döküm yapılmaktadır.400 mm’ye kadar olan yüksek kalınlıklardaki slablar, >80 mm üstündeki levhaların üretimde basınçlı döküm yada büyük ölçülerdeki ingot hadde yöntemleri ile üretilir.

Katılama çelik üretiminin en önemli safhasıdır. Levha çelik üretiminde malzemenin haddelenmesi ve ilk şeklini alması bu üretimde önemli bir yer alır. Malzemenin yapısında fenomen kalıntılar,eriyik dağılımlar ve yüksek bir ısı görülür. Sürekli dökümle bu fenomenlerin adaptasyonu daha rahat olur ve yüzey kalitesi artar.1980 li yıllarda gelişen teknoloji ile çelik üreticileri ve tesisler yeterli bir olgunluğa ulaşmışlardır.

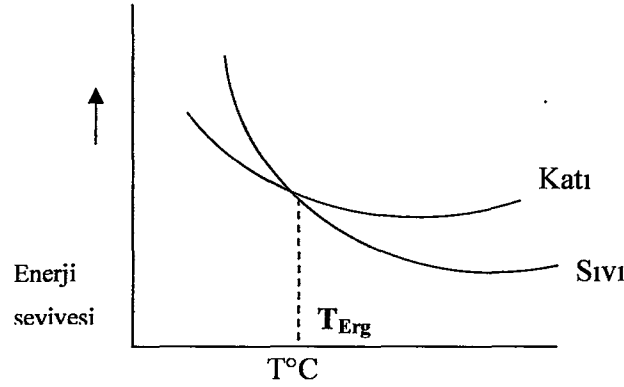
Klasik bir dökümde metalin bir tutucuyla sıvı halde alınıp başka bir yerde katılaşması beklenir. Eriğin arıtılmasıyla istenmeyen maddelerin ayrılması ve pota üstünde toplanan curufun kalıba verilmemesi gerekir. Sürekli dökümde slabların enerji ve ısı kaybının minimum düzeyde tutulması için slabların transferi olabildiğince hızlı yapılmalıdır. Bu sayede haddeleme için tekrar ekstra bir ısıtma işlemi yapılmaz ve fırının tekrar ısıtılması gibi bir yük ortadan kalkar.

2.1 Çeliğin Katılaşması

Normal endüstriyel şartlarda çelik katı-sıvı ara yüzeyinde kompleks şekillerde ve dentritler içeren bir yapı ile katılaşır. Her dendrit basit bir kristal şekil görünümündedir. Sıvı içinde üç boyutlu, birincil, ikincil ve üçüncül kollar meydana gelir.

Sıvı çelik katılaşırken, katılaşma mekanizmasına bağlı olarak değişik fiziksel ve kimyasal yapılar gösterir. İngotların kalıp içinde çatlak olarak çıkması veya diğer yüzey kusurları, kesit boyunca kimyasal ve fiziksel homojensizlikler göstermesini tamamen ingot dökümdeki katılaşma mekanizmasına bağlayabiliriz. Bütün bunlar ingotların daha sonra geçirecekleri işlemlerin akışını büyük ölçüde değiştirir. Hatta ingotların kalıptan sadece bir hurda malzeme olarak çıkmasına sebep olabilirler. Öte yandan ingot veriminin yani kalıptan çıkan ingotların alt ve üst kısımlarından kesilerek atılan çelik miktarının artması veya azalması dolayısıyla işlemin ekonomik verimi katılaşma mekanizmasının bir fonksiyonudur (Schewe,1987).

Belirli kimyasal bileşimdeki bir metal, ergime noktasının üstündeki sıcaklıklarda sıvı haldedir. Bu şartlarda metal atomları sıvı halde, katı durumdakinden daha düşük serbest enerjiye sahiptirler. Metal soğuyarak ergime noktasına geldiğinde atomların sıvı ve katı durumdaki serbest enerjisi eşit olur. Bu noktada bir kısım sıvı maddenin atomları katı hale geçerken, aynı sayıda katı maddenin atomuda sıvı hale geçer. Bu noktada bir dinamik denge mevcuttur. Bu denge sıcaklığının altında katı maddenin atomları daha stabil durumda olacaklarından (sıvı atomlarına göre daha düşük serbest enerjili) yukarda bahsedilen dinamik denge sıvıdan katı hale geçen atomlar lehine bozulur ve katılaşma başlar. Bu anlatılan Şekil 2.1' de şematik olarak gösterilmiştir.

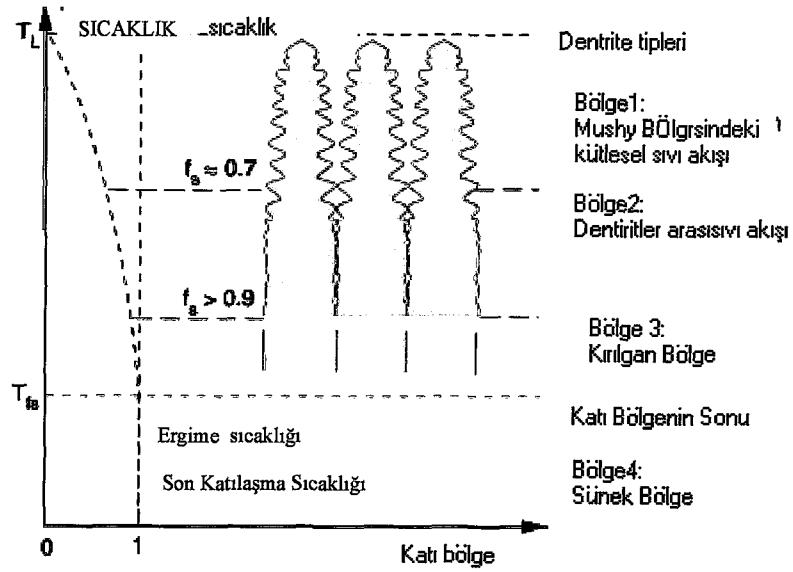


Şekil 2.1 Sıcaklığa göre katı ve sıvı fazların enerji değişimi

Görüldüğü gibi sıvı metalin katılaşma için ergime sıcaklığının T_E daha altına soğuması gerekmektedir. Buna aşırı soğuma adı verilir ki bu yeni teşekkül kristallerin enerji ihtiyaçlarını karşılayan itici bir güçtür. Halen geçerli teorilere göre , atomların teşkil ettiği katı malzemenin kafes yapısına sahip küçük gruplar devamlı tesadüfen teşekkül edip, tekrar sıvı metal içinde erirler. Bu tesadüfi küçük taneciklerin büyüyerek gerçek kristal teşkil etmesi büyüme prosesindeki enerji değişimlerine bağlıdır.

Kalıp içine boşaltılan sıvı metal kalıp cidarındaki pürüzlülükler üzerinde heterojen çekirdeklenme yaparak kristalleşir. Bu kristalleşme ani olarak teşekkül eder ve teşekkül edilen kristaller çekirdeklenme merkezinin fazla olması nedeniyle ufaktırlar ve gelişigüzel yönlendirilmişlerdir. Bunara çil kristalleri adı verilir (Şekil 2.2). Böylece kalıp cidarında ani olarak teşekkül eden çil tabakası çok incedir. Zira bu teşekkül sırasında açığa çıkan katılaşma gizli ısıları katı duvarların hemen yanındaki sıvının sıcaklığını yükseltir ve katılaşma engellenir. Daha sonra sıcaklık ergime sıcaklığının altına düşer. Bu arada iç kısımlarda başlayan soğuma miktarı artmıştır. Çil tabakası üzerine tekrar başlayan kristallenme dendiritik şekildedir. Sıvı, aşırı soğuma nedeniyle katı fazdan daha soğuk durumdadır. Bu nedenle ısı katı-sıvı ara yüzeyinden kondüksüyon iletimi yolu ile sıvıya akar, katı sıvı ara yüzeyi oluşur (Schewe,1987).

Dendiritik kristaller bu şekilde sıvı merkezine doğru önlerinde zengin bir sıvı tabakası taşıyarak ilerler. Bu arada içte kalan sıvı kısım yeterli bir aşırı soğuma yaptığından içinde bulunan çekirdeklenme katalistlerinin gücüne bağlı olarak kristalleşme gösterirler (Flemings,1974).



Şekil 2.2 Ters segregasyonunun şematik gösterimi

2.1.1 Porozite Teşekkülleri

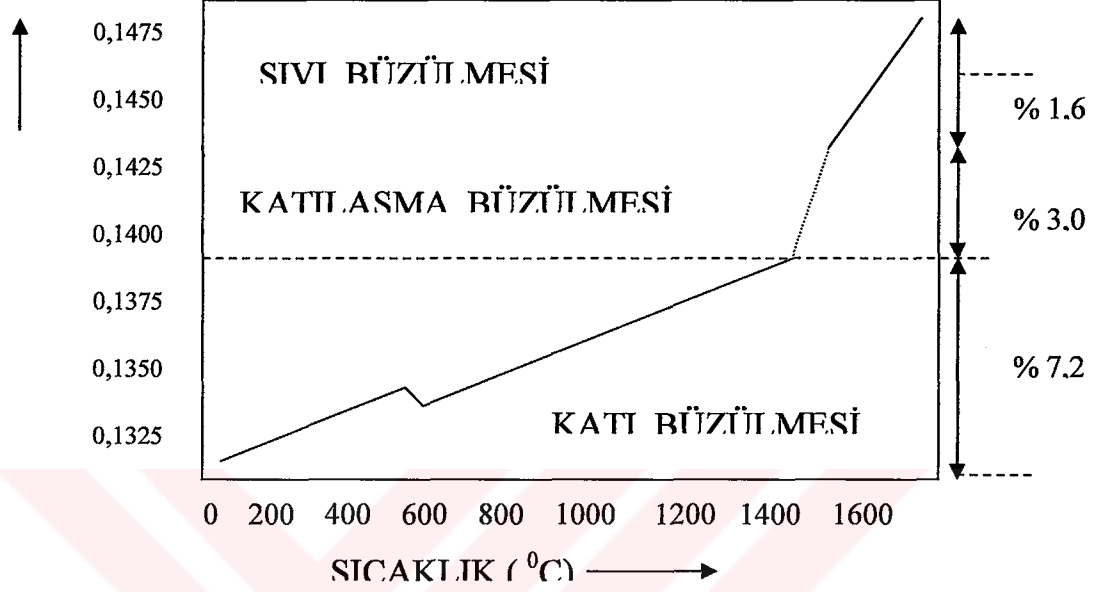
Porozite ingot yapısındaki farklı bölgeler, süreksizlikler ve boşluklar dolayısıyla oluşur.

2.1.2 Katılaşma Sırasında Büzülme

Sıvı çelik katılaşma sırasında bir hacim değişimi gösterir (Şekil 2.3). Bu hacim değişimi, eğer ingot gövdesi içinde gaz boşlukları şeklinde dağılmamışsa ingot tepesinde lünker veya boru tabir edilen bir boşluk meydana gelir. Eğer son katılaşma sırasında kalmış olan sıvının arasında katı köprücükleri teşekkül eder ve birbiriyle ilişkisi kesilen sıvı gölcükleri meydana gelirse lünkerin haricinde ingot gövdesinde boşluklar oluşur. Bunun dışında eğer başlangıçta oluşan çil tabakasının gizli ısı nedeniyle yandaki sıvının sıcaklığı çok yükselirse sıvının tekrar soğuması, kalıba dökülmüş haldeki sıvıya nazaran çok daha yavaş olur. Bunun neticesinde çil zonundan uzaktan birkaç kristal çekirdeklenerek dendiritik olarak büyürler.

Bu dentiritler arasında şıkışan ergime noktası yüksek olan sıvı, kolonsal bölge tamamlanıncaya kadar içerde kalır. Bunun katılaşması sonucu kolonsal bölge içinde boşluklar teşekkül eder.

SPESİFİK HACİM



Şekil 2.3 Katılaşma sırasında büzülme

2.1.3 Gaz Teşekkülleri

Sıvı metal içinde erimiş olan gazlar katı haldekenden çok daha fazladır. Katılaşma sırasında azalan eriyikleri dolayısıyla bu gazlar dışarıya kusulurlar. Böylece oluşan gaz habbecikleri çevredeki sıcaklık azalmasından ötürü, aşırı doymuş sıvıdan gelen gazların difüzyonu ile büyürler ve üstlerindeki sıvının ferro-statik basıncını yenebilecek büyüklüğe gelince yükselerek sıvı metal yüzeyinden kaçarlar. Ancak habbelerin büyüme hızı, katı fazın ilerlemesinden daha yavaş ise bu habbeler katı faz içinde tutulur.

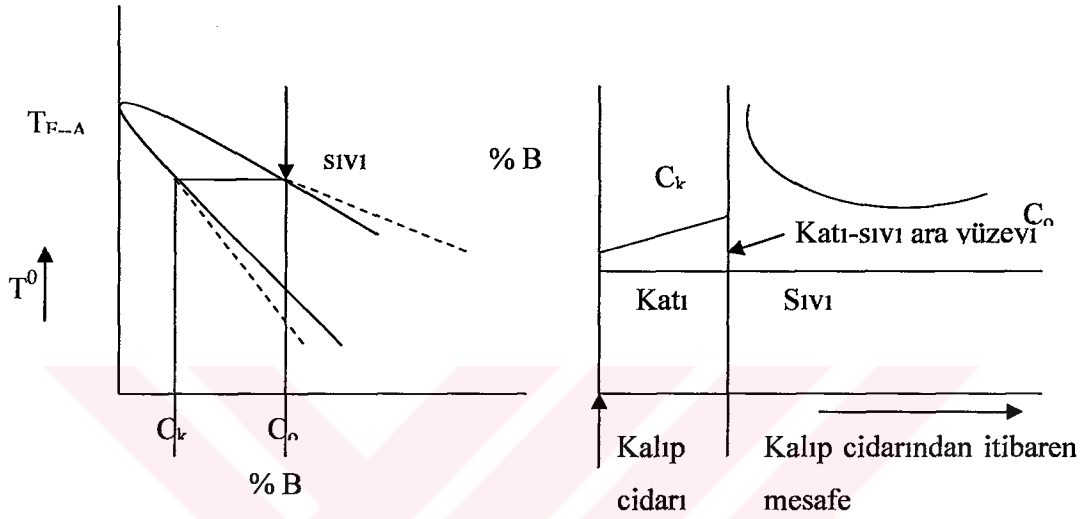
Böylece gaz boşlukları teşekkül eder. Aslında gaz boşluklarının teşekkülü daha çok CO teşekkülü ile ilişkilidir.

Habbe büyüme ve dentiritik kristallerin ilerleme hızları eşit olduğu zaman habbeler katı sıvı ara yüzeyine dik eksenli silindirik uzantılar halindedir. Eğer kristaller çok hızlı büyüyorlarsa habbeler uzayamaz ve küresel gaz boşlukları teşekkül eder.

2.1.4 Segregasyon Teşekkülleri

İngot yapısında yine katılaşma mekanizmasına bağlı olarak kimyasal homojensizlikler meydana gelir ki bunlara segregasyon denir. Çeşitli segregasyon tipleri vardır.(Schewe,1987-Flemings,1974)

2.1.5 Normal Segregasyon



Şekil 2.4 Katılaşma ve segregasyon

Denge diyagramında görüldüğü gibi A ya B ilave edildikçe A'nın ergime noktası düşmektedir. C_0 bileşimindeki bir alaşım gözönüne alındığında katılaşan fazın bileşimi C_k ana sıvısındakinden farklı olup, A'nın ergime sıcaklığının daha yüksek oluşu nedeniyle A'ya daha zengindir. Katılaşma oldukça hızlı ise ve B atomlarının difüzyonuna meydan vermiyorsa katı-sıvı arayüzeyindeki sıvı, ara yüzeyden uzaktaki sıvıdan B'ye daha zengin olacaktır. Bu durum Şekil 2.4'de kesik çizgilerle gösterilmiştir. Şekil 2.4'de de ara yüzeyden itibaren mesafe ile %B değişimi gösterilmiştir.

2.1.6 Göbeklenme (Coring)

Bu daha çok ingotun iç kısmındaki eş eksenli kristallerde görülür. İlk çekirdeklenen kristaller nispeten saftır. Ancak kristal büyürken, çevredeki sıvı bileşimi giderek zenginleşir, dolayısıyla kristale eklenen yeni kristaller dışı doğru saflıklarını kaybederler (buradaki saflık terimi katının Fe dışındaki elementleri daha az içermesi anlamında kullanılmıştır).

Bu durum eş eksenli kristallerde küresel bir göbek teşekkülüne yol açar. Aynı durum kolonsal zondaki dendrit kristallerinde de mevcuttur.

2.1.7 Ters Segregasyon

Bazen ingot kesitinde maksimum segregasyona, normal segregasyondakinin tersine, ingot kenarlarında rastlanabilir. Bunun nedeni kolonsal kristallerin dentiritik büyümesidir.

Dentiritik kollar arasından kaçamayan sıvı bu kısımda yüksek konsantrasyona neden olur. Bu durum aynı zamanda , porozite teşekkülüne yol açmaktadır.

2.1.8 Gravite Segregasyonu

İngotun üst ve taban kısımlarında bileşim farkı vardır. Bu durum çeşitli bileşimlerin farklı yoğunlukları sonucunda ortaya çıkar. Katılaşma sırasında katı sıvı ara yüzeyinin hemen önüne biriken sıvıdaki çeşitli bileşimler yoğunluklara göre dikey yönde hareket ederler ve böylece kolonsal zonda dikey yönde yukarı çıktıkça segregasyon artar. Öte yandan çevre sıvıya nazaran farklı yoğunluklarından ötürü iç kısımda teşekkül eden eş eksenli kristallerin batması veya yüzmesi nedeniyle iç kısımda da dikey yönde bir segregasyon teşekkülü mevcuttur. Önce teşekkül eden ve daha saf olan eş eksenli kristaller çökerken, alt kısımdaki sıvı yukarı yükselir. Böylece üst kısımda zenginleşmiş sıvı kristalleşir.

Bu nedenle iç kısımda alttan üste çıkıldıkça kimyasal bileşim değişir. Bu olay alt kısımda porozitenin azalmasına neden olur (kütle içi besleme).

2.2 Sürekli Döküm Teknolojisi ve Prensipleri

Sürekli dökümün temel prensibi ergimiş metali dipsiz bir kalıba dökerek kalıp cidarlarında kuvvetli bir kabuk oluşturmak ve bu kabuk içersinde katılaşma tamamlanana kadar sıvı metali muhafaza etmektir.

Konvansiyonel yöntem yani ingot dökümü, sıcak ve soğuk işlemlerle istenilen şeklin elde edilişi son yıllara kadar fazla değişiklik göstermeden süregelmiştir. Başlangıçta küçük olan ingotlar günümüzde 15-20 ton mertebesine erişmiştir.

Ancak son ürün elde edilene kadar yapılan her işlem kademesinde yeni kayıplar ve ıskartalar oluşumu, bu nedenle sıvı çelikten doğrudan (blum) veya (slab) üretimine yönelilmiştir. Bu durumda büyük kapasiteli, büyük yatırım isteyen blok haddeleri de devreden kalkmıştır. İşçilik ve zaman tasarrufu da diğer bir avantajdır. Özellikle demirdışı metaller için sürekli döküm yöntemi ile ilgili problemlerin halledilmesinden bir kaç yıl sonra çeliğin sürekli dökümde başarılmıştır (Tylecote 1976).

2.2.1 Sürekli Döküm Makinası Ekipmanları

2.2.1.1 Çelik Potası

Çelik potası fırında erimiş çeliği alır, taşır ve tandişe boşaltır. Potanın içi refrakter malzeme ile döşenmiştir. Potalar fonksiyonlarına göre şöyle ayrılabilir.

- Taşımaya göre: Monoray, vinç veya kaldıraçla taşınan potalar.
- Dökmeye göre: Üstten ve alttan döküm yapan potalar.
- Konstrüksiyona göre : Silindirik, İbrik şekilli, bölmeli potalar.

Monorayla taşınanlar > 100 kg- 800 kg

Vinçli potalar > 1 ton - 70 ton (yukarıdan dökmeliler)

1 ton - 480 ton (alttan boşaltmalı) kapasitelidirler.

Altan dökme, curufun sıçrama yoluyla metale karışmasını önler, mamul kalitesini iyi yönde etkiler ve döküm hızının kontrolünü kolaylaştırır.

2.2.1.2 Tandiş

Tandiş kristalizatöre (slab kalıbına) kesintisiz olarak metalin gelmesini sağlar ve kalıba giren çelik miktarını ayarlar. Bu arada çeliğin ısısı tandişden geçerken çok az kayba uğramalıdır. Ayrıca tandişler, curuf ve metalik olmayan malzemelerin kristalizatöre geçmesini engellemelidir. Sıcaklığın daha az kaybı için tandişin üzeri bir kapak ile örtülür.

Dökümden önce tandiş 1050-1250°C'te 3 saat sürede ısıtılır. Isıtma gaz yada mazotla yapılır(Schewe,1987).

Tandişlerin refrakter malzeme ile örtülen iç kısmının hazırlanmasında şamot (%52-60 SiO₂, % 20-46 Al₂O₃) tuğlalardan yararlanılır (Flemings,1974).

Tandişler tek yada çift stoperli olabilir. İkinci stoper emniyet içindir. Bazen tuğla örme yerine yalnız refrakter çamurlarını 4-5 atm. basınç altında sıkıştırılmasıyla tandiş duvarları oluşturulur, tabaka kalınlığı 8-10 cm'dir. Pota 6-8 saat kurumaya tabi tutulur.

Döküm sırasında görülebilecek aksaklıklar veya bozukluklar şöyle özetlenebilir.

Döküm başlangıcında stoper, nozul ağzını tamamen tıkamayabilir. Buna neden, stoperin yanlış yapılmış olması, yerinden sapması ve stoper borusunun sıcakta dayanımının yetersiz

olmasıdır. Tıkacın aşınması, reflakter özelliğinin kötü oluşu sonucunda, döküm bitiminde stoper nozul kanalını kapamayabilir. Nozul yerleştirmedeki hatalar metal sızmasına neden olabilir.

Slab Kalıbı (Kristalizatör): Sürekli dökümün başlangıç noktasıdır. Ancak bir kilit noktası denilebilir. Burada başlayacak bir hata döküm makinasının diğer kısımlarına doğru giderek artar.

Başlıca üç tip kalıp vardır.

- İnce cidarlı kalıplar
- Kalın cidarlı kalıplar
- Blok tipi kalıplar

Kalıp duvarları daha çok bakırdan imal edilirler, bakır duvarlar arkadan çelik bir ceketle desteklenmiştir. Bakır duvarların et kalınlığı 5-7 cm arasındadır.

Kalıp yüksekliği 50-150 cm arasındadır. Bu yükseklik üretilecek ürüne göre değişir. Slab için 1200 mm civarındadır. Blum için daha küçük boyutta olabilir.

Kalıbın çalışma bölgesinin, yani çelikle temas eden bölgesinin ısı geçirgenliği mümkün olduğu kadar yüksek olmalı, aynı zamanda yüksek mekanik özelliklere sahip olmalıdır (Örneğin kalıpta 1 ton çelik için 0,05 kg bakır harcanır). Kristalizatör malzemesi olarak başka metallerde denenmiştir (Örneğin %80 Ni + % 20 Cr'lu alaşım gibi). Ayrıca bakır levha üzerine Molibden tabaka ilave kalıplar iyi sonuç vermiştir. İngot , kalıbının hemen bitiminde 2-3 cm kalınlığında bir kabuğa sahip olmalıdır ki ingot iç kısmındaki sıvı faz ile sürekli döküm makinasının mekanik teçizatına ait basınçlara dayanabilsin. Bu kalınlık ise kalıbın boyut tesbitinde göz önünde tutulan bir parametredir.. Kalıp içinde dökümün başlangıcında oluşan kabuğun bakır duvarlara yapışmaması ve döküm sürekliliğinin muhafaza etmekle ilgili olarak sürekli döküm makinasında bir titreşim makinası kullanılır.

Ayrıca kalıp cidarları ingotun kalıba yapışmaması ve oksidasyonu azaltmak için yağlanırlar.

2.2.1.3 Çekme ve Doğrulama Merdaneleri

Döküm esnasında kütleyi (ürünü) sabit bir hızla aşağıya doğru çekmek için kullanılır. Dikey tip sürekli döküm makinalarında bu kısmın yalnız çekme görevi vardır. Yarı dikey ve yatay tip sürekli döküm makinalarında ise başlangıç dikey olarak ilerlemekte olan külçenin makina

konstrüksiyonuna göre değişik yerlerde monte edilmiş çekme ve doğrultma merdaneleri ile yatay konuma getirilmeleri öngörülmüştür. Dolayısıyla bu makinalardaki çekme merdaneleri külçeyi bükme veya eğme işlemine tabi tutarak doğrultma görevi de yapmaktadırlar.

Çekme merdaneleri büyük yüke maruz kaldıklarından dayanıklı bir konstrüksiyona sahip olmalıdırlar. Ayrıca üretim tipine göre değişik yapılarda olabilirler. Blum üretimini amaçlayan tesislerde çekme merdaneleri üst ve alt olmak üzere iki grup halinde monte edilirler. Üst çekme merdaneleri döküm başlangıcında dökümü kalıba vermek ve sonra alt merdaneye kadar ulaştırmak için yapılmışlardır. Alt çekme merdanelerinin esas görevi ise blumu istenilen hızla çekmektir.

2.2.1.4 Kesme Mekanizması

Şekillenen külçe belli bir uzunluğa geldiği zaman kesilerek, yarı ürün olarak haddehaneye sevk edilir. Belli boyutlarda yapılan bu kesme işlemi değişik esaslara göre çalışan mekanizmalar gerçekleştirir.

Hidrolik ve gazla kesme esaslı iki tip kesici sistem vardır.

2.2.1.5 Yüzey Temizleme Kontrolü

Döküm prosesinde külçenin dışarıdan görülebilen bozuklukları yanı sıra slabın iç yapısında da bozuklukların olabilmesi normaldir. Görülebilen hataların elle idare edilen gazlı kesicilerle slabdan koparılması gerekmektedir. Önemli olan husus iç yapı bozukluklarının tespit edilerek giderilmesidir. Burada haddehaneye sevk edilecek külçenin oradaki son işlemlerde düşük özellikli veya kalitesiz ürün elde edilmesine neden olmaması gerekir. Bunun için yüzey temizliğinde eritici gaz alevi kullanılarak standart işlemler uygulanır. Bu alevin eritme derinliği sınırlıdır. Bahis konusu işlem sonucunda yüzeyin hemen altına kadar etki etmiş hatalar ortaya çıkarılmaktadır. Gaz alevi ile eritme işlemi öncelikle şüpheli görünen yüzeylerde yapılır. Sonuçta 10-40 mm derinliğe kadar değişen kontrolde bozukluk bulunmazsa o bölge sağlam kabul edilir. Yüzey kontrolleri tamamlanan slablar bundan sonra haddehaneye sevk edilmeye hazır olarak depolama sahalarında stoklanırlar (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 Yüzeyinde açık çatlak bulunan bir slabın metalografik kesiti

2.2.1.6 Sürekli Döküm Kademeleri

Sürekli çelik dökümünde genel olarak 4 kademe söz konusudur. Bu dört kademe sürecinde külçenin sertleşme şartları değişiktir. Birinci kademe en kısa olup 45- 60 saniye sürer; kalıp sıvı çelikle doldurulur, bakır duvarların etkisiyle sıvı çelikte katı bir kabuk oluşur, bu anda soğuma hızlıdır. İkinci kademedede kalıba sıvı çeliğin beslenmesine devam edilir, kalıbın üst bölümündeki hızlı soğumaya karşın alt bölümde bu hız azalmış durumdadır. Kabuk, bakır duvarların alt ucundan ayrıldıktan sonra soğuma hızı tekrar artar. İkinci kademenin süresi dökümün çeşidi ve hızı ile tayin olur. Üçüncü kademe, kütle merkezindeki katılaşma ile devam eder ve süresi değişik olup, döküm boyu arttıkça artış gösterir. Dördüncü kademedede kalıba sıvı çeliğin beslenmesi kesilir, bu kademenin süresi ikinci kademeninkine eşittir (Schewe,1987-Flemings,1974-Lankford,1985-Raudensky,1995).

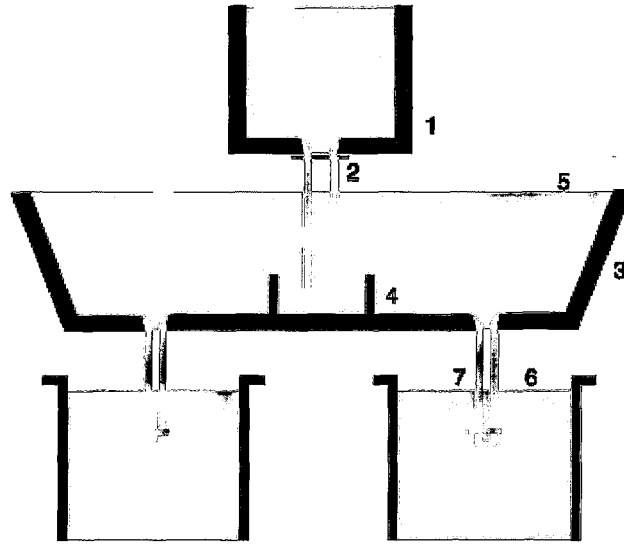
2.2.1.7 Sürekli Döküm Ürünlerinde Yüzey Kalite Kontrolleri

Bu kontrol sıcak haddehane ile sürekli döküm fabrikası arasında yapılmaktadır. Sıcak slabı takip eden proses olan yeniden ısıtma fırınlarına yüklenmesi nedeni ile bu işlem çok önemlidir. Operasyonların sürekliliği doğası nedeniyle kontroller sıcak olarak

sürdürülmektedir ve burada tespit edilen hatalar geri besleme olarak sürekli döküm prosesine bildirilir. Günümüzde en uygun otomatik kontrol tekniği Eddy-Current testidir. Başka bir deyişle bu metotların teknik uygulanma zorlukları endüstriyel kullanımlar için yeterince hazır değildir. Sensörlerin uygun yerleştirilmesi ile 1 mm derinliğinde boyuna ve enine 50-100 mm uzunluğunda çatlaklar belirlenir.

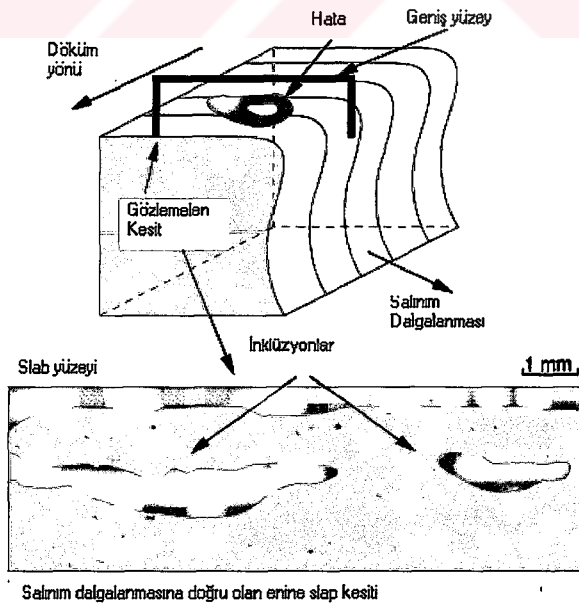
2.2.1.8 İnküzyon Miktarları Değerlendirmesi

Sürekli artan servis şartları ve şiddetli derin şekillendirme talepleri çeliklerin çok yüksek iç temizlik seviyelerine çıkmasını gerektirmektedir. Bu nedenle inküzyon miktarı kritik bir parametre olmasına rağmen, ergitme ve arıtma prosesleri çok düşük inküzyon seviyesi elde edilebilecek elementlerin kabulüne izin vermemektedir. İdeal durum inküzyonun mümkün olduğunca erken proseslerde, örneğin slab aşamasında belirlenmesidir. Üretimin bu aşamasında kontrol sadece kesilmiş numunelerden yapıldığından, malzeme boyunca iç temizliğin belirlenebilmesi için çok yüksek miktarlarda metalin test edilmesi gerekmektedir. En uygun metot Mannesmann tarafından geliştirilen ve akustik tarama bazlı Midas tekniği olarak düşünülmektedir. Numune, hadde yönüne dik slab kesitinden 10-redüksiyon oranı temel alınarak seçilmektedir. Tespit limiti 20 MHz. çevirici için 60 mikron, 50 MHz. için 30 mikrondur. Paketleme çeliklerinde derin çekme miktarları iç temizliği hayati kılması nedeniyle tüm testler nihai üründen alınan rutin örnekler üzerinde yapılır. Bu tarz ile sevkiyat öncesi kalite belirlenmiş olur. Hem çekme testleri hem de manyetik partikül kontrolleri de bu belirlemelerde kullanılırlar. Ve tüm nihai ürünler sıkı bir ekran takibi ile gözlenebilir. Bu işlemler sırasında temel prensip manyetik partikül kontrolleri olmasına rağmen belirlemeler manyetik alan sensörleri ile yapılmaktadır. Ölçülmüş alan değeri temel olarak hata kalınlığı ile bant kalınlığı arasındaki orana bağlıdır. Fiziksel prensibin çok basit olmasına rağmen endüstriyel uygulama çok fazla miktarda sensörlere ve kompleks ekipmanlara gerek duymaktadır. En hassas sistemlerde inküzyon miktarları limitleme hacimsel olarak $10-50 \times 10^{-3} \text{ mm}^3$ bu tespitler saniyede 20 mm. de hareket eden çelik üzerinde yapılmaktadır. Ayrıca asitleme hattı ve soğuk hadde hattı arasında ultrasonik lamba dalgaları kullanılmasıyla gerçekleştirilen kontrollerde vardır. Bu işlem 500 mikrona kadar inküzyon boyutlarında yararlı olmaktadır (Şekil 2.6 ve Şekil 2.7)(Schewe,1987-Flemings,1974-Kopineck,1992).



- 1.Boşaltım sonunda cüruf tespiti
- 2.Pota tandış akımının koruması ve örtüsü
- 3.Yüksek kapasite (40-80t) derinlik (>1) Tandış
- 4.Refraktor barajı (undish akımını modfiye etmek için)
- 5.Tandış örtme cürufu
- 6.Kalıp örtme cürufu
- 7.Tandış kalıp akıntı sınır korunumu ve örtmesi

Şekil 2.6 Metalin potadan tandiše, tandiştan kalıba dökülmesi sırasında korunumu



Şekil 2.7 Sürekli döküm sırasında kabukta hapsolmuş inklüzyonların görünebildiği enine slab kesiti

2.2.1.9 Sürekli Slab Dökümünde İnküzyon Miktarı

Sürekli döküm sırasında inküzyon miktarı potadan tandiše ve tandiştan kalıba döküm sırasında değişmektedir. Metal kirliliğinin önlenmesi ve inküzyonların yüzdürülerek sistemden uzaklaştırılması gereklidir. Yeniden oksitlenmede kaynağı refrakter ve curuflar etkilidir.

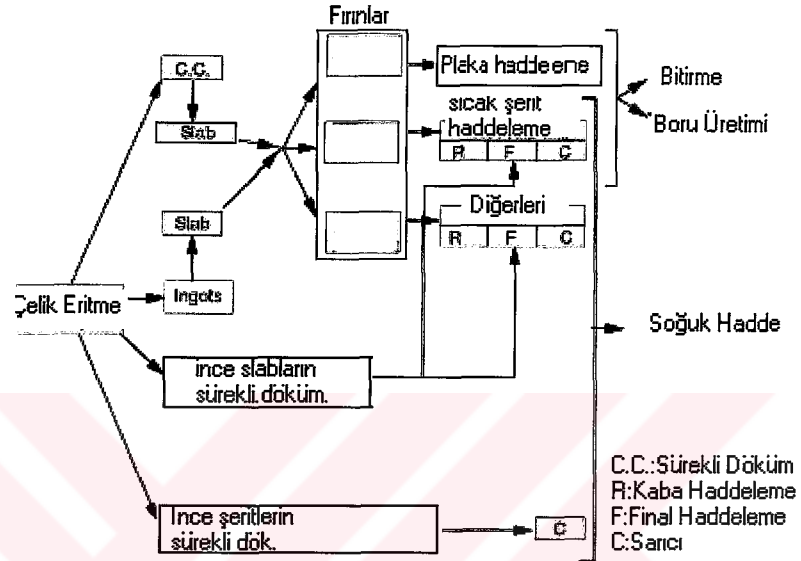
Bu kirliliği önlemek için çeşitli teknikler geliştirilmiş olup ana metod aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

- Stabil refrakterler kullanımı
- Inert curuf örtüleri kullanarak tandişteki ve kalıptaki metal yüzeyinin dış etkenlere kapatılması
- Curuf dedektörü kullanarak curufun potadan tandiše taşınımını sınırlandırmak
- Potadan tandiše tandiştan kalıba malzeme dökülürken oluşan akışın korunumu içerisinde nötr gazlar olan refrakter tüplerin kullanımı
- Derin tandiş dizaynları kullanmak suretiyle ve bu dizaynlarda oluşturulacak bölmeler kullanarak curufun kalıba geçişinin engellemesi
- Tandiş ekipmanları içinde inküzyon yüzdürülmesine yardım edecek cihazlar kullanması (refrakter duvarlar veya inert gaz injeksiyonu)
- Kalıptaki metal akışının kontrolü (sıvı metal içerisine tandiş akımının kontrollu penetrasyonu sağlanarak inküzyonların yüzdürülüp system dışına alınmasına uygun zaman sağlanması)

Slab döküm için en önemli kontrol parametreleri Nozzle geometrisi daldırma derinliği, döküm sıcaklığı, elektromanyetik kalıp karıştırılması ve elektromanyetik frenlemedir.

3. SLAB ISITMA VE SICAK HADDELEME

Yassı çelik ürünlerin üretim sıralamasında, slab ısıtma ve sıcak haddeleme, eritme, sürekli döküm ve slab stoklama bölümlerinden hemen sonradır (Şekil 3.1). Slabların büyük çoğunluğu sürekli dökümle üretilmesine rağmen ingot işlemleri hala bazı ürünler için kullanılmaktadır.



Şekil 3.1 Yassı çelik ürünleri için sıcak haddelemenin üretim sıralamasındaki yeri.

Henüz dökülmüş slablar , kompozisyon ve temizlikleri sabitlenmiş ama geometrisi (kalınlık, uzunluk, genişlik, ağırlık, düzlemsellik, diklik), metalurjik yapısı yada mekanik özellikleri olarak henüz belirlenmemiş başka bir deyişle tamamlanmamış yarı ürünler olarak tanımlanırlar.Sıcak haddeleme üretim prosesindeki önemli bir safhadır ve tüm slablar haddelenir. Bu yüzden haddeleme işlemleri büyük çaplı atölyelerde gerçekleştirilir.

Sıcak haddelemeyi terk eden ürünler iki kategoride incelenebilir. Bunların birincisi, soğuk haddeleme, kaplama (levhalar ve soğuk şeritler) veya normalizasyon C gibi başka bir üretim prosesine gidecek olan hala yarı ürün olanlardır. İkincisi ise, sanal olarak bitmiş gibi duran ama bazı özellik operasyonlarına girmemiş sıcak hadde ürünleridir. Bunlar ise sadece haddelenmiş olarak satılan sıcak sac ve levhalardır. Çelik yassı ürün fabrikalarının sevk edilebilir ürünleri sıcak haddelenmiş bobinlerdir.Her iki durumda da sıcak hadde prosesi sadece gerekli ürün geometrisini sağlamakla kalmamalı sonraki prosesler içinde uygunluğu sağlamalıdır. Bitmiş ürünler için geometri, yüzeyin fiziksel kimyası ve görünümü, metalurjik yapısı ve mekanik özellikler önemli etkenlerdir. Yarı ürünler için somut ve hemen ama daha

az önemli kriterler de vardır (örneğin metalurjik yapı, bazı elementlerin çökelme durumu, ve soğuk haddeden sonraki rekristalizasyon tavlama başarısının garanti edilmesi). Buna rağmen, sıcak haddeleme termal çevrim ve malzeme deformasyonunu içeren bir termomekanik işlemdir.

Sıcak haddelemenin diğer bir etkisi de (bu etki kalın kesitli ürünler için özellikle önemlidir) ilk slaba göre göreceli olarak küçük kalınlık azalması ile beraber; sıkışabilirlik veya iç düzgünlükteki artışın böylece sağlanmasıdır. Katılaşmadan gelen kaçınılmaz küçük çekme boşluklarının kapanmasıdır. Sıcak haddelenmiş ürün ile orijinal slab arasındaki fark dökümle dövme arasındaki farka benzetilebilir.

3.1 Sıcak Hadde Prensipleri

Şerit haddeleme temel olarak bir yassı ürünün farklı yönlerde dönen iki milin arasındaki açıklıktan geçirilmesi, parçanın sürtünme yardımı ile taşınır, kalınlığının düşürülmesini içerir. Bir geçişte metalin kalınlığı e_{n-1} den giriş kalınlığı olan e_n ye indirgenir. İstenen nihai kalınlık bunun gibi bir seri geçişten sonra elde edilir.

Bir sıcak hadde operatörü, sabit dizaynı bir atölyede çalışan, için; pratik veya güncel problem istenen nihai geometriyi optimum haddeleme planı ile (geçiş sayısı ve her geçişteki azalma) elde etmektir. Doğal olarak aynı zamanda sıcaklık ve deformasyon gibi parametrelere de önemli metalurjik kısıtlamalara da dikkat etmek zorundadır (Lankford,1985).

Hadde millerinin elektrik ve mekanik kısımlarını aşırı yüklemekten kaçınılması gerekmektedir. Bundan dolayı ve gerekli ayarları yapabilmek için mesela hazırlık zamanının ayarlanması gibi, her geçiş için alakalı parametrelerin (örneğin sürekli haddedeki duruşlar) bilinmesi gereklidir. Bu gerekliliğin sağlanması ve prosesin optimize edilmesi için haddeleme teorisi geliştirilmiş ve pratik uygulamaya yönelik kurallar ortaya konmuştur (Braud,1984).

Hassas sensörlerin verdiği uyarıları temel alan otomatik sistemler, haddeleme operasyonlarındaki mevcut durumlara göre gerekli ayarlamaları yaparlar. Bunu yaparken, bir slabdan diğerine geçişteki değişimleri en aza indirmeye çalışırlar. Önemli temel operasyon parametreleri;

*Giriş ve çıkış kalınlıkları çevrimi

*Mil çapı (zaman ve yükle değişir)

*Milin dönme hızı

*Ön ve arka gerilim kuvvetleri

*Metalin akışkanlık davranışı

*Metal ve miller arasındaki sürtünme.

Dolaylı yada dolaysız, bu parametreler sıcaklık ve zamanı içermek üzere birçok farklı değişken tarafından belirlenmektedir (Roberts,1972).

3.1.1 Hadde Teorisi

3.1.1.1 Genel Konular

Metali deforme etmek için gerekli enerji hadde millerinin motorları tarafından sağlanır. Metal kendisine yüklenen deformasyona , milleri ayırmaya çalışan kuvvet ve onları radyal ekseninde düzlemeye çalışan kuvvet ve eksen yönünde eğmeye çalışan kuvvetlere karşı direnç gösterir. Bu kuvvet hadde ayakları sütunları tarafından, elastik olarak deforme eden, dengelenir (gerilme). Kesme gerilimi hadde girişinde hadde torku yaratır. Yüklenen kalınlık azalmasına bağlı olarak oluşan gerçek gerinim (Şekil 3.2);(Roberts,1972-Sims,1954)

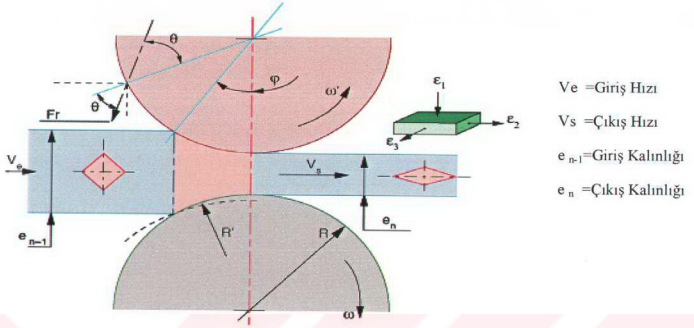
$$\epsilon_1 = \ln \frac{e_n}{e_{n-1}} \quad (3.1)$$

Kütle hacminin korunması nedeni ile kalınlıktaki incelme, azalma uzunluk (ϵ_2) ve genişlikteki (ϵ_3) artış ile kapatılır, karşılanır. Genişlik artışı genellikle ihmal edilebilir miktardadır. Sadece bölgesel olarak ve kenarlara yakın yerlerde, köşe yakınlarında gözlenir. Buralarda serbest akış (üçlü eksenel gerinim) durumlarının üstesinden geline yerlerdir. Bundan dolayı ürünün çok büyük kısmı düzlem gerinim koşulları altındadır: (Hill,1950).

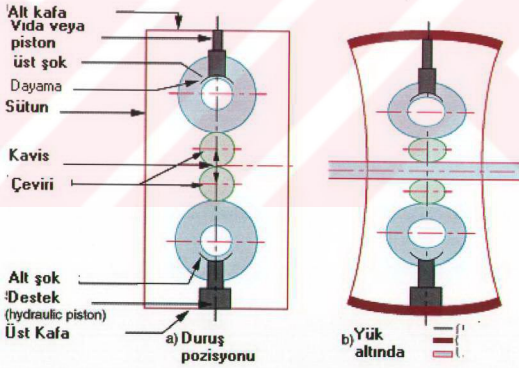
$$\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3 = 0 \quad \epsilon_3 = 0 \quad (3.2)$$

İncelenmesi gereken diğer önemli konu ise metal akış oranıdır. Çünkü kalınlık merdane boşluğunda azalması nedeni ile ortalama doğrusal hız, kalınlık oranı ile giriş hızının çarpımına herhangi bir noktada eşit olacak şekilde, giriş ve çıkış arasında artar. Düz paralel eksenli silindirler için, dış güçlerin yokluğunda, çıkış hızı merdanelerin çevresel hızından

büyüktür. Bu “ileriye doğru kayma” olarak bilinir(Orowan,1943).



Şekil 3.2 Mordane düzleşmesi ve eğilmesi



Şekil 3.3. Hadde tezgahının denge durumu ve elastik deformasyonu

3.1.1.2 Haddelme Şartları

Sıcak haddede, ürün mordane boşluğuna doğru itilmez, ama serbestçe beslenir, ve mordaneler tarafından yakalanmalıdır, kısıtlanmalıdır. İşlemden az önce, metal mordanelerle henüz temas halindeyken, reaksiyon kuvveti, F_r temas noktasında normalle θ lık bir açı yapan ürüne

sürtünme ve geometriye bağlı olarak uygulanır (Şekil 3.2). Eğer bu kuvvet merdane boşluğuna doğru uygulanırsa, ürün silindirlerin içine çekilir, yoksa itilir dışarı atılır ve bu durumda haddeme mümkün olmaz. Sıcak haddemede, düşük dayanımlı metalin her geçişte yüksek kalınlık indirgemelerine izin verir ($\Delta\epsilon = \epsilon_{n-1} - \epsilon_n$). Ama bu kriter de bir üst sınır ortaya koyar. Metal merdanelere verildiğinde merdanelerle olan temas nedeniyle deformasyon kaynaklı sürtünme kuvvetleri metali bu boşluktan çekmeye yeterlidir.

Böylelikle, yumuşak bir metal ve çok güçlü bir haddeme mili olsada, genelde karşigelen nominal gerinim azalması $r(\%) = 100 \Delta\epsilon / \epsilon_{n-1}$ veya azalma oranı $c = \epsilon_{n-1} / \epsilon_n$ terimleri ile ifade edilen bir herbir geçiş için maksimum mümkün olan azalma miktarı değeri vardır. Örneğin, 250 mm kalınlığındaki bir slab 2.8 mm ye haddelenirse toplam azalma ve gerinim değerleri $\Delta\epsilon = 247.2$ mm, $r = 98.88\%$, $c = 89.29$ ve $\epsilon_1 = 4.49$ dur. Bu yüzden bir çok geçiş gereklidir. Bu aynı ürünü aynı yerde farklı yönlerden besleyerek, her seferinde merdaneler arası açıklığı azaltarak yada birbirini izleyen yada aynı zamanlı birçok farklı haddeden geçirerek (tandem) yapılabilir (sürekli yada yarım sürekli merdaneler).

3.1.2 İdeal Davranıştan Sapmalar

Birçok faktör ideal davranıştan sapmalar olmasına neden olur, bunların en çok bilinenleri aşağıda verilmiştir:

Hadde tezgahlarına dayanan faktörler :

- Simetrik olmama
- Şeritin tezgahta kötü olarak merkezlenmesi.
- Merdane eksenlerinin dikey düzlemde paralel olmaması.
- Merdane eksenlerinin çapraz olması.
- Merdane eksenlerinin dönem ekseninden farklı olması (eksantirik)
- Tezgah arası gerilimin sabit olmaması (zamanla veya genişlikle)
- Mekanik geri kesme ve algılayıcı sürüklemesi, merdane açıklığı değerinde mutlak hata yaratır.

Merdanelere dayanan faktörler:

-Isısal genleşme

-Mil aşınması. Malzeme yüzeyindeki oksitlenmenin aşındırıcı olması nedeni ile rulolarda, kayma her bir haddelenen şerit için 2 mikrondan 3mikrona kadar aşınmaya neden olur.Bu olay, sadece ürünle temas halinde olan merdanelerin genişliğini etkiler. Şerit genişlikleri çevrimi ve termal geçmiş bundan dolayı aşınma profilinin nasıl olacağını belirleyecektir (Roberts,1972, Stevens,1971).

Ürüne dayanan faktörler:

-Kalınlık ve genişlikteki değişkenlikler

-Sıcaklık değişimleri. Çeliğin derecesine bağlı olmak üzere, ortalama akış gerilimi sıcaklıktaki 10°C lik bir değişim için 3% oranında değişir. Slab ısıtmasındaki düzensizlikler de çok önemli etkilere sahip olabilir.

-Sürtünme sabitindeki değişimler (özellikle aşağı ve yukarı yüzler arasındaki).

3.1.3 Haddelenen Sıcaklık Konuları

Tüm haddeleme operasyonları boyunca, ürün yavaş yavaş soğur. Hadde girişinin dışında ürün ısını radyasyon ve konveksiyonla kaybeder. Ürün hareketsiz olduğunda bir sonraki olay doğal konveksiyondur. Isıtmada sıcak malzeme ile temastan dolayı olan yoğunluk değişimleri hava akımlarının olmasına neden olur. Ürün hareket ettirildiğinde, proses güçlendirilmiş konveksiyon tarafından artırılır. İçerden dışarı bir ısı akımı ile ve kalınlıkla bir eğim yaratarak yüzey sıcaklığı ortam sıcaklığına doğru bir eğilim gösterir (Roberts,1972).

Merdaneyle arasında, ürün yine sıcaklığını merdanelere iletim yolu ile vererek kaybeder. Bununla birlikte, temas zamanı oldukça kısadır (bir kaç milisaniye). Merdane üzerindeki her bir nokta onu döndürmeye neden olan bir seri ısı vuruşu ile karşışarşıya kalır. Eğer yüzey teması kusursuz ise de, temas boyunca iki kütlelerin yüzey sıcaklıkları aynıdır. Ve pratik olarak, her ikisinin başlangıç ısılarının ortalamasına eşittir. Eğer temas kusurlu ise ve bu nedenle , pürüzler, oksit, su, buhar yada kayganlaştırıcılardan dolayı bir ara yüz tabakası oluşur, bir sıcaklık transferi sabitinin ilave edilmesi gereklidir. Pratikde, küçük kalınlıklar için (< 1 mm) ısı değişimi hemen hemen ihmal edilebilir ama ısı eşiği çok büyüktür. Benzer düşünceler, tufal gidermede uygulanır. Yüksek enerjili su jetleri kullanarak, zira yüzey sıcaklığı aniden 100°C ye düşer. Haddeler arası açıklığın sonunda, ürün ve merdaneler

arasındaki iletim, onları tekrar hızlıca oldukça kararlı bir hale getirir (kalınlıktaki ilk profil ne olursa olsun son sıcaklık eşiği bir parabolüdür).

Daha çok dönme esnasında olmak üzere, merdaneler hava yada soğutma suyu ile temas halindedir ve konveksiyon ve iletim yolu ile soğutulurlar. Son olarak, diğer bir sıcaklık konusu ise merdane girişindeki sürtünme ısınmasıdır ki çok ince bir yüzey tabakasını etkiler. Soğuk haddeleme durumunun aksine, bu problem için basit bir teorik çözüm yoktur. Yine sıcak haddeleme için bu durum iletken ısı vuruşu terimleri ile incelenir.

Aşınma modeli ile birlikte, merdane çaplarının etkisinden dolayı, ısısal bir model merdaneler için gereklidir. Merdaneler su ile soğutulduğunda, merdanelerin çevresinde ısı düzgün bir dağılım göstermez. En sıcak nokta merdane aralığının çıkışındadır (600 °C ye kadar) aynı anda en soğuk nokta soğutma suyundadır (100°C). Merdanlerin merkezindeki ısı yüzey ısılarının aritmetik ortalamasına eşittir. (80°C civarında). Bu farklılıklar eşik tersine döndürüldüğünde olan çekme gerilimi tarafından takip edilen merdane açıklığındaki merdane yüzeylerine uygulanan baskı gerilimi oluşturur. Bu gerilimler yüzey alanında kırık başlangıcı oluşturabilecek plastik gerinimi yaratmaya sahiptir. Bu durum karışık bir termal ve mekanik yorulmanın olmasına uygundur. Zira kırık duvarların oksitlenmesi ve su etkisi durumu kötüleştirir. Bu olağandışı durum merdanelerden parça kopmasına kadar gidebilir. Bu durumun haddeleme mili dizaynı ve operasyon koşulları seçiminde göz önünde ,bulundurulması için yeterli önemi ortaya koyar (Lankford,1985).

Haddelemeden sonra, ürün istenen soğuma sıcaklığına kadar kasten su ile soğutulur. Hangi proses uygulanırsa uygulansın, ister üstten rampalardan serbest düşen düz akımlı su jetleri (su perdesi) ile soğutma ister aşağıdan basınçla sprey olarak soğutma, mekanizma oldukça ve yüksek dercede karmaşıktır. Ve bu durum genel ısı yayım ısı transferi sabitinin incelenmesi ile basitleştirilir. Çeliklerin çok büyük bir kısmı için, faz değişimi su ile soğutma esnasında oluşur. Bu değişimin ekzotermik olması nedeni ile açığa çıkan ısı termal modellemede ve termofiziksel özelliklerdeki değişimlerde hesaba katılır. Birçok durumda, 0.3 den 1.2 m³/mn.m² ye kadar özel su akış oranları için ısı transferi sabiti 1500 den 300 W/m²değerlerindedir. Bu sabit değer su sıcaklığına, metalin yüzey ısisına ve soğutma ünitelerinden olan uzaklığa bağlıdır (Serena,1993).

Soğutmadan sonra ürün, havada tabii olarak soğur. Basit hesaplamalar için, klasik ısısal kanunlar bobine sıkı sarımlı büyük bir blok olarak ele alıp uygulanabilir. Fakat, sarımlar arasındaki ısısal direnci hesaba katmak gerekli olur (Wilson,1969).

3.1.4 Metalurjik Ve Teromekanik Konular

Sıcak haddelemenin metalurjik konuları, faz dönüşümleri anlamında, ısıt işlemler ile aynı faktörleri içerir. Bunlar metal kompozisyonu, alaşım elementlerinin durumu (çökelmiş yada bileşik , östenit tane boyutu) ve termal çevrimdir.

Sıcak haddelemeye özel özellikler aşağıda verilmiştir:

Slabler yüksek sıcaklıklara tekrar ısıtılır. Çözünebilen ürünler ve çökelme kinetiği , alüminyum nitrit,titanyum,niobyum karbür ve karbonnitridleri gibi oldukça çözünmeyen bileşiklerin tam çözümlerine yol açar. Diğer bir sonuç ise, belirgin tane büyümesi ,fırın çıkışında 200 µm lik bir tane oluşumunun sağlanması. Buna rağmen, sıcak haddelemede kayda değer bir tane küçülmeside olur ve proses sonunda değişime uğrayan östenit ilk yapısına oranla daha incedir (Roberts,1972).

Soğuma yasaları oldukça farklıdır ve haddeleme esnasında “sürekli ivmelenen (hızlandırılmış), spreyleme esnasında “düzenli”, soğutma tarafından “kesilmiş” olarak tanımlanmalıdır. Faz dönüşümleri anlamında, soğuma çizelgesindeki durumlar CCT diyagramındakilere benzer. Bu arada, bunlar bobinde TTT diyagramına daha yakındır zira bobin merkezi bir iki saat içinde aynı sıcaklıkta kalır ve sonra daha yavaş soğur. Çünkü, iç ve dış kısımda daha hızlı olmak üzere bobindeki soğuma düzgün değildir (özellikle de kenarlarda). Bu etkiyi azaltmak için, kenarlar için etkisi olmasa da, şeritin başlangıç ve bitişinde daha azaltılmış spreyleme uygulayarak seçilmiş bir soğutma uygulanır (Wilson,1969).

Haddeleme esnasında, 1200°C ile 900°C arasında, düşük çözünürlüklü elementler kısmi durumdadır,sonra tamamen superdoymuşluk oluşur ve takibinde östenit içinde çökelme için potansiyel olarak hazır olur. Buna karşın, kinetik sebeplerden dolayı, sıcaklık tek başına çökelme için yeterli olmamasına rağmen bu olayı hızlandırır. Bu gerinim tarafından oluşturulan çökelme mekanizmasıdır. Örneğin Niyobyum karbürler, 1000°C civarında tipik olarak çözülmezdir, sıcak haddeleme koşullarında deforme olmuş östenitde çökelme kinetiğine göre bu karbürün çökmesi veya gerçekleşmeyecektir. 900°C de, yüksek niobyum ve karbon içerikli bir kalitede, gerinim tarafından olan çökelme 10 saniye sonra başlar. Faz değişimi sırasında, östenit tane boyutu ve dislokasyon yoğunluğu bundan dolayı termo mekanik çevrime bağlıdır. Basit ısıt işleme karşı olarak, yüksek sıcaklıkta çözünen elementler östenit içinde çözültide kalırlar (Serena,1993).

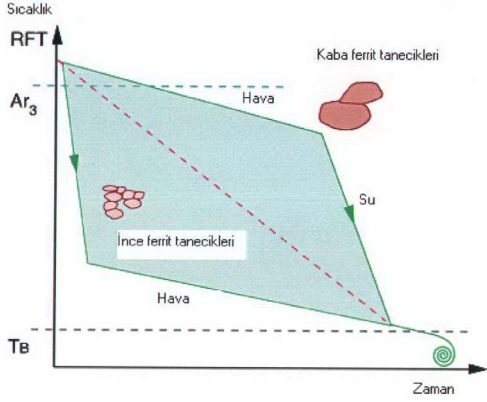
Su ile soğutma esnasında, ferritteki düşük çözünürlüklü elementlerin ara faz çökmesi hızlı

çekirdekleşme kinetiği ile olur (deformasyon miktarı çökelti boyutunu etkiler). Buna karşın, düşük çekirdeklenme kinetikli fazlar, uygun bir sıcaklık sağlayarak bobin içinde çökeleceklerdir. Önemli bir örnek alüminyum nitrat , 720°C gibi yüksek sarma sıcaklıklarında çökeler, ama 600°C nin altında olmaz. Sıcaklığa karşı olan bu yüksek duyarlılık yüzünden bobinin düzgün olmayan soğuması farklı alanlarda farklı miktarlarda AIN olmasına sebep olur (Kopineck,1992).

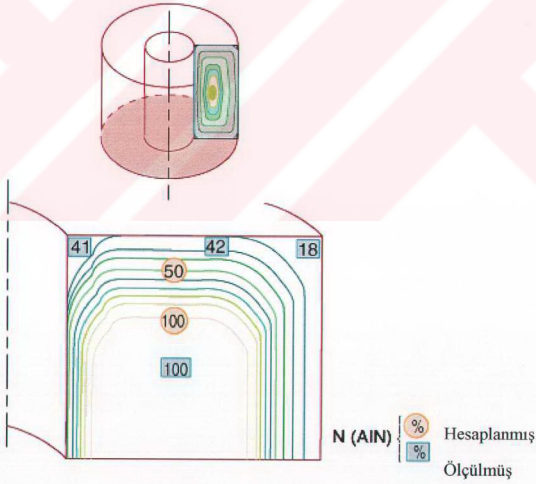
Diğer bileşikler için, bobinde “Tutma zamanı” tanecik irileşmesi veya morfoloji değişmesine (örneğin demir karbür) sebep olur. Karbon gibi, hızlı difüzyon olan elementler kendi denge koşullarına ulaşabilir. (Roberts,1972)

Östenitin deformasyona uğraması Ar_3 sıcaklığının artmasına yol açmasına rağmen ferritteki çekirdeklenme alanlarının sayısını artırıp son parça boyutlarında genel tane incelmeye sebep olur. Ayrıca, CCT diyagramındaki faz alanlarını modifiye ederek sertleşebilirliği düşürür (Wilson,1969).

Bir haddeleme geçişinde, sıcak malzeme plastik olarak deforme olur. Başlangıçta poligonal olan östenit taneleri metal gibi deforme olarak düz ve uzun olurlar (keksel yapısı-pancake). Metalin akış gerilimi mikroyapıdaki değişimi aksettirir. Hızlı gerinim sertleşmesi kristal hatalarının (dislokasyonlar) oluşumundan dolayı deformasyonun başlangıcında meydana gelir. Bu olay yüksek sıcaklıklarda yeniden toparlanma mekanizmasının aktif olması dışında soğuk işlemden oluşan olaya oldukça benzer. Tane sınırları yüksek sıcaklıklarda oldukça yüksek bir etkiye sahiptir ve tane sınırları düzlemi boyunca kesme ile bütün genel gerinime açıkça destek olurlar. Çok yüksek gerinimlerde, dinamik yeniden kristalleşme sonuç olarak başlar, ama bu şartlar sıcak haddelemede gerinim yetersizliği ve özellikle olmayan yüksek gerinim hızından dolayı asla elde edilemez (Braud,1984).



Şekil 3.4 Soğutma masasındaki ısısal davranış



Şekil 3.5. Bir bobinde çökelmiş AIN oranı

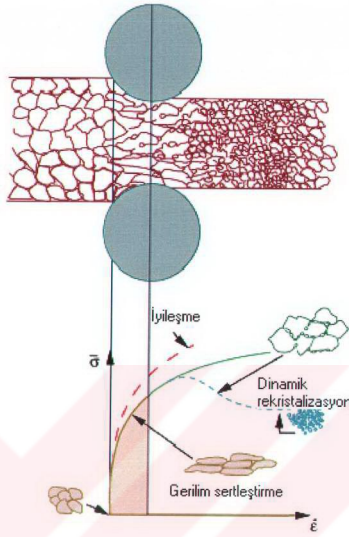
İki geçiş arasında, metalde depolanan gerinim enerjisi yeniden toparlanmanın devam etmesine imkan verir ve eğer yeterli ise statik yeniden kristalleşme için ilk adımın oluşmasına sebep olabilir (Şekil 3.6 ve Şekil 3.7). Gerinim birikmesinin çok olduğu yerlerde yeni taneler tane sınırlarında belirir ve eski tanelerin içine doğru büyürler. Reaksiyonun kinetiği genellikle, sıcak işlenmiş ve geri kazanılmış alanlarda yeni tanelerin olduğu zamandaki periyod içinde olan kısmı yeniden kristalleşme terimleri ile açıklanır. Ve yeniden kristalleşme tamamlandığında ortalama tane boyutuna bağlı geleneksel tane büyümesi başlar. Bu olgular, bir önceki merdane geçişindeki deformasyon koşullarına (gerinim, gerinim hızı ve sıcaklık) ve ortalama deformasyona uğramış tane boyutuna şiddetle bağlıdır.

Katı çözeltideki tüm elementler, yeniden kristalleşme kinetiklerini geciktirici yönde davranırlar ama bazıları diğerlerine oranla çok güçlü engelleyicilerdir özellikle niobyum ve titanyum gibi mikroalaşım elementleri ki bunlar 100 ppm seviyesinde bile olsa çok güçlü olarak etkilerler. Örneğin, 950°C de, düşük karbonlu yumuşak çelik 1 saniye sonra yeniden kristalleşeceği şartlarda, 200 ppm lik niobyumun varlığında gerekli zaman 60 saniye olacaktır.

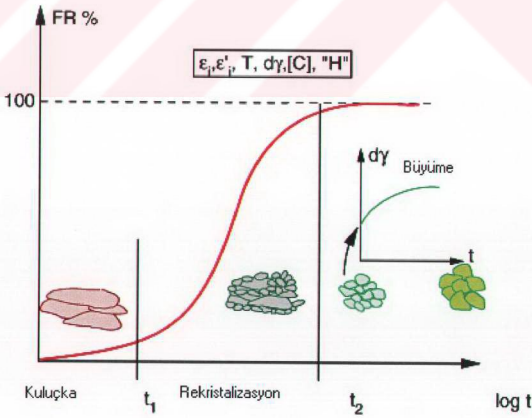
Haddeleme esnasında verilen kısa ara geçiş zamanları , bir sonraki haddeye girerken metal sık sık kısmen yeniden kristalleşir. Mekanik bakış açısından, heterojen malzemedir. Bu kısmen gerinim sertleşmesi olan kısmen toparlanmaya uğramış taneli ve kısmen ince yeniden kristalleşmesi tamamlanmış taneli olmaktadır. Genel gerilim akışı karışım kanununa uygun olarak davranır. Bu etki ihmal edilemez ve eğer yeniden kristalleşen hacim oranı küçük ise ortalama gerilim akışını 30% oranında arttırır. Yüksek gerinim hızlarından dolayı, ilginç ve kayıt edilmesi gereken bir noktada, sıcak haddeleme boyunca akış gerilimi oda sıcaklığı akma geriliminden sık sık büyük olmaktadır.

Gerinim sertleşmesi çevriminde, statik yeniden kristalleşme ve östenit tane büyümesi bitirme haddesine doğru statik tekrar edilir. Mikroalaşımsız çelikler için, istenen tane incelmeye yol açar (levhada 30 dan 50 µm ye , hadde çıkışı yaklaşık 15 µm)(Şekil 3.9). Mikroalaşımlı kalitelere, bitirme haddelerinde yeniden kristalleşme tam değildir.

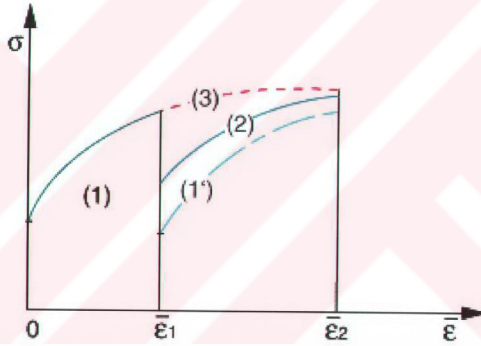
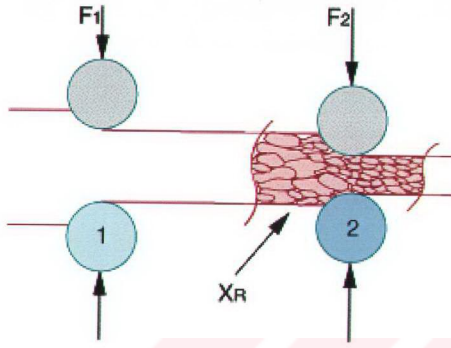
Haddelemenin Ar3 sıcaklığının altında bitmesi halinde, ferrit ve östenit aynı anda bulunur. Eğer metal bobinde yüksek sıcaklıklarda yeterli zaman harcarsa, ferritte toplanan gerinim tekrar onun , kaba taneli veya uniform olmayan ferritik tane yapısında yeniden kristalleşmesine sebep olur.



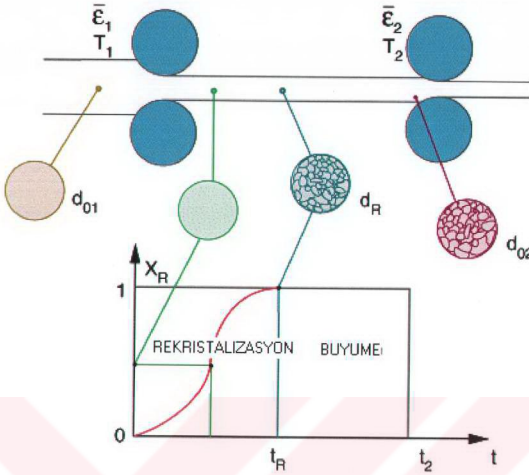
Şekil 3.6 Durağan yeniden kristalleşme tarafından takip edilen gerilim sertleşmesi



Şekil 3.7 Durağan yeniden kristalleşmenin kinetiği



Şekil 3.8 (1) Gerinim sertleşmesinin akan gerilim üzerine olan etkisinin idealize edilmiş sunumu. (2) Kısmi yeniden kristalleşme. (3) Yeniden kristalleşme yok. (1') tüm kristalleşme



Şekil 3.9 Gerinim sertleşmesi ve yeniden kristalleşme tane incelmesinin ilerlemesi

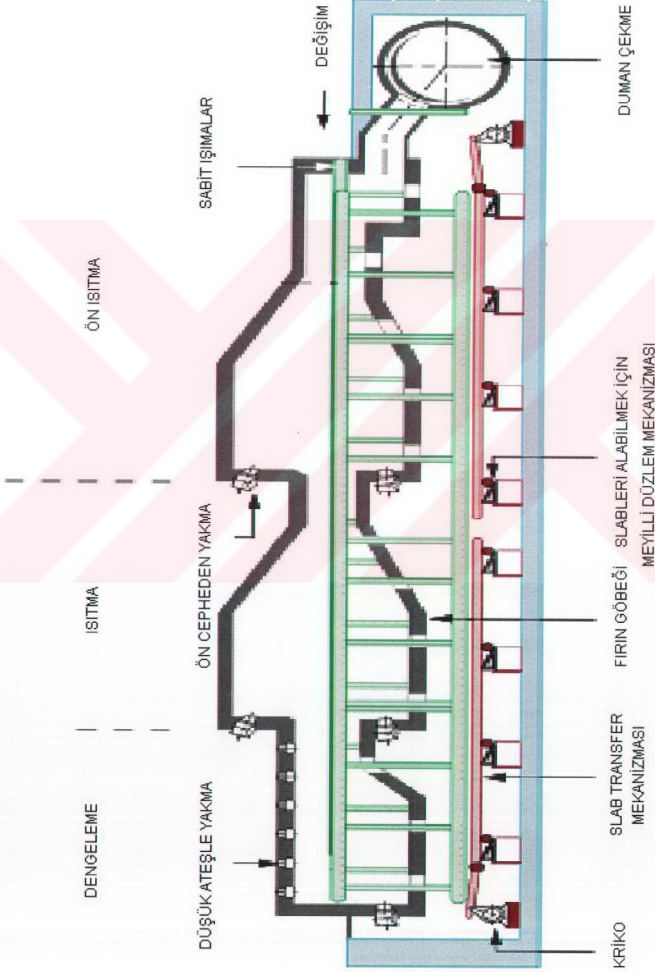
3.2 Slab Isıtma Fırınları

Haddeleme makinalarına ek olarak; sıcak haddeleme fabrikalarında metalin haddeleme sırasında karşılaştacağı büyük gerinimlere dayanımını sağlayacak reolojik özelliklerin şekillendiği sıcaklıklara getiren slab ısıtma fırınları (1150-1250°C) bulunmaktadır. Bunun yanı sıra, bu fırınlar nihai ürünün metalurjik ve kimyasal özelliklerinin iyileştirildiği birer reaktördürler. İşlem sırasında yüzeyde oksidasyon, karbürizasyon, dekarbürizasyon ve sülfürlenme reaksiyonlarının gerçekleşmesi esnasında çeşitli alaşım elementleri aynı anda çözeltiye alınır. Proses sonrası hatalar, yüzeyde oluşan oksit tabakası yüzey hatalarını kapattığından sorun çıkarmayacaktır (Braud,1984).

Fırın ortamı, yanma, akışkan mekaniği ve ısı transferini içeren kompleks bir yapıdır. Sonuçlar bazen yapılan hesaplar ile uyum göstermeyebilir. İyi bir ısınmayı sağlayan faktörler olan sıcaklık, gaz kompozisyonu, ısıtılan çeliğin tipi, ürün şekil ve boyutları, üretim miktarları vb. Birbirlerini güçlendiren veya zayıflatan etkiler yaratabilirler. Tüm parametreler gözönüne alındığında, şarj ve dar sıcaklık toleransları göz önüne alındığında, ürün sıcaklığının kontrolü oldukça zorlaşmaktadır. Ancak, yanma kontrolü, sıcaklık ayarlamaları ve şarj kompozisyonu ile beraber fırın tasarımlarında ve işletim programlarında yapılan iyileştirmeler gaz akışını ve

ısı alışverişlerini olumlu yönde etkileyerek, fırın bünyesindeki sıcaklık değişikliklerini en alt düzeye indirmektedir (Lankford,1985-Roberts,1972).

3.2.1 Fırının Yapısı



Şekil 3.10 Fırının genel yapısı

3.2.2 Yeniden Isıtılacak Ürünler

Ürünler 5-30 ton ağırlığında, 180-250mm kalınlığında, 1-2 metre genişliğinde ve 4-14 metre uzunluğunda dikdörtgen slablardır. Yükleme soğuk ($\sim 15^{\circ}\text{C}$), ılık ($\sim 400^{\circ}\text{C}$) veya sıcak ($>700^{\circ}\text{C}$) yapılabilir. Slab fırın kapasiteleri 100 – 500 ton / saat, ortalama çıkış sıcaklığı 1150–1250 $^{\circ}\text{C}$ arasında değişmektedir

3.2.3 Fırın Geometrisi

Çelik üreticileri bu tip fırınları ‘Ayakkabı kutusu ‘ şeklinde nitelendirmektedirler. Fırınlar, ısının ürüne aktarıldığı, sıcaklık kontrollü pasif ve yanma bölümlerinden oluşmaktadır. Kesin bir ayırım olmamakla beraber değişik bölgeler geometri değişimiyle birbirlerinden ayrılmaktadır. En yüksek ısı verimi düz çatılı fırınlarda elde edilmekle beraber bu fırınların imalat ve bakımları çok pahalıdır. Fırının temel tasarımı ısı parametreleri gözönüne alınarak tanımlandıktan sonra fırının şekli, mekanik ayarların yapılması brulorlerin montajı ve slab desteklerinin monte edilmesi için, mümkün olduğu kadar ekonomik şartlar gözönüne alınarak yapılmaktadır (Braud, 1984-Brun, 1993).

Fırın genişliği, yükleme sırasında oluşabilecek kaza ihtimalleri düşünülerek, fırında ısıtılacak slabın maksimum genişliğine ek olarak her iki yandan 30 cm bırakılacak şekilde tasarlanmaktadır. Fırın uzunluğu ısıtma süresince yeterli miktarda ısı alışverişi sağlanacak şekilde düzenlenir. Bu ise üretim hızı, slab formatı, çelik tipi, yükleme ve çıkış sıcaklıkları, çalışan fırın kesimi, brulor kapasitesi ve maksimum izin verilen refrakter ısı dayanımı ile birebir ilişkilidir . Bu şekilde hesap edilen toplam ısıtılan bölüm uzunluğu daha sonra uygun teknoloji ve yer sınırlamaları göz önüne alınarak birkaç bölmeye bölünür. Ortalama fırın uzunluğu 35 m olup büyük fırınlar genelde 55 m ye ulaşabilirler. Genişlikler 8-15 m. arasında değişmektedir (Nukiyama, 1934).

3.2.4 Isıtma Gücü

1 ton çelik malzemenin iki farklı şarj sıcaklığında yapılan yüklemeler ile (20 ve 700°C) 1200°C ’ ye kadar % 65’lik bir yanma verimi ile ısıtılması için gerekli enerji miktarı Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 İki farklı şarj sıcaklığında gerekli enerji miktarları

Şarj Sıcaklığı (°C)	Metalin Entalpi İhtiyacı (Mj/T)	Fırın Gücü (Mj/T)
20	815	1260
700	430	660

Örneğin, saatte 360 tonluk bir soğuk şarj ısıtacak bir fırının kurulu gücünün 126 MW olması gerekmektedir.

3.2.5 Şarjın Taşınması

1965-1970 yıllarına kadar tüm slab ısıtma fırınları, tüm ürünlerin birbirleriyle temas halinde olduğu itici tip üretilmekteydiler. Bu tip fırınlarda slablar fırının bir tarafından itici tarafından yüklendiğinden fırın içersindeki slabların ilerlemesini sağlar ve fırın çıkışından bir adet ısıtılmış ürün çıkartılırdı. İşletme zorluğundan dolayı bu tip fırınların kullanımı günümüzde çok azalmıştır. Slabların işletim sırasında birbirleri üstüne çıkması riskinden dolayı bu tip fırınların maksimum uzunlukları 35 m dir. Slabların yüzeyi üzerinde kaydıkları tabandan yararlanabilir, ayrıca hızlı ve yoğun bir ısıtma uygulandığında slablar temas ettikleri yüzeylerden yapışıp dışarıya alınamazlar.

Günümüzde eğilim, Şekil 3.10 da yapısı verilen ve slabların hareketli kolonlar ile önce dikey sonra yatay hareketlerle taşındığı hareketli kolon sistemli fırınlar yönündedir. Bu sistemde slablar hem sabit hemde hareketli kolonlar tarafında desteklenmektedirler. Slabların fırında ilerlemesi için tüm şarj yatağı hareketli kolonlar tarafından kaldırılıp yatay olarak taşınmaktadır. Bu tip fırınlar, 50 m den daha uzun üretilmektedir. Kapasiteleri daha fazladır. Slablar birbirlerine değmediklerinden yapışma riski yoktur. Bu sistem ters yönde rahatlıkla çalışabildiğinden fırının her iki ucundan fırının boşaltılması mümkün olmaktadır. Ürün yönetimine esneklik sağlayacak birçok tasarım tipi mevcuttur.

Hareketli kolonlar su soğutmalı olup slab üzerinde koyu renkli izler bırakmaktadır. Aslında bu renk değişimi slab yüzeyindeki ısı kaybı kolonlara taşınan ısıdan çok kolonların bir radyasyon tutucu olarak davranmasından kaynaklanmaktadır. Bu problem, kolon geometrisi, farklı bölgelerde farklı kolon pozisyonları kullanılarak veya kolonlar arası temas sürelerinin ayarlanması gibi tekniklerle çözümlenebilmektedir. Sonuç olarak bu fırınlarda her tip slablar arası mesafeler, şarj problemlerden dolayı uzun süre fırında beklediği sürede ve işletim sırasında slab üstündeki izleri engelleyecek şekilde ayarlanabilmektedir.

3.2.6 Yanma Gazları ve Yeniden Isıtma

Kompleks bir çelik işletmesinde slab fırınları yüksek fırın, kok fırını ve çelikhaneden gelen gazların karışımından oluşan bir bileşim ile ısıtılmaktadır. Bu gazın yapısı belirtilen kısımların çalışmasıyla direkt ilgili olduğundan gazın kompozisyonunu sabit tutmak (Wobbe Endeksi,PCI) oldukça zordur. Bu yüzden gaz kompozisyonu işletim sırasında gerçek zamanlı olarak izlenmeli ve farklılıklar giderilmelidir. Gerektiğinde işletmeden gelen gazlara doğalgaz eklenir. Bu ekleme sırasında çeşitli istenmeyen bileşikler (sülfür, tar gibi) gaz bünyesine katılacağından gerekli önlemler alınmalıdır. Bu tip bir karışımın PCI değeri $14,500 \text{ kJ} / \text{Nm}^3$ olup doğalgazın kalorifik değerine ($37,000 \text{ kJ} / \text{Nm}^3$) göre düşüktür ve istenilen alev sıcaklığına ulaşılabilmesi için hava ön ısıtmaya tabi tutulmalıdır. Bu sebeple yanma gazları bacadan atılmadan içlerindeki ısının bir kısmı ısı tutuculardan geçirilerek yanma gazlarına transfer edilir, bu şekilde 650°C civarında bir gaz sıcaklığı ve yaklaşık %65 lik bir fırın verimi elde edilir.

3.2.7 Farklı Bölümlerdeki Sıcaklık Kontrolleri

Fırının çeşitli bölgeleri farklı tiplerde ısıtılıp kontrol edilmektedirler. Her bölümde yapılan sıcaklık ölçüm değerleri ile operator veya işletim sistemi tarafından belirlenen sıcaklık değerleri arasındaki farklar hava ve gaz akış hızlarının ayarlanmasıyla en aza indirgenir. Bu değerler Wobbe Endeksi ne uygun olarak belirlenmektedir (Kopineck, 1992).

3.2.8 Brulor Tipleri

Isıtma fırınlarında üç ana tip brulor kullanılmaktadır:

a) Uzun alev brulorleri

Fırının hem üst hemde alt kısımlarında kullanılırlar. 4m uzunluğunda eksenel momenti yüksek alevler üretirler. Güçleri $0,3 - 3 \text{ MW}$ arasında olup fırın içersinde enlemesine boylamasına ve ters yönlerde konumlanabilirler.

b) Düz alev brulorleri

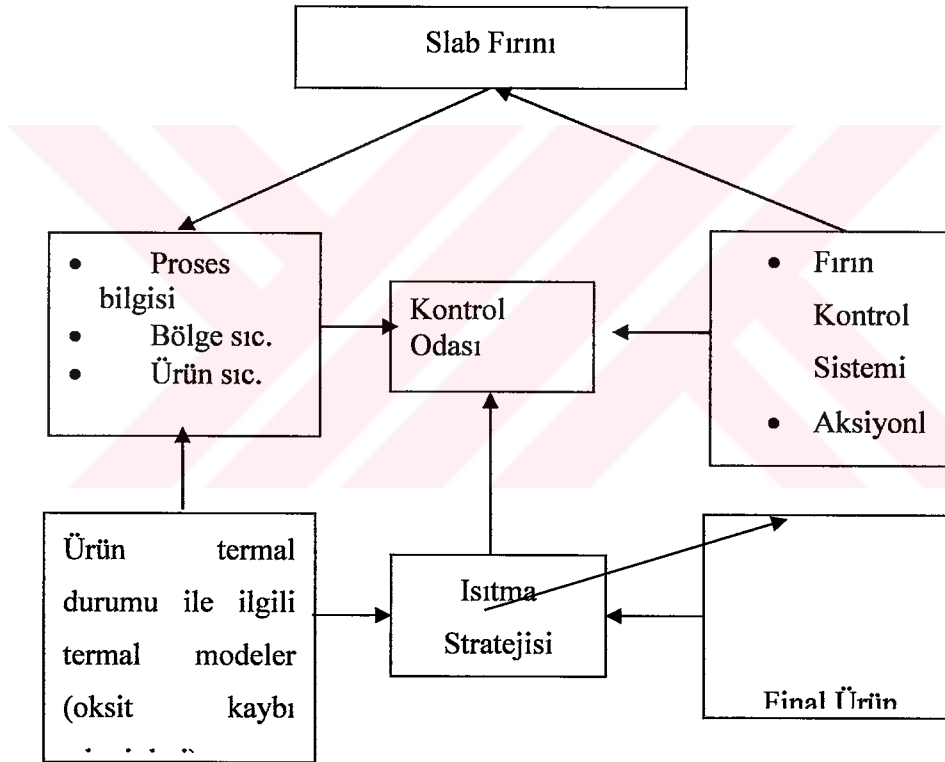
Bu tip brulorler genelde fırın tavanları ve homojenleştirme kısımlarında kullanılmaktadır. Alev fırın tavan geometrisine (lale şeklinde) uygun bir yol izler. Güçleri $0,1-1 \text{ MW}$ arasında olup ısıtmayı tavan kısmında yaydıkları radyasyon ile yapmaktadırlar.

c) Ayarlanmış alev brulorleri

Bu tip brulorler uzun alev tipli olup, alev uzunluğunun seviyesini ayarlayan iki adet kontrollü hava girişine sahiptirler. Güçleri 0,7–7 MW arasında olan brulorler yatay olarak yerleştirildiklerinden, şarj yatağındaki dengesiz yüklemelerden kaynaklanan homojen olmayan ısı dağılımlarından meydana gelen sorunların bir kısmına çözüm üretmektedirler.

3.2.9 Otomatik Isıtma Kontrolü

Sıcaklık ölçümlerine ve şarj yükleme planına dayalı olarak planlanan ısıtmalar ile fırının çeşitli bölgelerindeki ürünlerin sıcaklıkları gerçek zamanlı olarak belirlenmektedir. Şekil 3.11 de bu tip otomatik kontrollü bir sistem gösterilmektedir.



Şekil 3.11 Otomatik fırın kontrol sistemi

3.2.10 Oksit Tabakasının Oluşumu ve Etkileri

Oksit tabakası gaz içerisindeki bileşikler (H_2O , O_2 , CO_2) tarafından oluşturulmaktadır. Oksit tabakası kaybı ton başına oksitlenen metalin kg cinsinden miktarı ile ölçülür. Genelde sıcak çekme uygulamalarında 11 Kg/t olup bunun %60 lık bölümü yeniden ısıtma sırasında meydana gelir. Oksit tabakasının oluşumu tamamıyla engellenemez ancak slabların ısıtma

kontrolleri ve gaz kompozisyonundaki oksijen miktarı ayarlanarak belli değerlerde tutulabilir. Sınır oksit tabakası değerinden yapılan her sapma hatalı ürün üretimine ve fırının aşırı yüklenmesine sebep olmaktadır.

Oksit oluşum mekanizması çelik kompozisyonu, gaz içersindeki oksitlenmeye yol açacak elementlerin miktarı, slab yüzeyindeki gaz katmanının kalınlığı ve yüzeyin ısı profiline (sıcaklık–zaman profili) bağlıdır. Oksit tabakasının miktarını azaltmak için, slabın yüksek sıcaklıkta kaldığı süre daraltılmalı ve aynı zamanda uygun bir atmosfere alınmalıdır. Bu aşağıda belirtilen yollar ile elde edilebilirler:

- Isı profilini çok hızlı ısıtmayı engelleyecek şekilde ayarlayarak
- Çıkış sıcaklıklarını mümkün olduğu kadar düşürerek
- Şarjdaki ürünlerin farklı ısınma profillerinde olmasını engelleyerek
- Aynı şarjda soğuk ve sıcak ısı profilleri olan slablar bulundurmamaya
- Dikkatli yanma kontrolü yaparak (Isınma bölümünde oksitleme, normalize bölümünde stokiometri)
- Hava oranını ayarlayarak
- Homojen ürün sıcaklığını sağlayarak

3.2.11 Isıtma Fırınlarında Isı Transferi

1000°C sıcaklığın üzerinde yanma sonrası oluşan ısının transferi % 90 ve üzeri bir oran ile radyasyon ile gerçekleşmektedir. Slablar ısıyı yüzeyden alıp iç bölgelerine transfer ederler. Ön ısıtma yapılmış ürünün, difüzyon mekaniği göz önüne alındığında, yeniden ısıtılması çok daha kolay olmaktadır.

Karbon çelikleri çok yüksek yüzey ısı alım kapasitesine sahiptirler (1 üzerinden 0,83) ancak bu ısıyı iç bölgelere iletme oranları düşüktür. Bu özellikten dolayı bu tip çeliklerin yüksek sıcaklıklara ısıtılması uzun süre almaktadır. Isıtmanın yapıldığı fırın termal olarak sabit bir durumda olsa dahi üründe halen ısı değişimleri gözlenir. Bu yüzden ısıtma süresinin azaltılması için ürün yüzeyindeki sıcaklık fırın sıcaklığı ve bu yolla ‘ ısı basıncı’ artırılarak yükseltilmelidir. Bu yöntemi engelleyici en önemli etmen, ürün içine ısı transferi az olduğu için ve bu sebeple yüzey sıcaklığı istenilen değere çabuk ulaştığından (O_2 , H_2O , CO_2 , SO_2) gibi gazların yüzeyde reaksiyona girme riski ortaya çıkar. Ayrıca fırın duvarlarının

ulaşılabileceği sıcaklık değerleri sınırlı olduğundan fazla ısıtma duvarlarda işletim ve bakım sorunlarına yol açacaktır. Bu yüzden optimum fırın tasarımı yapmak oldukça zor olup her işletme kendi işletim değerlerini oluşturmak ve uygulamak durumundadır.

Yanmadan ürüne gerçekleşen ısı transferi şu şekilde gerçekleşmektedir: Ürün tarafından emilen ısıнын 1/3'ü yanma sonrası gazlardan gelen ısıdan 2/3'ü ise fırın duvarlarından yansıyan ısı tarafından sağlanmaktadır. Gazlar enerjilerinin büyük bir kısmını fırın duvarlarına vermektedirler. Fırının gaz dolaşımlarının yoğun olduğu bölgelerinde radyasyon enerjisi devamlı olarak yenilenmekte ve ısı transferi yoğun olmaktadır. Gaz akışı enerji akışını sağladığından uzun bir fırın ömrünün elde edilmesi ve şarjın homojen ısıtılması için önem kazanmaktadır.

3.3 Sürekli Sıcak Haddeleme

Haddeleme tasarımı haddelenecek ürünlerin boyutları ile ilgilidir. Hatırlanacağı üzere üretilen ürün ile başlanarak ve öncelikle kalınlık (minimum 1,2 mm, ortalama 3 mm) ve bitmiş ürün haddeleme sıcaklığının Ar_3 'ün üstünde olması gözönüne alınarak ısı etmenleriyle ilgili sınır değerler hesaplanır. Ürün kalınlığı mümkün olan en kısa sürede azaltılmalıdır ve haddeleme ani olmalıdır. Maksimum sayıda paso miktarı genelde düzlemsellik sınırlandırmaları, hadde kuvvet ve tork değerlerinden dolayı sınırlı olup, çözüm olarak birkaç paso yapmaktansa çoklu rulo sistemleriyle ürünün hadde hattında ileri geri gitme miktarı düşürülmüştür. Hadde ruloları arasındaki mesafe ısı kayıplarını azaltmak için en alt düzeyde tutulmalıdır (yaklaşık 6 m.) Son işlemin yapıldığı hadde Tandem olarak isimlendirilip birçok rulonun biraraya gelmesinden oluşmaktadır. Ürünün uzunluğundan dolayı tüm rulolarda aynı anda haddelenmektedir, bu sürekli hadde olarak da nitelendirilir. Yüksek işletim hızı yanı zamanda merdane ürün temasında azaltarak üretim verimliliğini artırır (Hill,1950).

Ürün kalınlığı arttığında haddelerin birbirlerine yakın olması gerekmemektedir, bu yüzden düzeltme haddesi farklı bir şekilde tasarlanır. İki hadde arasında ürün bitirme haddesine alınmadan önce bir tabla yardımıyla desteklenir. Bu kısmın uzunluğu maksimum ürün genişliği ve kesme makasları için gerekli yer ile sınırlandırılır. Birçok modern fabrikada bitirme treni F1 den F7 e kadar giden yedi standdan oluşur. Altı standlı bir bitirme treni 1,5 mm lik nihai ürün kalınlığı veya 20-24 mm arası bir çubuk kalınlığı verir (Sims,1954).

Ürün hacmi korunduğundan ve ürün gittikçe incelendiğinden, haddeleme hızları F1 ve F7 kısımlarında farklı olacaktır. Son sarım işleminden önce bir soğutma tablası yer almaktadır. Sağlıklı bir sarım işleminin yapılabilmesi için sarım kısmında ürünün hareket hızı 12 m/sn'nin

altında olmalıdır.

F1 standındaki hız ve çubuk genişliği, ürünün son kısmı F1 standında girmeden soğuma işlemi esnasındaki gecikme zamanını belirlemektedir .Yani baş ve son kısımlar F1 standına geldiklerinden aralarında bir sıcaklık farkı olacaktır. Bir dakikada, 32 mm lik bir çubukta 1100°C de 95°C ısı kaybı gerçekleşmektedir. Bu büyük fark bitirme haddesinde, soğuk malzeme deformasyon ile daha güçlü bir adiabatik ısınmaya maruz kaldığından, daha da azalacaktır.

Tam anlamıyla dikdörtgen bir ürün üretmenin yanısıra ürünün her noktasında benzer özelliklerin yakalanması da önemli bir konudur. Açıkça görüldüğü gibi haddelenen ürünün baş ve son kısımları bitirme haddesinde farklı termomekanik yollar izlemektedirler. Çelik tipine göre bu değişimler sınırlandırılmalıdır. Bunun pahalı bir çözümü rulo eninin azaltılması ve verilen genişlikte hafif bir rulonun üretilmesidir. Diğer bir çözüm ise bitirme haddesindeki sıcaklık farklılıklarını soğutma yöntemiyle en aza indirmektedir. Fakat bu ikincil bir oksitlenmeye yol açmaktadır. Gecikme tablasındaki ısı kayıpları çeşitli izolasyon yöntemleriyle giderilebilir ancak geçiş koşullarından dolayı uygulama oldukça zordur. Kullanılacak izolasyon panelleri işletim hızını düşürecektir.

En yaygın kullanılan pahalı bir yöntem ise, rulonun ön tarafı sarıma girene kadar bitirme trenindeki haddeleme hızını arttırmaktır. Bu teknik hadde standlarının kapasitelerinin artırılmasını ve yüksek performanslı hız kontrol sistemlerinin kullanılmasını gerektirecektir. (Çizelge 3.3) Görüldüğü gibi haddeleme hızı sıcaklık ve ivmeyi dolayısıyla homojenliği etkilemektedir. Ayrıca, bu yöntem soğutma verimliliği iyi ayarlanmadığında olumsuz sonuçlar verecektir (Stevens,1971).

Üretim verimliliği ve müşteri talepleri doğrultusunda uzun bantları yüksek hızlarda haddelemek için rulolara sarım yapılması gerekmektedir.Çizelge.3.3 de verilen örnekte haddelenmiş ürün 1680 m uzunluğundadır. Rulo sarımı gerçekleşmediğinde yüzeyde meydana gelecek problemler inanılmaz boyutlara ulaşacaktır. Metalurjik ve pratik sebeplerden dolayı sarım yapılmadan önce ürün sabit bir şekilde soğutulmalıdır.Bu yüzden soğutma tablası yeterince uzun olmalıdır ve bu yüzden rulo sarım kısmı F7 bitiş standından bir miktar uzakta yer almaktadır.

Haddeleme milinin üst kısmı slabların kalınlıklarını bitirme trenine uygun biçimde ayarlayan roughing haddesidir. Bu operasyonların ana kriteri minimum ısı kaybıyla bitirilmeleridir. Bitirme haddesi boyutsal, geometrik ve metalurjik özelliklerin şekillendirildiği bir

operasyondur.

Roughing Haddeleri üç çeşittirler;

- Tandem haddeleri, bir sırada 4 yada 5 haddeden oluşurlar ve hadde arası mesafe malzemenin uzaması için gittikçe artmaktadır. Devamlı değildirler, yatay rulolar ürün enini ayarlamak için yan rulolar ile desteklenirler,
- Geri çevrim haddeleri tek bir yatay haddeden oluşur ve motorlar yardımıyla ürün her iki yönde hareket ettirilerek haddelenir. Kenarlarda kenar ruloları bulunmaktadır,
- Karışık Haddeler, en az bir çevirici hadde ve geri kalanı tandem haddelerinden oluşan iki veya dört standlı haddelerdir.

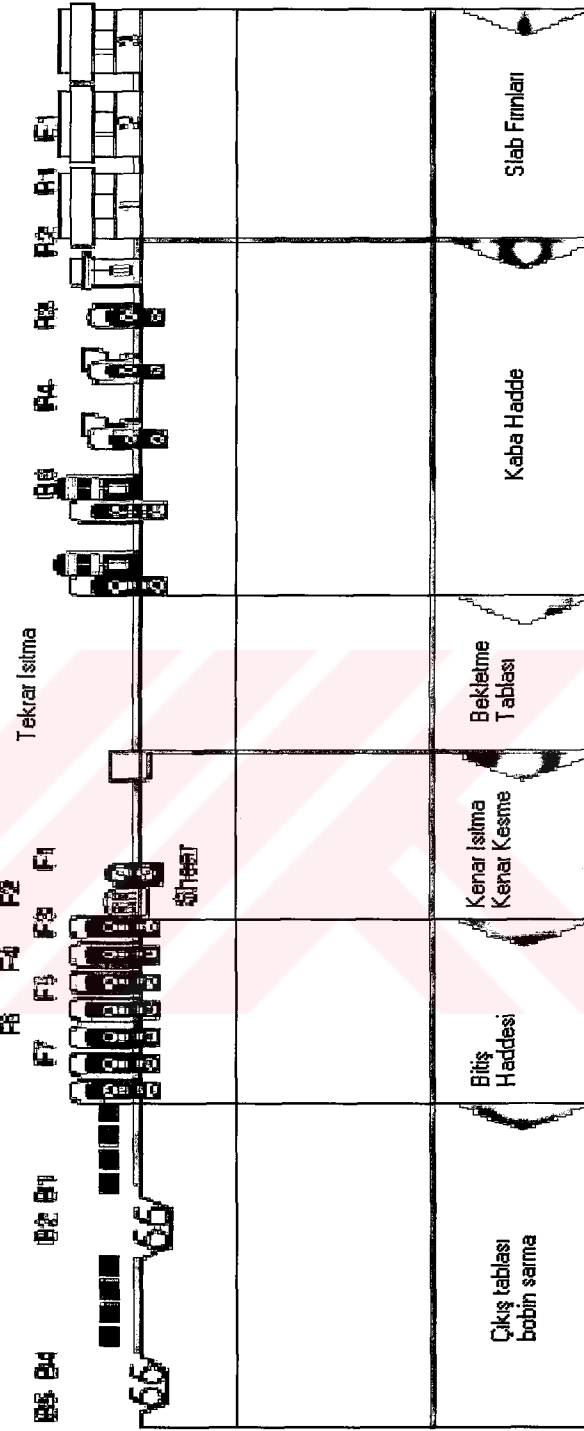
Sıcak haddehane 1930 lu yıllarda ABD’de üretimlerine başlamışlar ve teknolojinin ilerlemesiyle devamlı hadde ve sarım tekniklerine geçiş yapılmıştır. Avrupa’da ilk haddehane 1937’de Dinslaken, Almanya’da kurulmuştur (Lankford, 1985, Roberts, 1972, Orowan, 1943, Mc Queen, 1975).

3.3.1 Detaylı Organizasyon

Tasarımlar, ısı sınırlamaları gözönüne alınarak yapılabileceği gibi ürünü oluşturan tasarım elemanlarının görünüm ve geometrik özellikleri gözönüne alınarak ta gerçekleştirilebilir. Bu özellikler bitiş haddesinde şekillenmektedir.

Maksimum Ürün Ağırlığı **30 t**
 Fabrika Boyu **685 m**
 Kalınlık **1.2 No 10 mm**
 Bobin Ağırlığı mt/ **21 t**

Tabla Genişliği **2380 mm**
 Sıcak Bobin Max Genişliği **2133 mm**



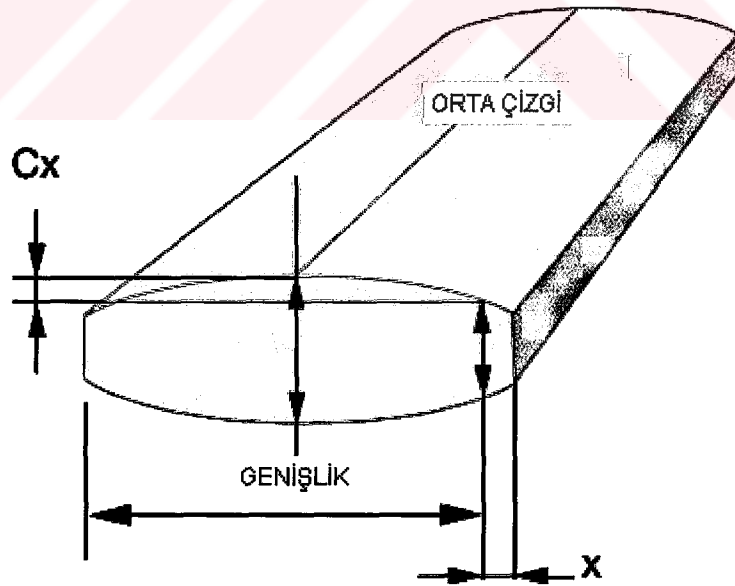
Şekil 3.12 Detaylı organizasyon

3.3.1.1 Eksenel Kalınlık

Kalınlık, başlangıç konumunda haddeler arası mesafenin hadde ayırım gücü ve hadde esnekliği gözönüne alınarak hesaplanmasıyla belirlenir. Yükteki herhangi bir değişiklik kalınlık direkt olarak etkiler. Haddelendirme sırasındaki slab kalınlığı X ışını detektörleri yardımıyla devamlı kontrol altında tutulur. Otomatik kalınlık kontrol (AGC) sistemleri hidrolik ekipmanlar olup elektromanyetik sistemlerden dört kat daha hızlı işlemektedirler. Bu düzeltme hadde izlerinin azaltılmasında büyük rol oynamaktadır. 2,5 mm kalınlığın altındaki slablarda, baş kısımlardaki kalınlık farkları % 92 oranında ve slabın geri kalan kısmındaki kalınlık farkları %98 oranında 50 μ 'nun altında kalmaktadır.

3.3.1.2 Enine Kalınlık Değişimi ve Kenar İnceliği

Şekil 3.13 de de görüldüğü gibi kalınlık dağılımının taca benzemesi nedeni ile Crown kenarlarda ani kalınlık düşmesi nedeni ile de kenar düşmesi edge drop olarak nitelendirilir. C_x olarak gösterilir, örneğin C_{40} merkez çizgisiyle x (40) mm uzaklıktaki bir nokta arasındaki kalınlık farkını belirtir (Şekil 3.13). Bu farkın sebebi haddelerin hadde yönüne dik (transvers) olarak bükülmesi ve düzleşmesidir.

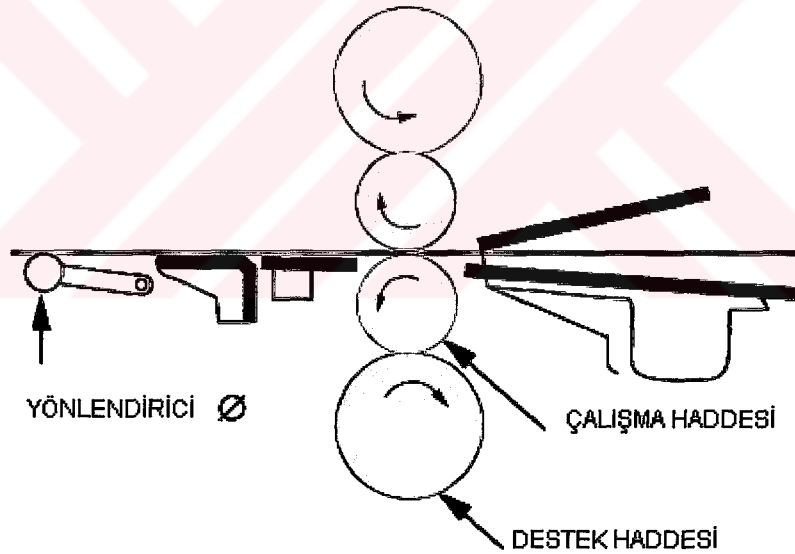


Şekil 3.13 Enine kalınlık değişimi ve kenar inceliği

İkili hadde standlarında, hadde çapı genişletilerek bu sorun çözülebilir ancak bu fazla tork ve güç harcanmasına sebep olacaktır. Başka bir çözüm yolu ise geniş çaplı bir destek haddesinin

kullanılması olacaktır (Şekil 3.13). Bu pasif tasarım, bazen yeterli sonuçlar vermeyebilir. Bazı özel hadde sistemlerinde karşı bükme kuvveti uygulanarak (WORB), rulolar arası boşluk ayarlanabilir (Şekil 3.14). Bu yük otomatik kontrollü hidrolikler tarafından verilir ve normal bükme kuvvetini karşılar. WORB bazı şartlarda ürünün uç noktalarındaki kalınlık azalmasına çözüm üretemeyebilir, ve bu 40 mm lik bir genişliği etkiler. Diğer bir çözüm ise çevrimli haddeler (WRS) ve uygun hadde şekilleri kullanmaktır (Şekil 3.14).

Tekniksel anlamda karmaşık ve pahalı olmasına rağmen başka bir etkili yaklaşım ise, hadde arası boşluğu haddeleme yükünden çok daha az bağımlı olarak tasarlamaktır. Haddelenen ürünün daha geniş olan haddeler destek haddelerine çok fazla yük binmesini engeller ve bir bükülme momenti oluştururlar. 6'lı yüksek haddeleme sistemi bu prensip ile tasarlanmış bir sistemdir. Çelik kalitesi ve rulo genişliğine göre 40 mm deki crown 60 μ 'nun altında kalmaktadır.



Şekil 3.14 Dörtlü ve yedi ayaklı hadde merdaneleri görünümü

Çizelge 3.2 Yedi standlı (ayaklı) bir haddede merdane çapları

Stand	Ortalama Çap (mm)	Stand	Ortalama Çap (mm)
F1	683	F6	729
F2	702	F7	765
F3	730		
F4	760	Looper	325 / 350*
F5	731	Looper	240**

3.3.1.3 Düzlemsellik

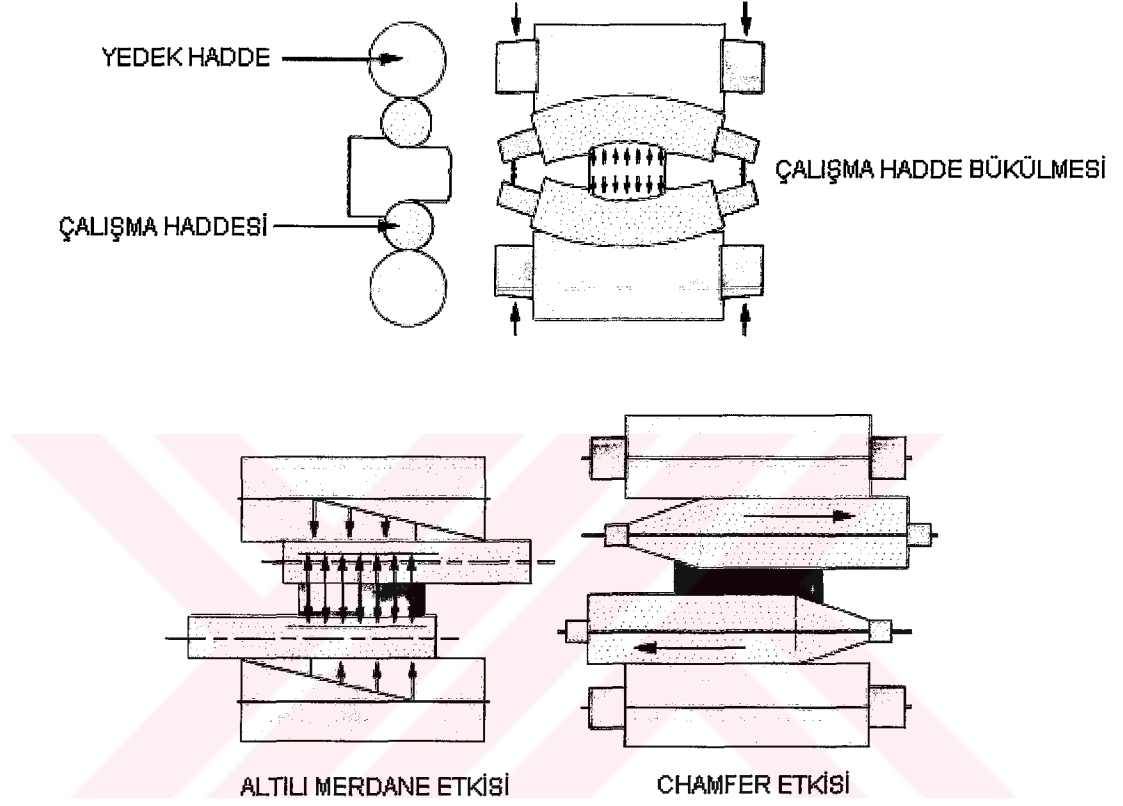
Düzlemsellik haddelenmiş ürün düz referans bir satıha yerleştirildiğinde lokal veya hadde yönüne dik olarak meydana gelen ondülasyonların (örneğin kenar dalgasallığı) ölçülmesi olarak tanımlanmaktadır. Bu tip hatalar sac yüzeyindeki değişik noktalardaki fiber uzunluklarından kaynaklanmaktadır. Eğer sıcak metal bu tip sapmaları kompanse edemezse kalıcı bükülme ve deformasyonlar meydana gelir. Bu tip hatalar özellikle soğutma tablası üzerinde soğutmayı gerçekleştiren suyun hemen yüzeyden ayrılmaması ve çeşitli soğuma bölgeleri oluşturmasıyla düzlemselliği ciddi şekilde etkiler. Crown göz önüne alındığında, düz bir sac ürünün ortaya çıkarılması için haddelemeler sırasında haddeler arası mesafeler homotetik profillere göre tutulmalı ve bu şekilde fiberler eşit miktarlarda uzatılmalıdır. Bu her zaman elde edilemeyeceğinden belirli toleranslar dahilinde gerçekleştirilmelidir. Toleranslar kalınlık ile doğru orantılı daraldığından pratik olarak son iki haddede haddeleme oranları sınırlandırılmalıdır. Uygun bir hadde bükülme prensibinin kullanılması düzlemselliğin kontrol edilmesini kolaylaştıracaktır. Düzlemsellik değeri haddelenmiş ürünün %80 lik kısmında %1' in altındadır (Lankford,1985-Kopineck,1992-Roberts,1972).

* Motorlu Looper

** F1 Looper (F4 ve F5 arasında düşük inertia) motorsuz.

3.3.1.4 Köşe Eğriliği ve Köşegenlik

Köşe eğriliği sac rulolarda meydana gelen bir düzlemsellik problemidir ve sacın ruloya sarılması esnasında problem yaratmaktadır. Köşegenlik ise hadde yönüne dik olarak gerçekleşen simetri bozukluklarıdır (Roberts, 1972, Orowan, 1943, Hill, 1950, Sims, 1954).



Şekil 3.15 İş merdaneleri hareket prensipleri

Çizelge 3.3 Bitirme treninde hız arttırma tekniği ile haddeleme yapılması

Stand	Kalınlık mm	Haddeleme Miktarı		Çıkış Hızı		Paso sn.	Enerji Tüketimi		Güç (kW)		
				İlk	Son		Paso	Toplam	Haddeleme		Aritmetik Ortalama
		mm	%	m/sn.	m/sn.		KWh/t	KWh/t	İlk	Son	
F1	16	16	50	1,125	2,283	130	5,33	5,33	4 798	7 720	5 844
F2	9,05	6,95	43,44	1,989	4,036	-	5,88	11,22	5 073	8 021	6 337
F3	5,9	3,15	34,81	3,051	6,19	-	5,88	17,1	5 398	8 021	6 500
F4	4,17	1,73	29,32	4,317	8,759	-	5,88	22,98	5 714	8 021	6 659
F5	3,1	1,07	25,66	5,806	11,782	-	5,88	28,87	6 038	8 021	6 964
F6	2,35	0,75	24,19	7,66	15,542	-	5,88	34,75	7 159	8 021	7 409
F7	2	0,35	14,89	9	18,262	-	2,76	37,51	3 427	3 760	3 511

Başlangıç Slabı : 240 x 1400 x 14 000 mm³; ağırlık 36.245 t ve çubuk kalınlığı : 32mm.

Son Kalınlık : 2 x 1375 x 1 679 000 mm³

Başlangıç F7 Çıkış Hızı : 9000 m /sn.

İvmelenmeden sonra F7 Başlangıç F7 Çıkış Hızı: 18 262 m/sn.

İvmelenme Öncesi Uzunluk : 122 m.; Süre : 13.55 sn.

İvmelenmiş Uzunluk : 1557 m; Süre : 116.45 sn.

Toplam Süre (Aritmetik Ortalama), levhalar arası 5 sn. Dahil : 135 sn.

Saatlik Üretim: 966 T

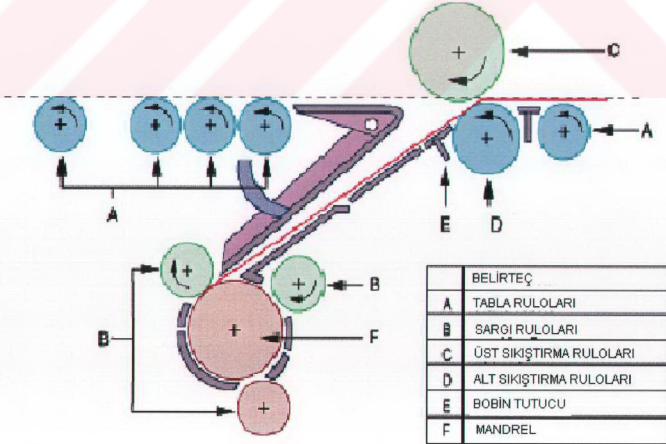
3.3.1.5 Genişlik

Sabit bir genişlik elde edilmesi oldukça zordur. Özellikle istenilen genişlik sınır değerinin altında olmamalıdır. Haddeleme sırasında genişlik özel kenar düzenekleri yardımıyla

ayarılanmaktadır. Modern haddehaneler, slab kalınlığını ve kenar aparatlarının pozisyonlarını önceden ayarlayabilmektedirler, ancak genel olarak kalınlık ayarlaması yapılmaz ve paralellik ve simetri ayarları manuel olarak yapılır. Otomatik genişlik kontrolü (AWC) genellikle bir önceki haddeleme işlemine bağımlı olarak son hadde grubunda gerçekleştirilir. Bu hadde grubu R ile adlandırıldığından işlem RAWC olarak anılır.

İstenilen rulo genişliği bir kez elde edildiğinde, bitirme treni ve sarım aşamalarında genişlik değiştirilmemelidir. Her haddenin boşluğu ve hızı proses öncesinde belirlenmiş olup, hızlar malzemenin akma ve haddelenme kapasiteleri gözönüne alınarak yapılmıştır. Birbirini takip eden haddeler arasında herhangi bir şekilde hız farklılıkları meydana geldiğinde bu fark ya malzeme atlmasına sebep olacak ya da malzeme bünyesinde çekme kuvvetleri yaratarak genişliğini değiştirecektir. Bu yüzden haddeler arasında bu olumsuzlukları engelleyici motorlu üniteler yerleştirilmiştir. Bu üniteler sayesinde haddelenen ürünün gerginliği devamlı olarak kontrol edilebilmekte ve hattın hız karakteristikleri ayarlanabilmektedir. Tipik genişlik fazlalıkları 8,5 ila 10 mm arasında değişmektedir.

Rulo sarıcıların hız ve konumları da önceden ayarlanabilmektedir. Proses oldukça kompleks olup otomatik sıralı kontrol cihazları tarafından gerçekleştirilmektedir.

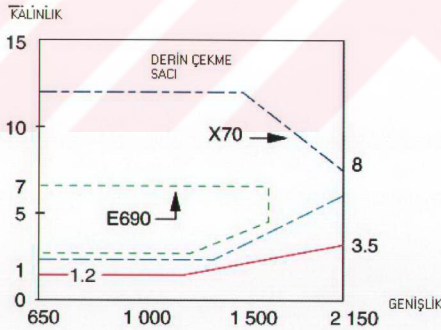


Şekil 3.16 Alt sarıcı

3.3.1.6 Yüzey (Görünüm)

Yüzeyde meydana gelen hatalar görüntü açısından benzer olmakla beraber, döküm sırasından ya da yeniden ısıtma operasyonu sırasında veya mekanik şoklardan dolayı oluşmuş olabilirler. Buna karşılık, gömülü oksitlenmeler içeren hatalar haddelenme sırasında meydana gelmektedirler. Bu yüzden yeniden ısıtma sırasında yüzeyde oluşan oksit tabakası tufal haddeleme öncesinde tamamen ortadan kaldırılmalıdır (dikine tufal kırıcı VSB). Bu fırın çıkışına yerleştirilen ve yüksek basınç ile çalışan su jetleri tarafından gerçekleştirilir. Diğer oksit tabakası kırıcı aparatlar son haddeleme öncesi ikincil oksitlenmeleri ortadan kaldırmak için hadde önüne yerleştirilmişlerdir. F1 ve F4 haddeleri arasında ve geciktirme tablasında çok etkili oksit temizleyiciler vardır. F4 noktasında sonra, aşırı soğumadan dolayı kalınlık çok aza indirgenir.

Görüldüğü üzere, sıcak haddehanenin konfigürasyonu tamamen ürün ve üretim parametrelerine uygun olarak düzenlenmektedir. Diğer faktörler, haddenin değiştirilmesi ya da kesim yapılacak alan yaratılması gibi tamamen ekonomik olabirlikler çerçevesinde şekillenmektedir. Hiçbir zaman her koşul için genel bir çözüm olmamakla beraber her zaman ortak bir noktada buluşulması gerekmektedir. İşlenen çelik çeşidine göre çeşitli 'boyutsal olabirlikler' kabul edilmelidir (Şekil 3.9)



Şekil 3.17 Kalite-boyut ilişkisi

3.3.2 Fabrika Operasyonu

Fabrika operasyonu, üretilecek ürünün şekil ve kalınlığından başlayarak slab ısıtma fırınlarındaki şarjın karışımı ile ilgili sınırlamalardan sevkiyatla ilgili parametrelere kadar bir seri olay gözönüne alınarak planlanmaktadır. Planlamadaki en kısıtlayıcı parametre hadde

ömrüdür. Haddeler periyodik olarak değiştirilmek zorunda olduklarından üretimin akışını aksatmaktadırlar. İçerisinde hadde taşlama planı ve yedek haddelerin bulunduğu metodlu bir hadde yönetimi gereklidir. Haddeler çabuk aşındıklarından 2300 ton malzeme işledikten sonra ya da çıkan ürün yüzeyinde problemler meydana gelmeye başladığında değiştirilmelidirler. Aşınma sadece ürün ile temas halindeki kısmı etkiler, eğer her defasında aynı genişlikte bir haddeleme yapılırsa 20. üründen sonra hadde üzerinde bu noktalarda derin yarıklar oluşmaya başlayacak ve bu hadde ile daha geniş rulolar haddelenemez hale gelecektir. Bu sorunun giderilmesi için haddelenen ürünün genişliği hemen düşürülmelidir. Yüzeylerindeki hasarlara göre sınıflandırılan haddeler artık sadece belirli ürün gruplarının haddelenmesinde kullanılacaklardır. Örnek bir genişlik sıralaması Şekil 3.18’ de gösterilmiştir.

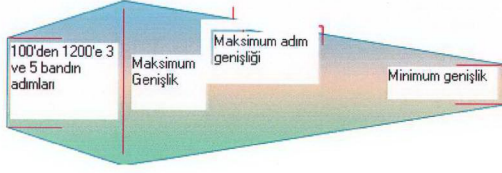
Boylamasına hadde değişimi hadde yüzeyindeki hasarın daha homojen dağılımını sağlayarak her genişlikte daha uzun ürün haddelenmesine olanak tanır. Değişim döngülerini kontrol ederek bazen genişlikleri belirli limitler içinde arttırmak mümkün olmaktadır. Ancak hadde değişim döngüleri genelde sadece ortalama bir geçiş yaratmakta ve ‘coffin’ sınırlaması tam anlamıyla ortadan kaldırılmamaktadır. Bu ‘plansız haddeleme’ olarak da isimlendirilebilir.

Destek haddeleri daha uzun sürede aşınırlar ve 10 günde bir onların da değiştirilmesi gerekmektedir.

Düzeltilme haddesindeki haddelerde ısı şartlarından ve korozyondan dolayı aşınmaktadırlar. Bir haddehanede günde ortalama 100 hadde kullanılmakta ve haftada ya da on günde bir bu haddelerin 25 tanesi değiştirilmektedir.

Yüksek kapasiteli sıcak haddehanelerde (400 kt/ay) kullanılan elektrik enerjisi, 200 250 MW’tır ve bunun dağılımı motorlar için 100 – 150 MW ve her rulo sarıcı için 0,5 MW civarındadır. Elektrik enerjisinin yoğun kullanıldığı üçüncü bölge ise oksit giderici ve soğutucu su sistemlerine destek veren pompa istasyonlarıdır.

Sıcak haddehanelerin büyüklükleri etkileyicidir. Örneğin, bazı fabrikalarda ilk fırın ve son sarıcı arasındaki mesafe 623 metredir ve fabrika uzunluğu 685 metredir. Hedeflenen üretim ve gerçekleşenler arasındaki yakınlık ise başka bir etkileyici noktadır. Aylık 60 km/saat hızla yapılan yüzbinlerce tonluk üretim esnasında mobil ekipmanların 0,1 mm hassasiyetle, hadde esnemesinin 1mm hassasiyetle ve hadde aşınmasının 0,1 mm hassasiyete sahip olduğu göz önüne alınarak çıkan ürünlerdeki hassasiyetin milimetrenin yüzde birkaçında kalıyor olması hayret verici başka bir gerçektir.



Şekil 3.18 Hadde kampanyaları için genişlik planlaması

3.4 Gelecek Beklentileri

3.4.1 Akımlar

3.4.1.1 Yeniden Isıtma Fırınları

- Radyasyon destekli gaz akış sistemlerinin ve proses kontrol sistemlerinin bu kadar ilerlemesi slabların ısı kontrolünün sağlanmasında büyük bir kolaylık yaratmıştır. Yapılacak en büyük ilerleme şu an ki eski işletim sistemlerinin değişikliğe uğratılması olacaktır. Örneğin, deneyimler göstermiştir ki bazen bir brulörün birkaç santimetre hareket ettirilmesiyle gaz akışı önemli ölçüde iyileştirilmiştir. Önemli olan bu tip kararların tasarım aşamasında verilebilmesidir. Bu ise numerik simulasyon sistemlerin kullanımının yaygınlaşması ile gün geçtikçe kolaylaşmaktadır (Braud,1984-Nukiyama,1934).
- Fiberli refraktörlerin kullanımı fırınlardaki ısı pratiğini olumlu yönde etkilemektedir (Brun,1993).

3.4.1.2 Haddehane

- Otomasyon için sürekli gelişim modellerinin uygulanması (yetersiz mekanik tasarımların kısmen kompanse edilmesi)
- Güvenilir ve hassas sensörlerin (yük, pozisyon, sıcaklık, kalınlık, genişlik, düzlemsellik) daha yaygın şekilde kullanılması.
- Çok hassas ve kısa tepki zamanları olan gelişmiş kontrol cihazlarının kullanılması.
- Slab kenarlarının indükleme yardımıyla ısıtılmasını sağlayan ısı sistemlerinin ve soğutma tablasındaki ısı maskeleri gibi pasif sistemlerin kullanılması.

- Yarı-yüksek hız ve yüksek-hız çeliklerinden üretilmiş aşınmaya dayanıklı haddelerin kullanılması.

3.4.2 Perspektifler

- Slablar için global yüksek cüruf indüklemeye sistemlerinin geliştirilmesi, çeşitli ısı yolları yardımıyla ısıtma fırın operasyonlarındaki sınırlamaları ortadan kaldırmaktadır. Direkt haddeleme yöntemlerinde veya özel üretim atmosferi veya hızlı soğutma gerektiren çelik türlerinin üretimlerinde gazlı fırınlar bir miktar ya da tamamen üretimden kaldırılabilirler.
- Son geliştirilen sıcak haddeleme tesisleri daha önceden optimize edilmişlerdir. Düşük enerji tüketimleri ve otomatik proses kontrol sistemleriyle çok daha kapsamlıdır. Orta ölçekli haddehanelerde strip blank için tasarlanan mandrelsiz rulo sarıcıları, kalınlığın bu aşamada düşürülmesini sağlamakta ve daha geniş rulo genişlikleri ile daha kısa bitirme treni zamanlarına ulaşılmasını sağlamaktadır.
- İnce ürünlerin direkt ve sürekli dökümlerini sağlayan teknolojik gelişmeler, sıcak haddehane tasarımlarını komple değiştirecek ve hatta sonuç olarak sıcak haddelemeyi tamamen ortadan kaldıracaktır. Sürekli dökümlerin sonucu oluşan ürünlerin (30 – 50 mm.) haddelemesine gerek olmayacaktır. Son haddeleme kısımlarının üretim sürecinden kaldırılabilmesi için sürekli dökümlerden 3-5 mm inceliğinde ürünlerin çıkabilmesi gerekmektedir.(Şekil 1.1)
- Haddelerin giriş kısımlarında kullanılan sıkıştırma ve ölçülendirme preslerinin haddeleme üzerinde önemli etkileri olacaktır.

4. SOĞUK HADDELEME FONKSİYONU

Soğuk haddeleme, ulaşılmak istenen karakteristiklere göre çeşitli derecelerde sıcak haddelenmiş bobinlerle yapılır. Soğuk haddelemenin sağladıkları;

- Aşırı soğutmaya bağlı olarak sıcak haddeleme ile ulaşılamayan istenen kalınlığın sağlanması
- Mikroyapının kontrolü ile mekaniksel özelliklerin sağlanması.
- Oksitli tabakaların yok edilmesi ve kontrollü bir pürüzlülüğün sağlanması ile yüzey görünüm ve özelliklerinin tanımlanabilmesi (Yüzey işlemine uygunluk, parlaklık, şekillendirilebilirlik).
- İstenen düzlüğün sağlanması(Mc Queen,1975-Roberts,1972-Bryant,1973-Yuen1985).

4.1 Soğuk Hadde Ürünleri

Soğuk hadde tezgahlarında iki tip ürün üretilir, ince şerit ve paketleme şeriti.

Çizelge 4.1 Kullanım yeri ve özellikler çizelgesi

Uygulamalar	İstenen özellikler	Levha karakteristikleri
Varil	Parlatmak,yağlamak	iyi temizlik
	düşük maliyet	çok yüksek ve düşük akma mukavemeti
Radyatörler	Kaynak yapılabilirlik	Al ile öldürülmek ve düşük Al içermek
Küçük elektrik motorları	Manyetik özellikler ve istiflenebilirlik	silisyumlu çelik ve çok dar kalınlık toleransı
Otomobil karasörü	Düşük şoklara dayanıklılık	Düşük akma mukavemeti ve Yüksek kararlılık
	Boyanabilirlik	Güç arttırmak
	Tasarlanabilirlik	İyi yüzey temizliği ve uygun yüzey görüntüsü
	Form verilebilme	Çinko kaplama Galvanizleme
	Korozyon direnci	
Yapı malzemeleri	Enerji soğurma	Yüksek kırılma dayanımı

4.1.1 İnce Şerit

İnce şerit terimi otomotiv, beyaz eşya, metal eşya, inşaat ve elektrik motorları sektörlerinde kullanılan rulo haline getirilmiş yassı malzemeyi tanımlamak için kullanılır. Bu ürünler müşteriye genelde 0.5 ile 3 mm kalınlıkları arasında ve 1900 mm ye kadar genişliklerde sevk edilir. Ürünler; çıplak sac halinde veya bir film veya yağ örtüsüyle korunmuş olarak veya çeşitli proseslerle korozyon direncini artırmak amacıyla genellikle galvaniz kaplamalı olarak müşteriye teslim edilirler.

Soğuk haddelemenin başlangıç malzemesi kalınlığı 2 ile 6 mm arasında değişen sıcak haddelenmiş bobinlerdir. İnce şeritten beklenen özellikler, ürünün ölçüsel, mekanik, fiziksel, ve yüzey karakteristikleri ile birlikte ürünün kullanım yeri yönündedir.

Örneklerden de açıkça anlaşılacağı üzere en iyi ürün karakteristiklerini sağlayabilmek için ince şerit üretiminde müşteri ile yakın bir ilişkiye ihtiyaç vardır. Son on yılda ince şerit soğuk hadde teknolojisindeki gelişmeler çok hızlı olmuştur. Çalışmalar hem varolan teknolojilerin gelişmesine, hem de sürekli tavlama, elektrogalvaniz ve yüksek verimlilikte galvanizleme gibi yeni teknolojilerin geliştirilmesine odaklanmıştır.

4.1.2 Ambalaj Çemberi

Bu ürünler yiyecek-içecek paketleme endüstrisinde kullanılmaktadır. Tipik kalınlıklar 0.13 ile 0.4 mm arasında genişlikler 750 ile 1200 mm arasında değişmektedir. Çelikler sürekli olarak korozyona karşı kaplamalıdır. Başlangıç ürünü 2 ile 3 mm kalınlıklar arasındaki sıcak haddelenmiş rulolardır.

Son birkaç yıl içinde pazarın ihtiyaçları daha fazla farklılıklar göstermektedir.

- Daha ince kalınlıklarda, ikinci bir haddeleme işlemi ve tavlama sonrası ile 0.14 mm ye kadar kalınlıklarda, daha fazla sertlik beklenmektedir. Yakın gelecekte 0.12 mm'ye kadar inceltmeler planlanmaktadır.
- İyi şekil alabilme özelliği, meşrubat kutularında çekme ve wall-ironing prosesleri ile
- Çeşitli kullanım alanlarına özel olarak parlaklık ve korozyon dayanımı.
- Konteynır üretim hatları için artırılmış üretim rakamları ve otomasyon.

Sonuç olarak artan talepler son ürünün yeniden kullanılması üzerine yapılmaktadır.

4.2 Soğuk Hadde Prosesi

Soğuk haddeleme tezgahlarında proses edilen işlemlerin bölümleri aşağıdaki gibidir;

(4) Asitleme, (5) Haddeleme, (7) Tavlama, (8) Temper hadde, Kaplama, Son Kontrol ve Ölçü ve paketleme operasyonları.

Sıcak haddelenmiş rulolar 15 ile 40 ton arasında olurken soğuk haddelenmiş rulolar 10 ile 50 ton arasındadır. Müşteriye teslimatlar 10 – 25 tonluk rulolar halinde veya bir veya bir kaç tonluk paketlenmiş levhalar halinde yapılır.

4.3 Asitleme

4.3.1 Amaç

Sıcak haddelenmiş yassı mamuller, daha sonraki soğuk hadde ile uyumlu olmayan bir kabuk ile (çelik ile hadde ruloları arasında başka bir tabaka gibi davranacağından) kaplıdır. Bu kabuk nedeniyle haddeleme yassı mamulu çizebilir veya aşırı sertlik nedeniyle anormal reaksiyonlara neden olabilir. Bu nedenle kabuk bir asit banyosu içinde asitleme işlemi ile yok edilmelidir.

4.3.2 Fabrika Yerleşimi

Tipik asitleme tesisinin oluşumu aşağıdakileri içerir:

- Asitleme havuzlarından sabit hızla süreli geçişi sağlayabilmek için fonksiyonu ruloları açıp diğer rulolarla birleştiren bir giriş bölümü. Bu bölüm tipik olarak aşağıdakileri içine alır.
 - Bir veya İki bobin açıcı.
 - Bir kaynak istasyonu
 - Motorize edilmiş büyük açılı yassı mamul üzerine gerilim uygulanmasını sağlayan rulo serileri (Gerilim ruloları)
 - Kaynak operasyonu sırasında belirli bir gevşeklik sağlanarak şeritin durmamasını sağlamak için bir şerit akümülatörü.
- Orta asitleme bölümü;
 - Düzlüğün de artmasını sağlayan bir oksit kırıcı. İki adet yüksek hadde tezgahı gerilim dengeleyicilerle yerleştirilmiştir. Burada şerit sürekli bir gerilim gücü altında küçük

horizontal rulo serilerinden geçirilerek ileri ve geri bükülür.

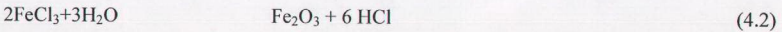
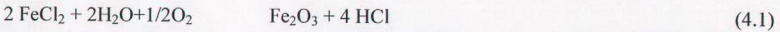
- Asite dayanıklı parçalarla desteklenmiş plastik kaplı çelikten yapılmış asit tankları. Tanklar 1 metre derinliğe kadar olabilir. Şerit asit havuzu içne daldırılır. Tankların kolayca boşalabilmesi için minimize asit düzeyini sağlayan spraylerle asit püskürtülür. Düzensiz asitleme adı verilen en son teknolojiye, asit ve şerit arasında temas sağlanabilmesi için havuz şiddetle çalkalanır. Şeritin pozisyonu tankın kenarlarına yerleştirilmiş gerilim rulolarının hızı değiştirilerek sağlanır.
- Tuz tortularında kurtulmak için sıcak hava ile kurutma öncesi deminarelize edilmiş suda yıkama.
- Şeritlerin rulo haline getirildiği bir çıkış bölümü. Bu bölüm bir çıkış akümülatörü, genişliği ayarlamak için bir kenar kesme makası, bir kontrol istasyonu, şeriti korumak için bir yağlama aparatı ve bir veya iki adet rulo sarıcı içerir (Lankford,1985).

4.3.3 İtme-Çekme Hatları

İtme-Çekme hatları her bobinin ayrı dekafe edildiği, küçük ve orta kapasiteli daha ucuz hatlardır. Şerit bobin çözücü tarafından itilir ve bobin sarıcı tarafından çekilir. Hatlar genellikle kısadır, kısmen yavaş hızlarda (100 m/mn den az) çalışır. Tanklar fazla derin değildir. Genellikle daha yüksek kalınlıklara (2–12 mm) uygundur ve kaynak yapılamayan dereceler için kullanılabilir. Bu yüzden bu hatlar soğuk haddeleme olmaksızın, sıcak haddelenmiş şeritlerin dekafe işleminde kullanılırlar.

4.3.4 Asidin Rejenerasyonu

Asit aşağıdaki tepkimelerin olduğu bir fırında tekrar oluşturulur.



Tekrar oluşturulmuş temizlenmiş hidroklorik asit doğrudan tekrar kullanılır. Sıfırlık derecesine bağlı olarak, üretilen demir oksit çeşitli uygulamalarda kullanılabilir (Boya sektörü ve elektrik motorları ferrit üretimi).

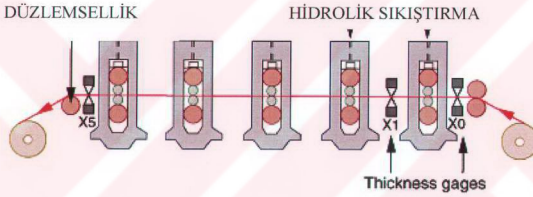
Ayrıca normal olarak tesislerde 10-15 gr/t taze ürün kalitesini düşüren asit kullanılır. Sülfürik asit hatları çözülmemiş demir sülfatları ayırmak için ekipmanlar içerir. (Forster,1995)

4.4 Soğuk Haddeleme

4.4.1 Amaç

Soğuk haddelemede dekape edilmiş şerit yüksek gerilim ve yüksek hadde gücü ile sert rulolar arasından geçirilir. Bu işlem bir tek reversing-stand üzerinde çeşitli yönlerde geçişlerle veya daha sık sürekli tandem tezgahlardan yapılan geçişlerle yapılır. Şeritler sürekli olarak yüksek gerilim güçlerinin uygulanmasını sağlayan standlardan geçer. Sürekli tezgahların verimliliği geridönüşlü tezgahlara oranla çok yüksektir (Mc Queen,1975).

Şekil 4.1 şeridin haddeleme işlemi diyagramını göstermektedir. Her n stand çıkışında $e(n)$ giriş kalınlığındaki şerit $e(n-1)$ e değişir. Kalınlık incilmesi ve boydaki artış yanal bir yayılma olmadan olur. Şeritin stand n girişinde hızı $v(n-1)$, çıkışta $v(n)$ olursa kalınlık akış hızı arasındaki ilişki aşağıdaki gibi olur. (Roberts,1972)



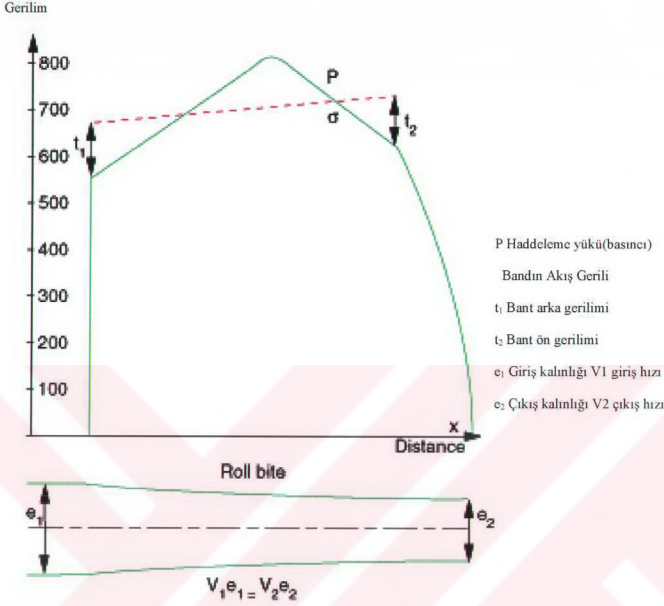
Şekil 4.1 Sürekli soğuk tandem hadde prensibi

$$V(n-1) \times e(n-1) = v(n) \times e(n) \quad (4.3)$$

Böylece şerit tezgah boyunca ilerledikçe hızlanır.

Şerit, rulo vuruşlarında açıklanan seçilmiş kristal düzlemler üzerinde yerdeğişimi sağlayan ve mekanizması demir bazlı olan soğuk çalışma altında hareket eder. Yerleşik olmayan hücrelerin ve deformasyon bantlarının altyapısının formasyonu ile mikroyapı çekme ve haddeleme yönünde oluşan taneciklerin rotasyonu sonucu modifiye edilir. İkinci safha sert parçacıklar deforme olamazlar ve mikro kırıklarla ayrılmış olarak ve haddeleme yönü doğrultusunda dizilere kırılmazlar. Soğuk haddeye metalin rulolar arasında hareketi sonucunda, artan bir eğilme baskısı veya akış baskısı eşlik eder. Paralel olarak esneklik azalırken metal kolay kırılır hale gelmeye çalışır (Yuen,1985).

Soğuk Haddeleme



Şekil 4.2 Haddeleme teması ile değişen, haddeleme yükü bant akış gerilimi ve bant kalınlığı

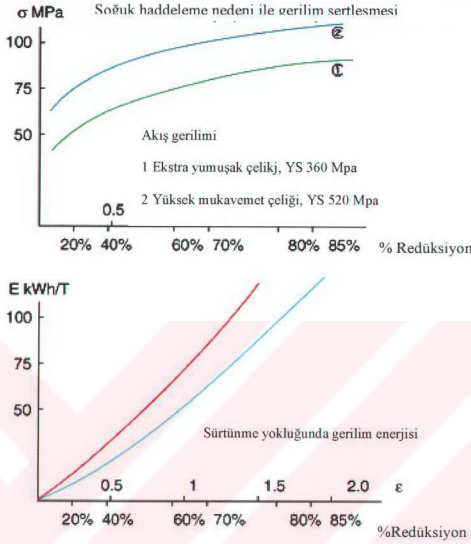
$$\epsilon_c = \ln[e_0/e] \text{ olur. } (e_0 : \text{İlk kalınlık , } e : \text{Son kalınlık})$$

(4.4)

Haddeleme tezgahı rulolar aracılığıyla şerite çok yüksek basınç iletmelidir. Bu basınç şeritin akış baskısına, baş ve son gerilim güçlerine ve rulolar ve şerit arasındaki sürtünmeye bağlıdır. Birim genişlik için hadde gücü temas kavis boyunca uygulanan basıncın toplamıdır. Bu yüzden de hadde vuruş boyuyla artar.

Rulolar şerit kalınlığını inceltmeye ek olarak haddeleme enerjisi için gerekli sürtünmeye ihtiyaç duyarak şeriti sürmelidir. Bu sürtünme, aradaki bir nötr noktası ile rulo basıncı maksimum olduğunda, girişte şeridi ruloların içine çekerken çıkışta şeridin hareketine karşı direnç gösterir (Şekil 4.2). Haddeleme enerjisi rulo vuruşlarındaki sürtünmeye bağlı olan soğuk çalışma enerjisinin toplamıdır. Çok yüksek olan bu enerji sıcaklık formuyla neredeyse tamamen dağılmış durumdadır (Şekil 4.3). Küçük bir kısmı metal de iç gerilim ve yerleşik

olmayan formda saklı kalır. Bu tavlama sırasında kristalizasyonu kolaylaştırır.



Şekil 4.3 Metal akış gerilimi ve sürtünmesiz ortamda gerilim değişimleri

Çalışma ruloları olarak adlandırılan şerit ile temas halindeki rulolar haddeleme basıncına odaklanmıştır ve bükülmeleri büyük çapta ve bu yüzden yüksek sertlikteki yedek rulolarla sınırlandırılmıştır. Çalışma rulolarının çapının küçültülmesi haddeleme gücünü ve temas yayını küçültür. Çalışma ruloları şeriti sürtünme güçleri ile sürdüğü halde temas yüzeyi metali rulo vuruşlarına sürebilmek için yeterince büyük olmalıdır. Bu gücün haddelemenin stabilitesinde kritik bir etkisi vardır (Hill,1950).

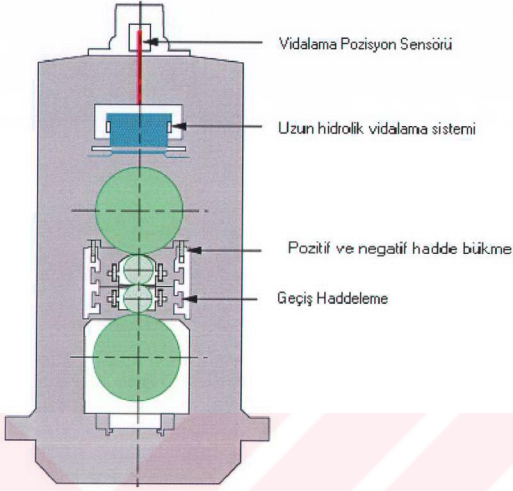
Şeritin ve ruloların soğutulması için haddeleme sıcaklığının 60 ile 130 derece arasında tutulması gerekir (Paketleme çelikleri için bazen 180 dereceye kadar olabilir.). Soğutma geridönüşümü büyük soğutma sistemleri içinde yapılan küçük miktarda haddeleme yağı içeren su ile yapılır (Lankford,1985).

4.4.2 Soğuk Haddeleme Teknolojisi

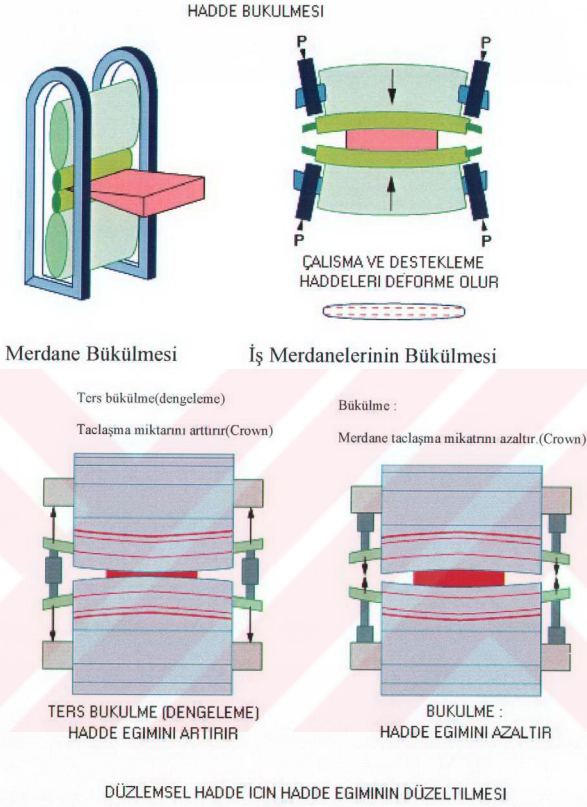
0,4 ile 3 mm arasındaki kalınlıklarda ve 1900 mm genişliğe kadar olan malzemelerde soğuk haddelemede genellikle dört veya beş tandem stand içeren sürekli tezgahlar kullanılır. Maksimum hız 600 ile 1400 m/dk. arasında değişir. Daha ince paketleme şeritlerinin (1200 mm genişliğinde 0,13 – 0,4 mm kalınlığında) haddelenmesinde kullanılan trenler beş veya altı stand içerirler. Maksimum hızları 1500 ile 2300 m/dk arasında değişir. Bazı az sayıda tezgah her iki ürünün üretiminde de kullanılabilir. Bu tip tezgahlar düşük kalınlıklarda iyi verimlilik için yeterince hızlı olmalı ve daha fazla kalınlıkları haddeleyebilecek kadar güçlü olmalıdır (Lankford,1985-Roberts,1972,Serena,1993).

Haddeleme enerjisi çok yüksek tork gerektiren çalışma ruloları aracılığıyla nakledilir. Bu nedenle genelde kayma riskini azaltmak için çalışma ruloları sürülürler.Motor standı bağlı olarak değişik oranlarda azalan bir itme ile ruloları çevirir.Bir standın gücü 3 ile 8 MW arasındadır.Modern kurulmuş tezgahlarda DC motorlar kullanıldığı halde çoğunlukla yeni kurulan tezgahlarda AC motorlar kullanılmıştır (Wilson,1969-Nadai,1931).

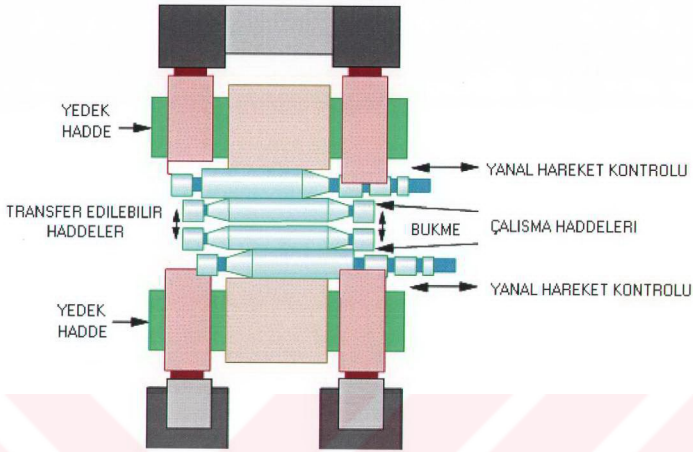
Haddeleme güçleri çok yüksektir (Tipik olarak 700 ile 1200 t/m arasında). Bir stand yüzük şekilli haddeleme yükünü rulolara transfer eden kolonlardan oluşur (Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6). Modern tezgahlarda aşağıya iniş hidrolik pistonlarla pozisyon (1 ile 2 µm arasında) kontrolü ile yapılır. Çalışma ruloları kısmen küçük çaplarda olmalıdır bu nedenle eğmeye yönelirler. Bu kullanılan büyük çaplı yedek ruloların kullanılmasıyla giderilir. Sıklıkla iki çeşit standla karşılaşılr (4.International Steel Conf.,1987).



Şekil 4.4 Dörtlü soğuk hadde kesiti



Şekil 4.5 Yassı mamul haddelemede taclaşma etkisinin düzenlemesi ve azaltılması metodu



Şekil 4.6 Altılı hadde

- 2 adet 1400 ve 1500 mm çapında yedek rulolarla desteklenen 2 adet 500-600 mm çaplı çalışma rulolu Four-High standartları;
- Tezgahın şerit genişliğine adapte edilebilmesini sağlayan yedek ve çalışma rulolarının (300-400 mm çaplı), arasına yerleştirilmiş orta değiştirme ruloları olan Six-High satandları. Bu konfigürasyon daha küçük çapta çalışma rulolarının kullanılmasına izin verir ve orta rulolarının sonunun pozisyonuna bağlı olarak şerit üzerindeki yük dağılımının değiştirilmesini olanaklı kılar.

4.4.3 Soğutma ve Yağlama

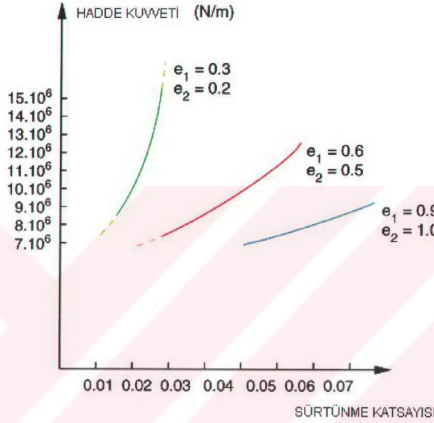
Sürtünme katsayısını azaltmak ve kontrol etmek için şerit ile çalışma ruloları arasındaki temasın yağlanması gereklidir. Düşük kalınlıklarda sürtünme katsayısı arttığında haddeleme gücü artar (Şekil 4.7) (Forster,1995).

Sonuçta şerit ne kadar ince olursa yağlama o kadar etkili yapılmalıdır. Pratikte yağlamanın kesinliği direkt olarak, soğutma sıvısıyla (dengeli bir su yağ karışımı 2 ile 6% yağ içeren), veya şerit üzerine yüksek yağ konsantrasyonlu (6 – 15 %) dengersiz bir mekanik emülsiyon uygulanmasıyla sağlanır. Birçok çeşit yağ kullanılır (bazen mineral bazlı olan sentetik petrol yağları, bitkisel ve hayvansal yağlar.) Çeşitli katkılar yapılır, örneğin emülsiyon kontrol

ediciler, aşırı basınç etmenleri ve anti-oksidantlar (Yuen,1988).

Haddeleme dışarıya atılması gereken yüksek miktarda ısı üretir.Bu nedenle yüksek soğutucular gereklidir. Ayrıca şerit hadde boşluğunun dışında soğutulabilir (Metal Soc.,1982).

Soğuk haddeleme değişik parametreler üzerinde etkiler yaratan kompleks bir işlemdir (Tani,1985).



Şekil 4.7 Sürtünmenin ve bant kalınlığının haddeleme yükü üzerindeki etkisi

- Hadde gücü; Farklı rulolarda eğme derecesini belirler. Şerit ile temas halindeki çalışma rulolarının, yağlamaya, sürtünme katsayısına ve akış gerilimine bağlı olarak düzleşmesini belirler (Tani,1984).
- Hadde vuruşlarındaki sıcaklık soğutmanın etkinliği ile kontrol edilir. Aşırı ısınma yağ tabakasının kırılmasına neden olacak ve hadde basıncındaki vuruşlarla, şerit ve rulo arasındaki mikro sürtünmeler nedeniyle lekeler oluşturacaktır (Downey,1996).
- Yüzey pürüzlülüğü yağlama ve çalışma rulolarıyla belirlenir. Aşırı yağlama şerit ve rulo temasını azaltan kalın bir tabaka oluşturur. Bu tabaka ile şerit izole olur bu da pürüzlülüğün artmasına neden olur. Bazı aşırı durumlarda stabil olmayan şerit sürüşleri oluşabilir. Bu kaymaya, pürüzlülüğe ve şerit kalınlığında varyasyonlara neden olan titremlere neden olur (Imperial Coll.,1985).
- Termal-indüklenmiş rulo soğutma etkinliğine ve haddeleme hızına bağlıdır.

4.4.4 Düzlemsellik

Uzun Orta ve Uzun Kenar adı verilen düzlemsellik hataları, şerit ve rulo arasındaki profil farklılıklar sonucu oluşan eşit olmayan uzatmalar nedeniyle oluşur. Sabit bir düzlemsellik için kalınlık profili (Kenar ve Orta bölge arasında kalınlık farklılık yüzdesi) soğuk haddeleme boyunca korunmalıdır (Spoonner,1985).

Haddeleme sırasında rulo profili haddeleme gücüne, merdane,başlangıç taşılama profiline bağlıdır. Ayrıca genel düzlemsellik doğrultucuları da rulo profilini etkiler. Bu doğrultucular öncelikle çalışma ruloları üzerinde bir eğme momenti uygularlar (eğme veya ters yönde eğme) (Şekil 4.7). İkinci olarak ruloların termal yayılmasını etkilerler. Bu sırada lokalize edilmiş soğutma sistemleri dar düzlemsellik hatalarının kontrolünü sağlar. Düzlemselliği artırmak için başka teknikler de geliştirilmiştir (Knox,1985) .

- Çeşitli profillerde merdaneler (Tani,1984).
- Altılı haddeler, iş merdanelerini destekleyen orta ruloların kararlılığına ve bükülme miktarlarına direkt etkisi vardır.
- Yanal kayma hareketli standları. Dörtlü haddeler (Downey,1996).
- Çift geçiş standları (iş merdaneleri ve destek merdaneleri arası yer değişimleri birbirleri ile ilişkilidir)(Togai,1986).

Haddeleme sırasında haddeleme basıncı ve lokal şerit gerilim varyasyonu sonucu ile rulo ve şerit yük altında kalır. Şerit gerilim altındayken sadece ciddi düzlemsellik hataları farkedilebilir. Şeritin her alanında özel gerilim ölçücüler kullanılarak gerilimin sürekli takip edilmesi, gizli kalmış düzlemsellik hatalarının belirlenmesini sağlayan gerilim profilini verir. Gerilim güçlerinin azalmasından sonra şerit denge konumuna dönerek en düşük gerilim alanlarında ondülasyonlar üretir. Gerilim araçları yukarıda belirtilen ayarlama sistemlerinde kullanılabilir. Ayrıca tezgah operatörü yavaş yavaş yağlama kondüsyonlarını ve şerit sıcaklığını modifiye edebilir ve böylece başlangıç profili(kalınlık dağılımı) belirlenir.

4.4.5 Kalınlık

Soğuk haddelemenin amacı dar toleranslarla verilen şerit kalınlığına ulaşabilmektir. Kalınlık düzenliliği şerit kalitesinde önemli bir faktördür. Nominal kalınlığın %1 değişimlerinde bir düzenlilik sağlamak mümkündür. Bu paketleme çeliklerinde sadece birkaç mikronu ifade eder.

4.4.5.1 Kalınlık Ayarlama İlkeleri

Haddeleme gücüne bağlı olarak standın deformasyonuna tezgah uzaması denilir ve çoğunlukla yükle orantılıdır. Şerit çıkış kalınlığı yüklenmemiş rulo boşluğu ve hadde yükü altındaki tezgah uzamasının toplamına eşittir. Bu parametreler verilen şerite göre farklılık gösterir. Giriş kalınlığı ve akış gerilimi şerit boyunca sabit değildir. Sabit bir kalınlık elde edilebilmesi için rulo boşluk ayarlarının değiştirilmesi gereklidir (Roberts,1972).

Standlar tandem senkronize edildiklerinde, standların anlık akışları yığılma ve aşırı gerilimi önlemek için birbirlerine benzer olmalıdır. Kalınlık azaldıkça şerit hızlanır denklem aşağıdaki gibidir (Spooner,1985).

$$e_1 \times v_1 = e_2 \times v_2, \text{ veya } (v_{n-1} \times e_{n-1} = v_n \times e_n) \quad (4.5)$$

Denklem, belirli bir standda kalınlığın azalmasının belirtilen standla bir önceki stand arasındaki hız oranı tarafından kontrol edildiğini belirtir. Bu nedenle orta standlarda kalınlığın azaltılması tüm hız oranının kontrolü ile olur. Eğer bir orta standın tek başına hızı farklılık gösterirse, stabil bir rejimde final kalınlık değiştirilmeden kalınlık azalması bitişik standlara nakledilir. Basınç ve gerilimler modifiye edilmesine rağmen kalınlığın ölçülmesi ve kontrolü X veya Gama ışınlarıyla yapılır (Togai,1986).

4.4.5.2 Pratik Kalınlık Kontrol Teknikleri

İlk stand sıcak haddelenmiş bobindeki kalınlık değişimlerini düzeltmelidir. Stand 1 ve 2 arasına yerleştirilmiş bir ölçü aleti stand 1'deki aşağıya inişi kontrol eder. Stand 1 girişine metalik özelliklere tepkisiz olan başka bir ölçü aleti yerleştirilebilir. Sabit bir ilk stand hızı için kalınlık varyasyonları giriş hızı v_0 modifiye edilerek kompanze edilir. Bobin çözücü hız yoluyla değil tork ile kontrol edilir.

Kalınlık düzenliliği rulo boşluk ayarlarına bağlıdır, bu nedenle genelde hızlı hidrolik sıkıştırma benimsenmiştir. Stand 1 çıkışında artan kalınlık varyasyonları farkedilerek bu standın hızı modifiye edilerek yani stand 2 deki azaltmaların değişimiyle düzeltilir (örneğin Stand 1 ve 2 arasındaki gerilimin modifiye edilmesi). Şerit hızı bazen temassız sensörlerle ölçülür (sıkıştırmanın kontrolünün geri beslemesi ve hadde hızı ile).

Şeritteki gerilimler konumlanmış ruloların dayamalarının altına yerleştirilmiş bu şekilde, iki stand arasındaki şeritte önemsiz sapmalara neden olan , yük hücreleri tarafından ölçülür.

Haddeleme gücünün olabildiğince sabit olması önemlidir. Bu sıkıştırma pistonlarının durumu yoluyla rulo boşluğunun sürekli kontrolunu gerektirir. Çalışma rulosu profili düzenli bir şerit geometrisi verebilmesi için optimize edilir. Çalışma ruloları ve altı-yüksek (six-high) standlardaki orta rulolar her zaman rulo dayamalarına monte edilmiştir. Yedek rulolar hidrodinamik dayamalar üzerinde takviye edilir. Ancak son yıllarda bunlar bir yağ filmi nedeniyle hıza karşı tepkisiz olan rulo dayamaları üzerine yerleştirilmektedir.

4.5 Merdaneler

Soğuk haddelemede kullanılan rulolar dövülmüş veya yüzde 3 ile 5 arasında dökülmüş krom çeliktir. Daha yüksek dereceli alaşımlılar geliştirilmektedir. Kullanılmış rulolarda bu operasyon haddelemenin neden olduğu sertleşmiş yüzeyi yok eder ve istenen pürüzlülüğün oluşumunu sağlar. Orta rulolar için sağlanan Ra pürüzlülük 0,5 μm civarındadır. İnce şerit tezgahlarının son standlarında değeri 3 ile 5 μm arasında değişen daha yüksek pürüzlülük değerleri kullanılır. Yüksek pürüzlülük sıcak daldırma galvanizleme sürecinde çinko kaplamanın yapışma oranını yükseltir, gaz sirkülasyonunu kolaylaştırır ve tavlama sırasında yapışmaya izin verir. Her öğütme işlemi sonrası rulolar krom kaplanabilir. Bu işlem ruloların dayanıklılığını öğütme operasyonları arasında ömrünü yükselterek (3 ile 5 faktörleri arasında) kısıtlar (Yuen,1985-1988).

Ürün düzenliği şu an için en önemli kriterdir.Yeni bobinlerin soğuk haddelemede yükleniş fabrika operasyonlarında periyodik değişiklikleri gerektirir. Bu bozukluklar, yüklenme hızlarının düşüklüğü nedeniyle üretim kayıpları anlamına gelir. Aynı zamanda bu bozukluklar kalınlık toleranslarında taşmayı ve haddelerin zarar görme riskini artırıcıdır. Bu dezavantajları elimine etmek için ilk kullanılan fikir “ sürekli haddeleme” fikridir. Bu proseste haddelenen bobinler birbirlerine kaynatılarak tutturulurlar. Haddenin girişinde bir kaynak istasyonu gereklidir. Kaynak zamanını gizleyen (azaltan) bir akü ve bobin sarıcıdan önce flying shear (kesici) gerekir. Bu tip haddeler karışık kontrol sistemlerine ihtiyaç duyar,çünkü durmaksızın kalınlık değiştirilebilmektedir. Hadde kapasitesi ve ürün düzenliliği bu yöntemle oldukça geliştirilmiştir. Çeşitli prosesleri devamlı birleştirme fikri oldukça geliştirilmiştir. Çünkü prosesler arası stokların kabarıklığı oldukça maliyetlidir. Haddeleme ve asitleme hattının direkt birbirine bağlanma ihtimali böylelikle düşünülmüştür. Pratikte ilk defa Fransa ve Japonyada denenmiş ve sonra tüm dünyada örnekleri çoğalmıştır. Diğer tüm üretim operasyonlarından (asitleme,soğuk haddeleme ,temperleme ve temper haddeleme) birleştirilmesi denenmiştir. Fakat kapasitedeki büyük farklılıklar ve programlamadaki

kısıtlamalar (her cihaza özgü spesifik) bir temperleme fırınına direkt bir haddeye bağlamak olanaksız kılmaktadır (Roberts,1972).

4.5.1 Tavlama, Kristalleşme

4.5.1.1 Metalurjik Altyapı

Soğuk haddeleme, esneklik yitimi ile beraber gerilim sertleşmesini de beraberinde getirmektedir. Haddeleme enerjisinin küçük bir kısmı (5-10%) metalin içinde dislokasyon şekillerine ve elastik gerilimin içinde depolanmaktadır. Temperleme işlemi rekristalizasyon depolanmış gerilim enerjisinin azaltılması için gerekli sıcaklıkta tutulmasıdır. Minimum rekristalizasyon sıcaklığı (belli bir çelik için) gerilimin fonksiyonu olarak tespit edilir. Belli bir gerilim için, bu sıcaklık çeliğin saflığına bağlıdır, özellikle elementlerin konsantrasyonu rekristalizasyon içnelenme ve dislokasyonunun stabilize oluşundan dolayı geçilirdöylece varolan gerilim enerjisi düşer ,soğuk malzeme miktarı ne denli az ise nükleasyon o kadar yavaştır ve sonuç olarak rekristalizasyon tancik daha çok sayıda elde edilir. Pratikte soğuk hadde ünitesinde gerilim seviyesi %40-% 90 arasında bırakılır, basit çelik dereceleri için rekristalizasyon 400-600°C arasında başlar, 550-700°C arasında biter. Gerçek gerilim seviyesi ve çelik içeriğine bağlı olarak ısıtma derecesi böylelikle rekristalizasyonun başlamasına etki eder. Rekristalizasyonun tamamlanmasına yakın zamandaki sıcaklığın etkisi bu parametre için daha düşüktür. Rekristalizasyon temperlemesinin amacı optimum sayıda tanecik elde etmektir, akma değerinin kontrolü için bu gereklidir. Çekme uygulamalarındaki çeliklerde olduğu gibi daha yüksek gerilim oranına tekabül eden kristalgrafik dokuyu gerçekleştirmek amaçtır. Düşük ısı çevrimlerde bu 600 °C derecenin üzerinde gerçekleşir. (600 °C’de 10 saat tutuktan sonra her saat 10°C arttırılarak ve 700°C hızlı çevrimlerde uygulanır. Ekstra yumuşak çeliklerin temperlenmesinde oluşan modifikasyonlar Çizelge 4.2 de özetlenmektedir. Çizelge 4.2 de alüminyum alınımış çelik için oldukça farklı mekanik özellikler elde edilir. Eğer ısı işlem çevrimi düşük olursa bobinlerin yığın temperlenmesi yada sürekli temperlenmesi gibi. Aynı özellikleri kazanmak için, iki tip temperlemede farklı çelikler kullanmak gerekir. Yığın temperlemede AIN’nin çökmesi gerçekleşir kristalleşmeden önce, bu da doku şekillenmesine yol açar, tane gelişimi engellenmez ve doku sağlamlığı elde edilir. Hızlı sürekli temperlemede AIN çökmesi kristalleşmeden sonra oluşur. Sıcaklıklarda tane büyüklüğünü oldukça engeller zaten bu derece uygulanabilen en yüksek değerdir. Çok küçük taneli yapılar oluşur, yüksek akma elde edilir, daha hafif rekristalizasyon yapılardan çok da büyük olmayan gerilim oranı oluşur (Ford,1959).

Çizelge 4.2 Bobin Tavlama ve Sürekli Tavlama Özellikleri (Schmitt,1992)

DERECE	SICAKLIK (C)	BOBİN TAVLAMA	SÜREKLİ TAVLAMA
Alüminyumla öldürülmüş extra yumuşak (derin çekme) malzemeler nitrojen solüsyon içinde		Yavaş ısıtma çevrimi ~ 30 +/- 10 h Tavlama sıcaklığı 710 C	Hızlı ısıtma çevrimi ~ 90 +/- 30 s 30 - 60 s tutma zamanı tavlama sıcaklığı 850 C
	500-550	AlN çökelme	Birinci rekristalizasyonun Başlangıcı AlN çökmesinin başlangıcı
	550-600	Rekristalizasyon	
	600-650	Tane büyüme Tekstür desteği Tane büyüme	
	650-700	Yapı desteği	Tane büyümesi engellenmesi
		Solüsyona alma ve kısmen Fe3C küreselleşmesi HNX* kullanımında yeniden nitrürleme (N Al girişi ile bağlanmış) İkincil tane büyümesinin başlaması Sementetin bağlanması Yeniden nitrürleme Tokluk kaybı (Kaba taneler)	Birinci rekristalizasyonun Tamamlanması AlN çökmesi sonu Tane büyümesinin geciktirilmesi
	700-750		
	750-800 800-850		Geciktirilmiş tane büyümesi Çok yavaş tane büyümesi Sementit küreselleşmesi Başlangıcı
	700-600	25 +/- 5 h Fe3C çekirdeklerinin formasyonu	10 +/- 5 dk. Fe3C çekirdekleri formasyonu
	600-200	Çözünmüş karbonun çökmesinin Tamamlanması	Çözünmüş karbon kısmi çökmesi Kalıntı karbon 4 ile 15 ppm Yaşlanma çevrimine bağlı olarak

* HNX : Nitrojen ve %5 hidrojen karışımı

Bobin tavlama ve bobinlerin soğutulması	Sürekli tavlama ve soğutma
Final özellikler	Final özellikler
Tane Boyu : 7-9 ASTM	Tane Boyu : 10-11 ASTM
YS : 160-190 Mpa	YS : 230-270 Mpa
UTS : 290-315 Mpa	UTS : 330-400 Mpa
El : 40 - 44 %	El : 31 - 38 %
r : 1.6-2.1	r : 1.0-1.4

(Ascough,1958 -Ward,1972-Bullens,1952)

Hızlı çevrimlerde, serbest azotsuz çelikler kullanılmalıdır. Sıcak haddelemelerde alüminyumla alınmış çeliklerde yüksek sıcaklıklardan da bu başarılabılır (AlN soğuk haddelemeden önce çökteltilir) veya çok düşük karbon niobium ve titanium değerleri sabit malzeme kullanılabilir. Sonuçta, soğutma süresince karbonun çökteltilmesi hızlı soğutma ile hızlandırılır, (>30° C/ sn) bu 550°C–600°C ve 350°C–400 °C arasında uygulanabilir. (350°C-400°C’de 3 dk tutmanın akabinde). Bu teknik, serbest karbon tanesinin 4-7 ppm ve yaşlanmaz çelikleri ortaya çıkarır. Mekanik özellikler yoğun temperlemeye oranla daha az durağandır.(YS=180-240 MPA r=1,4-

1,8 El=36-41 %). Aksine, düşük karbon çeliklerinin kullanımı (stabil niobiumu ve titanyumla) sürekli temperlemede kullanılan alüminyumsuz çeliklerin mekanik değerleri daha üst seviyelerde çıkmaktadır (Wilson,1969).

4.5.1.2 Bobin Tavlama

Bobinler genellikle mt/en 10-22 ton gelen ve dış çapı 1-5-2.5m olmaktadır. Dilinmişin genişliği ve bobinin yüksekliği neticesinde karar verilir. 0.8– 1.8m arasında bu değişir ki nihai tüketicinin isteğine bağlı olarak değişir (Ascough,1958).

Temperleme çan fırınlarında yapılır. Bobinler 2li 5li olarak kenara istiflenir. 3–4.3 yükseklikte ve 30 – 130 ton kapasiteli konvektörler kullanılır. Oksidasyonu engelleyen saf hidrojen ya da azot-hidrojen barındıran atmosfer kullanılır. Bobinler şeklinde bir çelik kapak yardımıyla fırından ayrı tutulur ve yanıcı gazlara temas etmez. Tabanda konvektör ve bobinler arasında kuvvetleri divilmiş bir sirkülasyon yaratan vantilatör bulunur. Bobinler gaz ve konvektör teması ile ısıtılır. Soğutma yapılırken de gaz dışarıdaki ısı eşanjörleri tarafından ısıtılmak üzere çekilir. Çamdan yayılan ısı bobinlerin çevresini ısıtır. Bobinlerin iç kısmı ve köşeler konveksiyon ile ısınır. Bobinlerin radyal iletkenliği ise düşüktür. Çünkü sarımlar arasındaki temas noktaları toplam yüzeyin % 2 sini teşkil eder. Kalınlığı pürüzlülükle beraber düşen gazın ara tabakası önemsiz bir ısı iletkenliğe sahiptir. Koruyucu atmosfer HNX ya da saf hidrojen ortalama radyal iletkenlik toplam katı metalik % 0,06 sıdır. Saf hidrojen ise daha iyi iletkenidir bu rakam sadece % 0,15 e yükselir. (Serena,1993)

Metal 700 °C ye ısıtıldığında, artan tane büyümesi, azalan sertlikte beraber ortaya çıkacaktır. Azot fazlalık alüminyumla reaksiyona girip nitritleri oluşturacaktır. Fazla ısıtmaktan sakınmak için fırın sıcaklığı bobin dışı ve çandan yayılan ısıyı kontrol eden bir termoçaple tarafından kontrol edilir.(Bullens,1952)

Metallurjik dayanak noktası olarak, hidrojen tarafından desteklemek daha yüksek radyal iletim bobinin merkezi ve yüzeyi arasındaki sıcaklık farkını minimize eder. Kaba taneleşmeyi minimize etmek için 10 saat civarında homojenizasyon zamanı (HNX atmosferlerinde) geçerlidir.

Isıl çevrimin başında, haddeleme yağı damıtılmış kalır. Azot bazlı atmosferlerde, bobin kenarları ve merkezi arasındaki yüksek sıcaklık farkı sıcak kenarlarda yağ buharlarının çatlamasını, siyah sınırların oluşmasını tetikleyebilir. Bu risk hidrojen atmosferinde sözkonusu değildir. Daha atmosferin sürekli temizlenmesi atılması gereken damıtılmış

ürünlerin ortaya çıkmasına yol açar.

Nitrojen nedeniyle HNX atmosferlerinin sistematik daha yüksek mukavemet seviyeleri ortaya koyduğu, daha az uniform ısıtma nedeniyle daha fazla dağınıklık yarattığı bilinmektedir. Maksimum sıcaklık farkı 6 saat içinde HNX için 500 °C, hidrojen de ise bu değer 12 saat sonra 200 °C dir.

Sıcaklık çevrimi bilgisayar kontrolü altındadır, çevrim içinde her fazın uzunluğuna karar veren bir matematiksel modele dayanır. Bobinin altı ve atmosferin sıcaklığı bir sıcaklık ölçer tarafından ölçülür (güvenlik önlemi olarak) gerekli sıcaklık bobinlerin her yerine sirayet ettiğinde, fırın çandan uzaklaşır ve yükleme soğutulur, koruyucu atmosfer altında ısı eşanjörleri soğumayı sağlar.Bazen fırın yerine su soğutuculu kapak kullanılır. İnce dilmeler için eğer haddeleme yağlaması prosedürleri kullanılabilirse, uzun çevrimlerde de (680-700 °C de) iki atmosfer ortamında da oldukça iyi yüzey temizliği elde edilir. Fakat daha düşük 650°C gibi kısa çevrimli sıcaklıklarda sadece çok düşük hidrojen seviyelerine izin vermektedir. Çizelge 4.2 de iki tekniği kıyaslamaktadır.

4.5.1.3 Sürekli Tavlamanın Endüstriyel Avantajı

Sürekli tavlama ince tenekelerde ve sıcak daldırma galvaniz proseslerinden önceki tavlamalarda 40 yılı aşkın bir zamandan beri uygulanmaktadır.Bu malzemeler için tavlama çevrim yaşlandırma kısmını genelde pek içermemektedir. Çünkü alüminyum ile öldürülmüş aşırı yumuşak çelik her zaman çok serttir. Diğer yassı ürünlere uygulanan bu tekniğin genişletilmesi aşağıdaki avantajları ortaya koymaktadır:

- Sürekli tavlama hattında bobinin açılması artık hadde yağlarının çok iyi şekilde arındırılmasına olanak tanır. Bu elektrolitik arındırma veya redüklenmiş atmosfer altında 550°C-700 °C ye ısıtmayla gerçekleştirilir.

Bu tekniklerle yüzey karbonu oldukça düşük seviyelere çekilebilir($C < 3\text{mg}/\text{m}^2$). Bu yığın temperlemedeki $7\text{ mg}/\text{m}^2$ değerinden oldukça düşüktür. Çıplak metalik fosfatlanma yeteneği ve fosfatlı ve boyalı sacın korozyon direnci düşük karbon seviyesinin her iki malzeme için önemini ortaya koymaktadır.

Operasyonlar arasındaki ara stokların elimine edilmesi hata kaynaklarını, mekanik şokları, bobin sarımından kaynaklanan çizilmelerden korumaktadır. Açıkça, sürekli tavlama kendi yarattığı riskleri çizilme ve hadde izleriyle direkt ilgilidir. Bununla birlikte, tecrübeler sürekli temperlemenin hata azaltımı ve genel güvenirliliği getirdiği görülmektedir.

Bu avantajları karşılayan şey oldukça yüksek yatırım maliyetidir ki gelişmeleri sınırlamaktadır.

4.5.1.4 İnce Şeritlerin Sürekli Tavlama Teknikleri

Sürekli tavlama hatları giriş ve çıkış biriktirme bölümlerini içeren dikey fırınları kullanılır. Kaynak ve kesme operasyonları sırasında dilim fırın içerisinde kalması riskini ortadan kaldırır. Bu bölümlerin uzunluğu fırın içindeki dilimin maksimum hızının fonksiyon şeklinde hesaplanır.

Sıcak dilimin fırında durması kırılmaya yolaçabilir.

Giriş bobini her zaman iki bobin açıcı bulundurur. Bunun yanısıra kesici, kaynak, genelde elektrolitik yağ giderici, buna bağlı fırçalama, yıkama- kurulama ve depolayıcı da bulundurur. Sarıcıya ek olarak bir bıçak ve iki bobin sarıcı, çıkış bobininde bir temper haddesi ve kenar kesme bıçağı, korozyona koruyucu kaplamasız ürün için yağlama ekipmanı ve kalite gözlem ekipmanı (örnek akma, bobin tanımlama, yüzey gözleme)

Fırınlar beş değişik bölgeye sahip olabilir.

*Bir ısıtma bölgesi, rekristalizasyon tavlama amaçlayan (620°C – 850° C ürüne bağlı olarak değişen)

*Bir tutma bölgesi, tane büyüklüğünü arttıran yeterli zamanda sıcaklığı sabit tutan bir bölgedir (30 sn kadar).

*Yavaş soğutma bölgesi (10 °C/dk yapı kontrolunu sağlayan).

*Çeliği yaşlanmaya hazırlayan ani soğutma bölgesi, yeterli miktarda karbonu aşırı doygun çözültide bulunduran.

*Bir aşırı yaşlanma bölgesi, çözülmemiş karbonu çökelten, diğer yan yaşlanma reaksiyonlarını engelleyen.

*Final soğutma bölgesi, metali artan sıcaklığına oksidasyonsuz indiren.

Fırınlar tamamıyla erimez tuğlalarla çevrilidir, atmosfer ise % 1-2 H içeren N'den müteşekkildir. Haddeler ise ısıya dirençli, çok az ısılarak genleşen çelikten yapılmıştır. Haddeler, sac arasındaki sıcaklık farklı atmosfer haddelerin geometrisi nedeniyle önemli varyasyonlara yol açabilir. Bu etkiyi karşılamak için, haddelere soğuk reneleme ile değişik şekiller verilir.

Özellikle fırın içinde hat boyunca , sürücü sistemler gereklidir.Genelde fırının üzerinde hat ekseninde dönebilen hareketli bir kasa içinde bir çift hadde bulunmaktadır. Haddeler üstünde bandın eksantrikliğini ölçen bir tarafından hareketliliği kontrol edilir.

4.5.1.5 Hızlı Soğutma Teknolojisi

Temperleme sıcaklığı ve yaşlandırma işlemi seçiminin metalurjik madenleri 5.1 de açıklanmıştır. Saniyede 30 °C den daha fazla soğutma, çeşitli tekniklerle elde edilebilir. Fakat, tercih edilen soğutma sonundaki sıcaklığın hassas şekilde kontrol edilebilmesidir, aynı zamanda oksitlenme engellenmelidir. Bunlar gaz jetleri ile yüksek basınç altındaki soğutma ve temas noktasında su verme işlemidir.

Isı kontrolünde optikal parametre gelişme şimdi bant sıcaklığının $\pm 5^{\circ}$ C yaklaşıklık tahminine izin vermektedir.Temperleme ve aşırı yaşlanma sıcaklığı $\pm 10^{\circ}$ C ile kontrol edilebilmektedir.

4.5.1.6 Bobin Ve Sürekli Tavlamanın Tamamlayıcılığı

İnce bant için sürekli tavlama hattı yüksek kapasiteli karmaşık bir tesistir (60–200tn/saat). Temperleme, kontrol dahil toplam harcanan 150-200 milyon \$'a bedeldir. Hidrojen atmosferli bobin tavlama fabrikaları ise daha ucuzdur. Modern fırınlarda elde edilen verim artışı sonucunda eski teknolojilere artık yatırım yapılmamaktadır. Sürekli ve bobin tavlama böylelikle tümleşik prosesler olmuştur. Bobin tavlamanın avantajları aşağıdaki gibidir.

*Düşük yatırım maliyetleri

*Aluminyum ile öldürülmüş çelik kullanımı (titanyum-niobium stabilizasyonu ve vakum giderme gerektirmez.)

*TC, E ve ES gradelerinin tekrar üretilen mekanik niteliklere sahip şekilde güvenilir üretimi ve düzgün yüzey temizliği

Diğer taraftan, sürekli tavlama:

*Stok ve üretim süresinin oldukça düşürülmesi

*Mekanik özelliklerde ufak değişimlere yüksek mukavemet, çekmeye uygun teneke malzemelerin üretimi.

*Yüksek yüzey kaliteli bant üretimi

*Düşük karbonlu elektrik çeliği üretimi.Bu kaliteler için kısa tav çevrimi, tane sınırlarının saf olmayışından doğan difüzyonun azaltımı için hızlı soğutma ile gelen nüfuziyet yeteneği.

Bobin her ne kadar sürekli tavlama tekniği göstermekte ise de tavlama avantajları nedeniyle kolay yakın gelecekte kaybolmayacak gibi görünmektedir.

4.5.2 Temper Hadde

4.5.2.1 Amaç

Çeliğin içerdiği bağlayıcı elementlerde, (CN)metal tavlama sonrası gösterdiği bir akma noktası uzaması etkisi vardır. (Nitrürler ve karbürler nedeni ile hareketlenmesi kalıntı dislokasyonların başlangıç hareketlenmesi yüzünden) Temper haddelenenin amacı dislokasyon yoğunluğunu arttırmak için yeterli miktarda gerilimi vererek akma noktası uzamasını elimine etmektir. Uygun yüzey pürüzlü merdaneler ile yüzey gerekli pürüzlülüğü ve düzlemselliği sağlanır.

4.5.2.2 Teknoloji

Soğuk haddelemede olduğu gibi temper haddeleri dörtlü veya altılı olabilir. Fakat pürüzlülük transferi uygulanan basınca bağlıdır. Bu yüzden çeliğin akış gerilimi ve hadde çapı, haddeleme kuvveti de sonuçta etkilidir. Bazı kalitelere (IF çeliği) hadde kuvveti çok düşüktür. Bu nedenle özel basınçların sınırlanabilmesi için merdanelerin çapı mümkün olduğunca büyük olmalıdır. Dörtlü hadde bu amaç için en iyisidir. 4 yüksek , 2 yüksek stanları kombine olarak mevcuttur. Geniş çap iki yüksek konfigürasyonunda kabul görmektedir. Altılı haddeler yüksek uzama değerleri gerektiğinde iyi adapte olmaktadır.

Temper haddelerde genelde haddeleme su-detarjan karışımı ile yağlanmış halde ıslak uygulanabilir çünkü küçük redüksiyonlarda pratikte ısınma sözkonusu değildir. Gerilim kuvvetlerini sabit tutmak için iki hadde gerilim bloğu bobin boşaltıcı ile temper hadde arasına konur. Hadde bükme pistonları bant düzlemselliğini sağlamak için kullanılır.

Sonuç olarak bazı özel uygulamalarda oldukça ince ambalaj malzemelerinde de olduğu gibi (0,13 mm) malzeme tavlama %20-%40 oranında temper hadde ile elde edilebilir. Bu işlem tandem halinde kullanılan bir çift temper hadde ile uygulanır.

4.5.2.3 Merdane Yapısı

Temper haddenin hayati fonksiyonlarından birisi de form verme– boyama gibi işlemler için gerekli pürüzlülüğü banda vermesidir. Bu amaçla; haddeler çeşitli tekniklerle ile

şekilledirilir.(Merdane)

- Mekanik çarpma yöntemi ile aşındırma: Bir türbin ile fırlatılarak yüzey yapısı oluşturulmasıdır.Bu en eski prosesdir ve oldukça yaygındır fakat sonuçta oldukça fazla dağılım ve kontrol güçlüğü yaratır.
- Lazer Dokulama: Çok iyi çekme değerleri için derin kraterlerin yağ tutma için oluşturulmasıdır.
- Elektro-boşaltma dokulama: (EDT) Hadde dielektrik banyosuna sokulur ve bir elektrot metali eroze edecek şekilde ark yapar. Bu proses oldukça parlak boya kaplamasını sağlamak için gerekli yüzey dokusunun üretimini mümkün kılar. Hem son haddelerde hem de temper haddelerinde kullanılır.

4.5.2.4 Elektron Işını Dokulama(EBT)

Lazer prosesi ile aynı mantıkta işler, fakat bu proseste daha doğru kontrol sözkonusudur. Prensip olarak temper haddelerinde kullanılır.

4.5.3 İlgili Aktivitiler

4.5.3.1 Depolama Operasyonları

Soğuk haddelemede, bobinler defalarca depolanır. Haddeleme örgütünün lojistiği son yıllarda oldukça değişikliğe uğramıştır. Ekipmanların birleşmesi, yer taşıyıcıların ve otomatik taşıma arabalarının vinçlerin yerini alması, otomatik taşıyıcıların dikey depolamalara yüklemelerin yerini alması gibi. Ambalajlama tamamen otomatik değilken, çok pahalı olduğu için, şuanda mekanize yöntemlerle bu sürdürülmektedir.

4.5.3.2 Üretim Yönetimi

Bütün çelik firmaları pahalı stokları düşürmenin yolunu arar, daha kısa zamanda müşteriye teslim esastır. Soğuk haddeleme milinin yönetimi oldukça karmaşıktır özellikle çok değişik tipte ürünler üretiliyorsa. Bireysel emirler özellikle 50 tonun altında olanlardır ve spesifikasyonlar farklılaşır, ebatlar, kaliteler ve kaplamalar sürekli değişir. Bütün çelik üreticileri bu nedenle sofistike üretim yönetim sistemleri geliştirmiştir.

4.5.3.3 Ürün Gözlemi

Ürün karakteristiklerinin gözlenmesi kesilen bant örnekleri ile yapılır. Boyutlar ve pürüzlülük ölçülür, sertlik ve mukavemet kontrol edilir, bunlar üretim yönetimi bilgisayarına bağlı

robotik enstalasyonlar ile yapılır. Boyut toleransları tüm üretim hattı boyunca izlenir. X-ışını ile kalınlık uzunluk sayıcıları ve sürekli genişlik ölçümü uygulanır. Düzgünlük haddeleme standartlarında ve skin-pass ünitesindeki gerilim dağılımına duyarlı haddeler ile bant genişliği boyunca kontrol edilir.

Yüzey görünüşü uzman operatörlerce gözlenir. Fakat, CCD kameralı cihazlar kontrasttaki değişimleri takip eder, birçok ülkede lazer ışını yansıması ile gözlem çalışması yapılmaktadır. Bu sensörler hataların sınıflandırılmasını mümkün kılan akıllı yazılımlarla birleştirilmiştir.



5. ÖLÇME VE KONTROL

5.1 Malzeme Balansını Belirlemekte Kullanılan Temel Ölçümler

Ergitme ve arıtma prosesleri kontrolü doğru gerçek zaman belirleme ve güvenilir malzeme ve enerji balanslarından oluşur. Bunlar genellikle giriş ve çıkış flux ölçümlerine bağlıdır. Belirtilenlerin tamamı kimyasal analizlerinin yanısıra akış ve ağırlık ölçümlerini gerektirir (Çizelge 4.1 ve Çizelge 5.1)(Lankford,1985-Kopineck,1992-Tourscher).

5.1.1 Akış Miktarları Ve Ağırlık Ölçümleri

Genel olarak ağırlıklar bir test gövdesine bağlanmış gerilim ölçerlerin bulunduğu loadcelller ile ölçülür. Bu loadceller ekipmanlarda ağırlık köprüleri, konveyör bantları, vinçler, reaktör destekleri üzerinde yer alırlar. Ve herbiri katı ya da sıvı malzemelerin ağırlıklarını ölçmeye muktedirler. Ayrıca bunlar akış miktarları ve kapalı miktarların dinamik ölçümlerini yapmakta da kullanılabilirler. %0,01'e varan doğruluk aralıkları ile çalışabilirler. Gazlar ise genellikle basınç düşmelerinin temel yöntem olarak kullanıldığı venturyler diyaframlar ve tüyelerle kullanılır. Basınç düşüşleri ile akış arasındaki bağlantı; kompozisyona, sıcaklığa, neme, basınca ve bunun gibi parametrelere bağlı olan gaz akışı katsayıları ile ifade edilir. Bu parametrelerin kontrolü uygun enstrumanlar ve temel gaz karakteristikleri gözönüne alınarak yapılmalıdır. Bu aletlerin çok hassas olan gaz akışı kontrollerinde doğru kullanılabilmeleri servise alındıklarındaki kalibrasyonlarına ve daha sonraki kullanımlarında da bu kalibrasyonların belirli periyotlarında tekrarlanmalarına bağlıdır. Genel olarak bu tekniklerde doğruluk miktarı $\pm 0.2\%$ 'dir (Roberts,1972-Spooner,1985).

5.1.2 Sıcaklık Ölçümleri

Sıcaklık ölçümleri çelik üretim proseslerinde diğer bir anahtar faktördür. Akış proseslerinde bu ölçümler kabul edilebilir doğruluklarla çalışan daldırma thermo-couple çubuklarının sıvı banyolarına daldırılması veya gelişmiş otomatik sistemler tarafından yapılır. Sıcak haddeleme sırasında sıcaklık ölçümü hareket eden katı üründe dokunmadan yapılan infrared pirometrelerle yapılır.

Çizelge 5.1 Birincil ergitme ve arıtma ölçüm ve kontrolleri

Proses	Proses Kontrol Parametreleri	Ölçüm Tekniği	Ürün Kalite Parametreleri	Ölçüm Tekniği
Yüksek Fırın	Hammadde analizi(Sinter vb.)Kok nemi Yükleme Profili Akış(gazlar,yükleme malzemeleri)Sıcaklık(gazlar) Sıcaklık profili	Numune alma,İletkenlik,Nötronlar,Basınç düşüş probu,Termo couple probu, Analiz pili, Sıcaklık ölçer çubuğu	Sıcak malzeme analizi(Si,Mn,P,etc) Sıcak metal sıcaklığı	Numune alma ve sıcaklık ölçer çubuğu
Elektrik ark fırını ve konverter	Sıcak metal analizi gaz akış analizleri Banyo analizi	Numune alma,basınç düşüş probu,sıcaklık ölçer , analiz pili,kütle spektrometresi	Çelik analizi ve sıcaklığı	Numune alma ve sıcaklık ölçer çubuğu
İkincil Arıtma	Çelik analizi , çelik sıcaklığı,gaz karışım akışı	Numune alma , sıcaklık ölçer çubuğu,Basınç düşüş cihazı	Çelik analizi ve sıcaklığı	Numune alma ve sıcaklık ölçer çubuğu
Sürekli Döküm	Pota ve tandiş çelik sıcaklığı, Kalıp soğutma suyu akışı ve sıcaklık (ısı çıkışı)İkincil trimleme makina ayarı çekme hızı ve kalıp seviyesi	Sıcaklık ölçer çubuğu,Flowmetre, Mekanik ve optik sensörler , gamma – ışını, eddy current sensörleri	Segregasyonlar,inklüzyon miktarı,yüzey kondüsyonu,yüzeyssel çatlaklar,yüzeyaltı çatlakları ve yüzey sıcaklığı	Numuneler (Sülfür print testi,X – ray, mikroflorasans testleri)Numuneler Eddy current testi , manyetik partiküller, çatlak testi , sıcaklık ölçer

Çizelge 5.2 Sıcak hadde asitleme, soğuk haddeleme, tavlama ve temper hadde kontrol yöntemi

Proses	Proses Kontrol Parametreleri	Ölçüm Tekniği	Ürün Kalite Parametreleri	Ölçüm Tekniği
Sıcak haddeleme	Slab fırın,Atmosfer analizi,Gerilme kuvvetleri,duruş ayarları,genişlik,şekil,kalınlık profili,düzlemsellik,sıcaklık dağılımı	Analiz pili,Pirometrieleksel ölçümler , extensometre,mechanik sensörler , optik sensor x-ray sensör, triangulasyon sensor,pirometri	Boyutlar(en,kalınlık) düzlemsellik , mekanik ve yapı karakteristikleri	Yüzey kondüsyonu , optik ve x-ray sensörleri ,triangulasyon sensörü , ölçüm bobin sıcaklığı,görsel kontrol
Asitleme ve Soğuk haddeleme ,Tavlama, Temper Hadde	Yıkama kompozisyonu,gerilme kuvveti,duruş ayarları,ürün genişliği,kalınlık ve kalınlık profili ,düzlemsellik , hız , tavlama , fırın atmosfer , tavlama sıcaklığı , rekristalizasyon ölçümü, yüzey karakteristikleri	On-line analiz numuneleri (x-ray florasan) Elektriksel ölçümler , ekstensometri , mekanik sensörler , optik sensör , x-ray sensör , mekanik optik , manyetik ve x-ray sensörü , optik ve takiyometrik sensörler , analiz pili , pirometri , ultrasonic ve manyetik kontrol , pürüzlülük ölçümü	Boyutlar (en,kalınlık,profil) düzlemsellik , mekanik ve yapı karakteristikleri ,yüzey kondüsyon, inklüzyon içeriği	Optik , mekanik ve x-ray sensörleri ,mekanik ,optik,manyetik ve x-ray sensörleri ,numune alma, on-line NDE Pürüzlülüğü ve parlaklık ,görsel kontrol ,on-line kontrolü(ultrasonic sızıntı akışı) ve numune alma (esnek-çekme,manyetik partikül kontrol)

5.1.3 Boyutsal Kontrol

5.1.3.1 Tek Boyutlu Parametreler: Genişlik, Kalınlık

Genişlik

700 °C'nin üstünde temel prensip, radyasyon yayılımını kullanarak ürün kenarlarının optikal belirlenmesidir. Fotodiyot ışınları ve hızlı sinyal prosesleri gelişmeleri 1/1000 oranında doğruluklarla genişlikler tespitine imkan tanımaktadır. Stereoskopik konfigürasyon dikine bant hareketlerinden doğacak hataları elimine eder.

Kalınlık

En yaygın kullanılan metot iyonlaşma radyasyonunun absorpsiyonuna dayalı cihazların kullanılmasıdır. Ayrıca, bant yüzleri arasındaki mesafenin duble-optikal triangulasyon ile veya mekanik temas yöntemleri ile kullanımları da mevcuttur. Radyasyon kaynağı doğası (x-ray tübü veya radyo izotop) ölçülecek kalınlıklar aralığına ve istenilen doğruluk oranlarına bağlıdır.

İki Boyutlu Parametreler

Kenar İzdüşümü Ölçümleri (kenar eğriliği ölçümleri, disimetri ölçümleri, kenar boşlukları ölçümleri)

Bu ölçümler, çeşitli genişlik ölçerlerden alınan sinyallerin proses edilmesi ve ürün yer değiştirmelerinin kombinasyonu ile çift boyutlu fotodiyot ışınları vizyon sistemlerinin kullanmaları ile mümkündür.

Kalınlık Profilleri Ölçümleri

Genişlik boyunca bant kalınlıkları değişimlerinin müşteri taleplerinde yeralması nedeniyle bu kalınlık profillerinin çıkartılması esastır. Üç jenerasyon ölçüm cihazları bu amaç için dizayn edilmişlerdir. Bunların ilki tek ölçüm yer değişikliğine bağlı olan ve şu an kullanılmayan metottur. İkinci jenerasyon birçok sayıda yapılmış olan ölçümün konfigürasyonlarının değerlendirildiği ölçümdür. Son ve en çok kullanılan sistem radyografik ispeksiyon metodudur.

5.1.4 Düzlemsellik Ölçüm Metodu

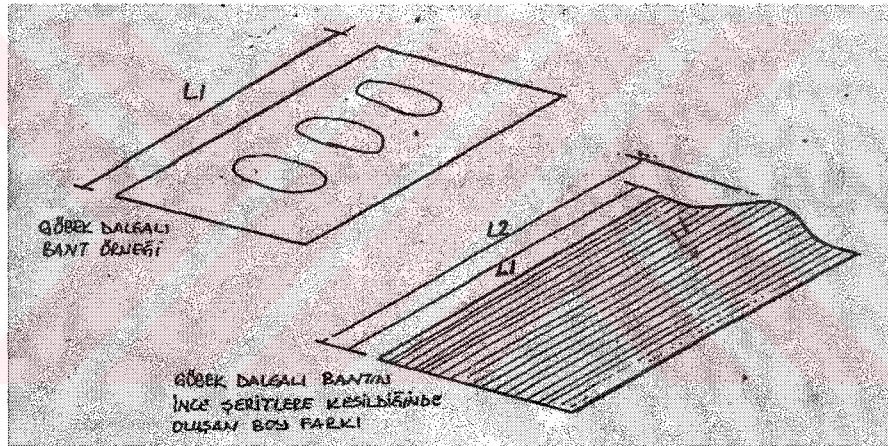
Düzlemsellik ölçümlerinin problemi sıcak ve soğuk haddelenmiş ürünlerde farklıdır. Sıcak

haddelenmiş bobinlerde lif uzunlukları arasındaki farklılıklardan doğan düzlemsellik hataları lazer telemetri ölçümlerine bağlı tekniklerle tespit edilebilirler. Soğuk haddelemede ise en yaygın teknik segmente edilmiş tensiyometrik roll tekniğidir. Bu teknikte uzunluğuna liflerin gerilim farklılıkları ölçülerek sonuca erişilir. Şu anda araştırma ve geliştirmede bulunan optikal fiber instrumented rolls ve x-ray sistemleri çalışmaları sürmektedir (Togai,1986).

Bant şekil düzgünlüğü RCM hattı çıkış deflektör merdanesi öncesinde bulunan shapameter merdanesinden elde edilen,I- Unıt olarak tanımlanan birini ve operatörün bantta gözlemi sonucundaki müdahaleleri yoluyla kontrol edilir (Downey,1996).

I-Unit biriminin fiziksel tanımlanması :

Üzerinde dalga bulunan bant örneği ince şeritler halinde kesildiğinde, uzamadan dolayı, dalgalı bölgenin şerit uzunlukları düz bölgelere göre daha uzundur (Spooner,1985).



Şekil 5.1 Göbek dalgalı bant örneği

$$I\text{-Unit} = ((L_2 - L_1) / L_1) \times 10^5 \quad (5.1)$$

I-Unit değerleri bant genişliğine bağlı olarak shapameter merdanesi üzerine bantın uyguladığı radyal baskılar tespit edilerek bant boyunca belirlenir. RCM hattında düzgün şekili (dalgasız) bant üretebilmek için haddeleme sırasında ± 5 I-Unit hedef seçildi, bu sınırlar içerisinde kalınmaya çalışıyor (Knox,1985).

II- Soğuk Haddelenmiş Bant Şekil Bozukluğu ve Sebepleri

Soğuk haddelenmiş bant şekil düzgünlüğü iki ana faktöre bağlıdır (Tani,1984).

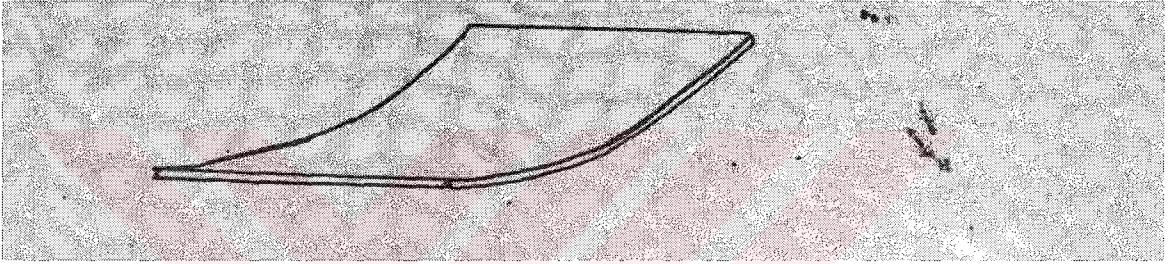
II-A – Soğuk haddeleme parametreleri.

II-B – Sıcak haddelenmiş bant sertlik ve kalınlık dağılımı.

II-A-Soğuk Haddeleme Parametrelerine Bağlı Bant Şekil Bozuklukları ve Sebepleri

1-) Coil-Set (Curl)

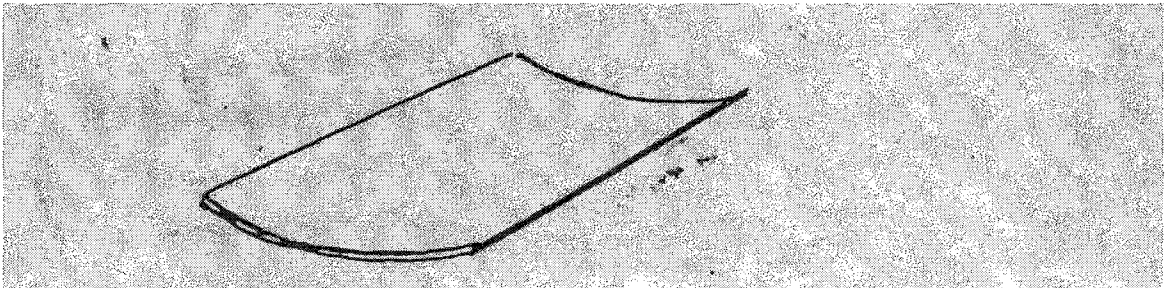
Alt-üst iş merdanesi arasındaki çap, pürüzsüzlük ve hız farkı, bant alt-üst yüzeyleri arasındaki yağlama farkı, bantın roll-bit'e girerken veya çıkarken pass-line'den sapması coil-set (curl) şekil hatasına sebep olur (Metal Soc.,1982).



Şekil 5.2 Coil set hatası

2.) Crossbow :

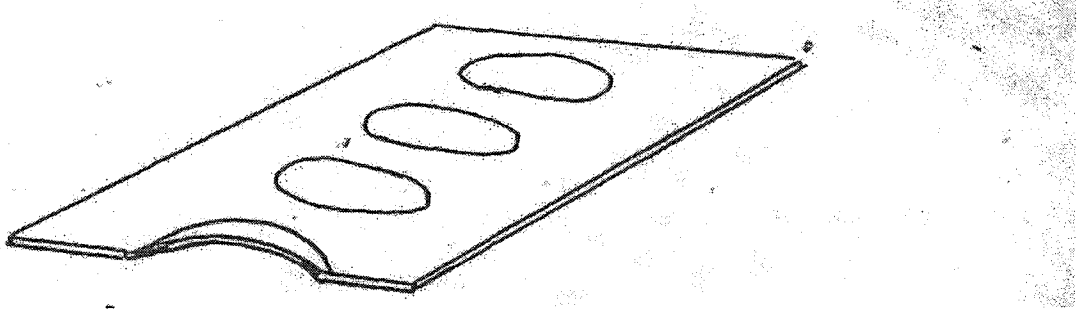
İş merdanelerindeki fazla crown, yağlama azsızlığı, düşük gergi, fazla bender ve fazla haddeleme kuvveti kullanmaktan meydana gelir.



Şekil 5.3 Crossbow hatası

3.) Full Center (Göbek Dalgası)

Bantın orta bölgesinin fazla haddelenmesinden kaynaklanır. Orta bölgenin fazla haddelenmesi, iş merdanesindeki crown'dan, iş merdanesi sıcaklık dağılımının yarattığı thermal crown'dan, haddeleme kuvvetinin azlığı, bender kuvvetinin fazlalığından kaynaklanır.



Şekil 5.4 Göbek dalgası

4.) Full Edge (Kenar Dalgası)

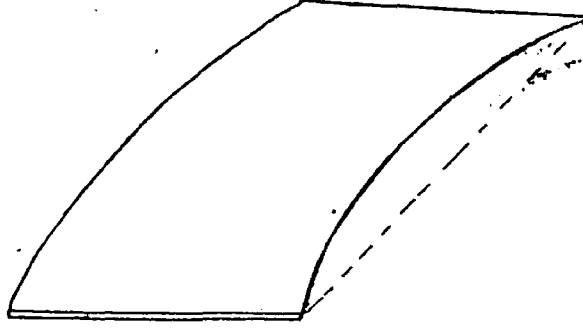
Bantın kenar ve kenar orta bölgelerinde merdane crown bozukluğu, bender kuvvetlerinin azlığı, yağlama yetersizliği, mandrellerin az gergi uygulaması, merdanedeki thermal crown'dan dolayı oluşur.



Şekil 5.5 Kenar dalgası

5.) Camber (Bowing)

Merdane aralığının dikdörtgen şekilde açılmal (wedge şeklinde) olmasından kaynaklanır.



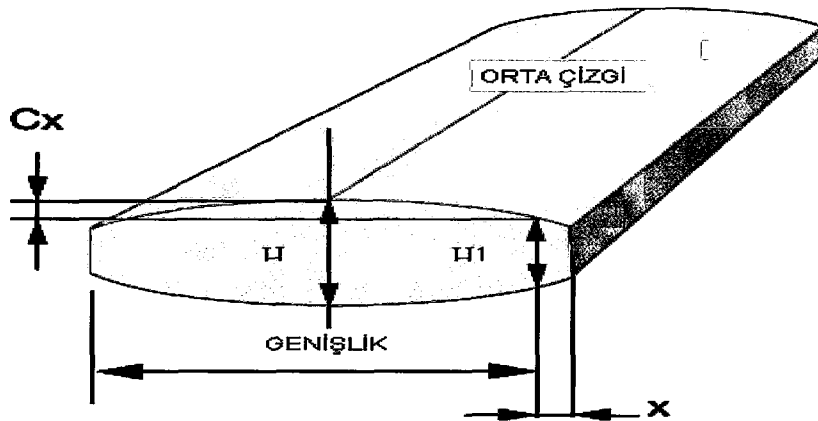
Şekil 5.6 Camber hatası

II-B- Sıcak Haddelenmiş Bant Parametrelerine Bağlı Şekil Bozuklukları ve Sebepleri

Dalgasız soğuk haddelenmiş bant üretebilmek için sıcak bant özelliklerine de bakmak gerekir. Sıcak haddeleme esnasında bantta oluşturulan (haddeleme yönüne dik) kesit profili, (soğuk haddelemede bantın genişlik yönünde deformasyon yapılamadığı için) soğuk haddeleme ile değiştirilmeye çalışıldığında, banta fazladan iç gerilemelere (residual stress) , dolayısıyla şekil bozukluğuna sebep olur. İç gerilmeler stres dağılımının bant kesiti boyunca veya bant kesitine dik asimetrikliğinden ortaya çıkar.

Soğuk haddelemeye uygun sıcak bant özellikleri :

- 1- Crown oranı % 1.0 veya daha düşük olmalı.

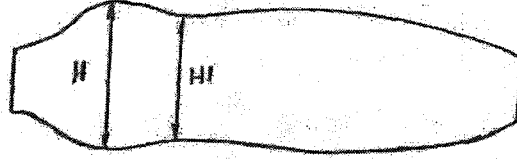


Şekil 5.7 Soğuk haddelemeye uygun sıcak bant özellikleri

$$\text{Crown oranı} = ((H - H_1) / H) \times 100 = \%1.0 \quad (5.2)$$

(% 1.0 'dan yüksek crown oranı soğuk haddeleme sonrası göbek dalgasına sebep olur.

2. Bölgesel kalınlık farkı 10 mikron veya daha az olmalı.



Şekil 5.8 Bölgesel kalınlık farkı

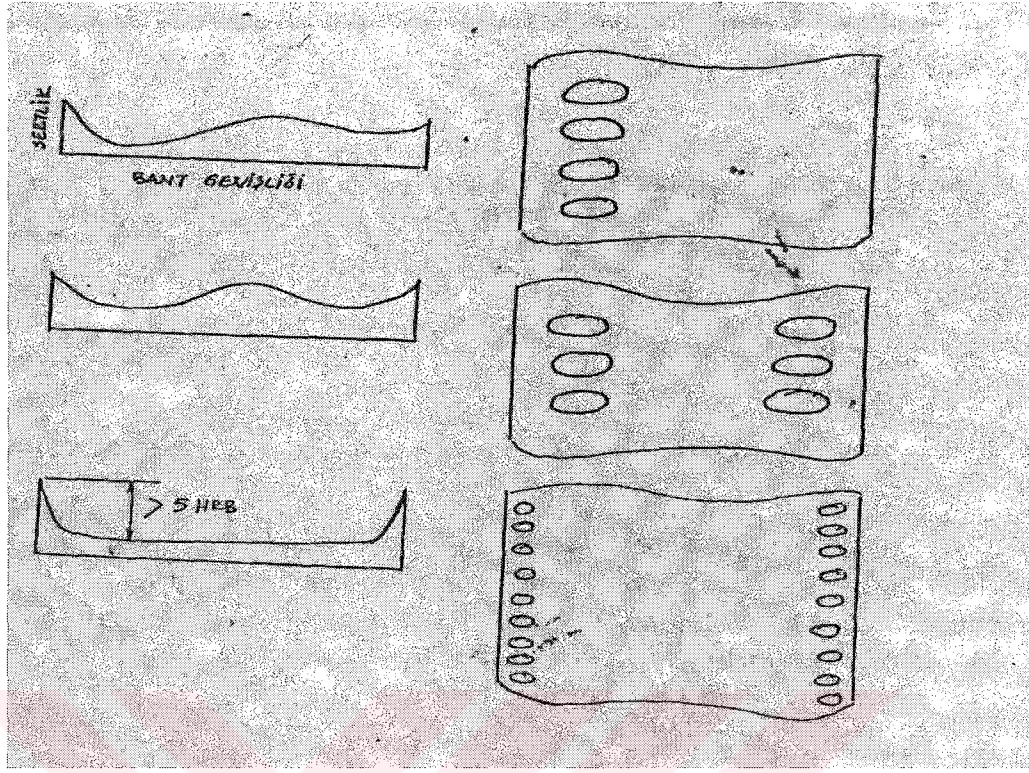
(Bölgesel kalınlık farkı soğuk haddeleme sonrası o bölgede dalgalanmaya sebep olur.)

Sıcak haddeleme sonrası kalınlık dağılımındaki bozulma sebepleri :

- Sıcak hadde iş merdanelerinde oluşan thermal crown .
- Sıcak bant kenarlarında kalınlık profili (feather)bozuklukları.
- Sıcak haddeleme aşamalarında bant boyunca sıcaklık dağılımındaki değişimler (soğutma yetersizliği, skid mark'lar.)

Sıcak haddeleme esnasında merdane ağırlığının dikdörtgen profilde ayarlanmayışı

3. Sıcak bant sertlik dağılımı farkı 5 HRB'yi geçmemeli, sertlik 55-65 HRB olmalıdır. Sıcak banttaki sertlik dağılımının sebep olacağı dalga görüntüleri aşağıdaki şemalarda görülmektedir.



Şekil 5.9 Sıcak banttaki sertlik dağılımının sebep olacağı dalga görüntüleri

5.1.5 Yüzey Kontrolü

Yüzey görünümü yassı mamullerde son derece önemli bir faktör olmasına karşın bu değerlendirme hala operatörlerin subjektif değerlendirmelerine bağlıdır. Müşteri spesifikasyonlarına bağlı olarak kalite indekslerinin tanımlanması ve belirlenmesi çok zordur ve birçok dezavantajı vardır. Özel olarak güvenilirlik ve yeniden üretilebilirlik 1m/sn.den daha az ürün hızlarıyla limitlidir. Bu nedenle otomatik yüzey kontrol sistemleri geliştirilmiş olup teneke ürünlerde ve sürekli tavlama hatlarından çıkan malzemelerde kullanılmaktadır. Bu sistemler Laser-scanning veya direkt aydınlatma sistemleri ile kombine edilmiş düzlemsel CCD kameralarıdır. Birinci teknik Japonya'da çok iyi uygulanmış olan yüksek bant hızlarında kullanılan tekniktir. Bununla birlikte CCD ışınları 2. metodun çok daha güvenle kullanıldığını göstermektedir. Hangi teknoloji kullanılırsa kullanılsın otomatik yüzey kontrol sistemleri performansı birçok fonksiyonun gerçek zamanda takip edilmesi ile mümkündür. Bu sistemlerin çalışabilmesi için çok gelişmiş bir databank oluşturulmalı ve daha sonra tespit edilen hatalarla kıyaslanarak üretime devam ya da düzeltme kararı verilmelidir. Gelecek hataların databank ile kıyaslanması bize otomatik tanımlama ve sınıflama şansı vermektedir. Bu fonksiyon yanlış alarmların verilmesini indirmek açısından temeldir ve yüksek

güvenilirliği sağlar. Hata indeksi belirlenmesi bize ürünün müşteri speklerinin karşılanıp karşılanmadığını, reddedilip reddedilemeyeceğini veya başka bir işlemde kullanılıp kullanılamayacağını belirtir (Verlag Cold Rolled,1983).

Bu bölümde belirtilmiş olan tüm örnekler ölçüm ve kontrollerin yüksek kaliteli ürünleri düşük maliyetle elde edilmesi için en önemli faktörlerdir. Bunlara dayanarak müşteri memnuniyetini sağlayacak çözümler geliştirilip elde edilebilirler. Özellikle gelişmelerin hassasiyet, boyut ve tahribatsız kontrol sensörlerinin geliştirilmesi yönünde yapılması bizlere tespit edilebilecek hataların limitleri ve güvenilirlikleri açısından avantaj sağlayacaktır. Network içerisindeki özel proseslere ait bütün sensörler arası haberleşmenin self-diagnostik açısından çok yararlı olacağı kesindir (Verlag Hot Rolled,1983).

Soğuk haddeleme yüzey hataları aşağıda belirtildiği gibidir.

5.1.5.1 Kabuk

Kabuk düzensiz bir şekilde ince tabaka halinde yüzeyden kalkmış malzemelerdir. Metal olmayan inkilüzyonları yada tufal inkilüzyonlarını içerir.

Yüzeye yapışmış kısım kabuk olarak bilinir. Ve şekli ile büyüklüğü farklılıklar gösterir. Yüzeye yapışmış malzeme metal olmayan yada tufal inkilüzyonları ile ana metalden ayrılır. Kabuk döküm esnasında yada sıcak haddeleme esnasında malzeme tabakaların kaymasıyla oluşur. Kabuk yüzeyin altında birleşmiş geniş metalik olmayan inkilüzyonlar olarakta bulunur.

Oldukça büyük malzeme hataları olduğunda çıplak gözle görülebilirler. Bir çok durumda hatanın kabuk olduğu kesin olarak anlaşılır. Ayrıca bu tip hata derin çekme prosesinde malzemenin yırtılmasına sebep olur istenmeyen bir tür hatadır. Bu tip hatalar genelde tüm rulo boyunca değil belirsiz aralıklar ile süre gelmektedir. Bu tip hatalar görünür ve görünmez yüzeylerde kullanılamazlar.

5.1.5.2 Tufal

Tufal düzensiz pul şeklinde bir sürü ufak kabuk parçalarından meydana gelmiştir. Bu bir sürü ufak kabuk parçaları haddeleme doğrultusunda uzar,uzaması haddeleme derecesine bağlıdır. Ve ana metal ile bazı noktalarda bağlı haldedir. Tufal ostenitik tane sınırlarının sünek olmayan veya düşük ergime noktası olan maddelerle zayıflamasıyla oluşur. Haddeleme sırasında yırtılma ve yara meydana gelir. Bu olaya ‘hot shortness’ denir. Kenarlara yakın bölgelerde önemli derecede metal akışı olduğundan tufal daha çok bu bölgede bulunur. Aşırı

durumlarda tufal bütün yüzeyi kaplar .Bu durumda şerit kenardan kopabilir.

Hatanın 'hot shortness' den dolayı olduğunu anlamak için çeliğin mangan, bakır ve kalay miktarının hesaplanması ve fırın şartlarının gözden geçirilmesi gerekir. Bir çok durumda yalnızca metalografik muayene hata nedeninin anlaşılması için yeterli değildir.

Aşırı durumlarda tufal kabuk gibi görünebilir. Ateş çatlağının markalama durumlarıylada karıştırılabilir. Pres operasyonu sonrası malzeme üzerindeki izler derin çekme sonrası çukur halinde görülür kullanım yerine ve seviyesine göre bu tip hatalar absorbe edilebilir.

5.1.5.3 Damar

Damarlar haddeleme yönüne paralel olarak uzanır. Kabuk birleşmiş halde bulunur ve metal olmayan veya tufal inkilüzyonları ihtiva eder. Genişlikleriyle orantılı olarak oldukça uzundurlar. Bunlar dar banttı açık çatlaklara kadar değişiklikler arz eder. Çatlak ana yüzeyden daha açık veya koyudurlar .Damarlar genellikle metal olmayan inkilüzyonları veya tufal olmayan inkilüzyonlarını içerirler. Bunlar haddeleme sırasında kat meydana getirebilirler. Yüzey temizlendikten ve parlatıldıktan sonra hatalı bölge kendini gösterir. İnkilüzyonlar, etrafındaki metalden daha çok kırılğan olduğundan, kırılırlar. Kısaca,hata inkilüzyonları için bir çok yüzey mikro kesiti incelenmelidir.

Çeşitli bir çok damar, sıcak ve soğuk şerit çizikleri ile karıştırabilir. Malzemenin kullanım yeri bu tip hata için önemlidir. Görünür yüzeylerde kullanılamazlar. Görünmeyen yüzeylerde iç parça olarak kullanılabilirler.

5.1.5.4 Delik

Delikler çizikler üzerinde süreksizlik arzeder ve şeridin üstünden altına kadar iner. Haddeleme esnasında malzemenin yırtılmasına neden olur. Şerit kesiti pipe, gaz boşluğu, kaba inkilüzyonlarla zayıflar. Delikler çıplak gözle veya optik cihazlarla tanınabilirler. Deliklerin sebepleri metalografik muayeneler ile anlaşılabilir. Hata istenmeyen bir türde hata olup, tüm bobini etkilemez genelde bobin baş ve sonlarında çıkar .Görünür ve görünmeyen yüzeylerde kullanılmazlar.

5.1.5.5 Katlar

Katlar yarı mamüldeki boşluklardır ve metal olmayan inkilüzyonların kaynamamasından oluşur. Sıcak ve soğuk haddeleme sırasında görülmez, imalat sırasında anlaşılır. Kat çeşitli şekillerde oluşur.

a-Sürekli katlar ,haddeme yönünde uzarlar ve bazı bölgelerde geniş alana yayılırlar. Bunlar genellikle gaz boşlularından meydana gelir.

b-Malzeme üzerinde sıra halinde giden hatalar imalat sırasında şerit hidrojen toplarsa bunlar molekül halinde çökelir. Bu yüzden teşekkül eden gaz boşlukları bir yada her iki yüzeyde görülebilir.

c-Ufak bölgesel hatalar.

Hatanın dış görünüşü tanınmak için yeterlidir. Başka tip hatalar ile karıştırılması mümkün değildir. Görünür ve görünmeyen yüzeylerde kullanılmazlar.

5.1.5.6 Haddeme Yaraları:

Metal olmayan tufal, pislik, döküm tozu, asit veya emülsiyon artıklarının haddeme sırasında yada başka kuvvetlerle yüzeye gömülmesidir. Yüzey hataları haddeme sırasında metal olmayan malzemelerin yüzeye gömülmesiyle oluşur. Benek çubuk şekillerinde olduğu gibi çok büyük hatalı bölgeler meydana getirirler. Bu tip hatalar sıcak ve soğuk haddemelerde meydana gelir. En çok görülen tipleri şunlardır:

a-Sıcak haddeme sırasında spreyn yetersiz oluşu nedeniyle tufalin meydana gelmesi.

b-Soğuk haddemede tufal kırıcı iyi çalışmıyorsa yada asitleme yeterli değilse haddeme sonunda tufal hataları görülür.

c-Ufak çapak gibi metal parçaların neden olduğu hatalar .

d-Pislik veya parçalanmış emülsiyonun haddelenmesiyle oluşan hatalar.

e-Döküm tozlu malzemenin merdanelerden geçirilmesi sırasında oluşan hatalar.

Tanınması sadece hatanın dış görünüşüyle olur. Genellikle yüzey mikro kesitinin metalgrafik muayenesi yapılır. Sıcak haddeme sırasında tufal haddelenmez ve yapıda gözlenebilir değişikliklere neden olur .Malzeme soğuk haddeme sırasında fazlaca çalışma sertleşmesine maruz kalır. Tavdan sonra ufak taneli ferit rekristalizasyonu meydana gelir ve tane büyüklüğü meydana gelir ve tane büyüklüğü artar.

Sıcak ve soğuk hadde çizikleri ile karıştırılabilirler. Görünür ve görünmeyen yüzeylerde kullanılmazlar.

5.1.5.7 Oyuk

Yüzeydeki ufak oyuklardır. Örneğin asit oyuğu gibi. Oyuklar yüzeyde düzensiz olarak dağılmışlardır. Malzemenin asit solüsyonunda uzun süre kalmasıyla tufal bulunan bölgede oluşur. Asit solüsyonu, teşekkül eden hidrojenin sıyırma etkisiyle yüzeyden sıyrılacak tufalin cinsine bağlıdır. Oyuklar ayrıca metal yada metal olmayan inkilüzyonların yüzeyden kopmaları veya paslanmasıyla yüzeydeki korozyondan dolayı oluşur. Kaba oyuklar kolayca görülebilir. Çok ufaklar mikroskopla belli olur. Bir çok durumda metalografik muayene yapılır. Hadde yaraları veya roll marklarla karıştırılabilir. Görünmeyen yüzeylerde kullanılabilirler.

5.1.5.8 Roll Mark

Yüzeyin düzenli veya düzensiz enine yada boyuna markalanmasıdır. Sıcak yada soğuk haddeleme sırasında oluşur ve çelik yüzeyinde çeşitli şekillerde bulunur. Roll marklara genellikle kusurlu merdane yüzeyleri neden olur. Merdane yüzeyindeki çatlaklar yada parça kopması hataya yol açar. Haddeleme sırasında roll marklar çok kolay kat meydana getirebilirler. Dış görünüşünden çok kolay tanınabilir. Markalar şerit boyunca düzenli aralıklarda bulunduğundan bu ara mesafe ölçülerek kusurlu merdane çapı bulunabilir. Sıcak ve soğuk haddelemedeki özellikleri farklıdır. Soğuk haddelemede hata etrafında soğuk çalışma sertleşmesi görülür. Oyuk ve ateş çatlağının neden olduğu hatalarla karıştırılabilir. Ayrıca bu tip bir hata malzemenin kullanım yeri ve seviyesine göre kabul edilebilir.

5.1.5.9 Ateş Çatlağının Markalanması

Merdanede oluşan ateş çatlağının markalanmasıdır. Sıcak haddelemede iş merdaneleri yüzeyindeki çatlaklıklardır. Haddeleme sırasında yüzeye markalanırlar. Sıcak haddeleme sırasında meydana gelirse bu boşluklarda tufal oluşur. Sıcak haddelemede ısı malzemeden su soğutmalı merdanelere geçer. Bu sırada merdaneden ısısal gerilmeler olur. Bu gerilmeler (eğme, basma gerilimi ve iç gerilmeler) merdane yüzeyinin çatlamasına neden olur. Haddeleme miktarının fazla olması bu hataların oluşumunu artırır.

Tek bir ateş çatlağını tanımak zordur, karıştırılabilir. Bunlar periyodik olarak malzeme üzerinde sıralandığından, ayrıca şekilleri itibarıyla kolaylıkla tanınabilirler. Tufal ve roll marklar ile karıştırılabilirler. Görünmeyen yüzeylerde kullanılabilirler.

5.1.5.10 Sıcak Şerit Çizikleri

Sıcak şerit çizikleri soğuk haddelemeden önce haddeleme yönüne paralel olarak çeşitli boyutlarda yivli, keskin ve derin şekillerde oluşur. Nadir olarak tufal inkilüzyonları ihtiva

ederler.

Bütün bu çizikler sıcak haddeleme sırasında olur ve soğuk haddelemeye kadar devam eder. Çeşitli yönlerde olmakla beraber genellikle haddeleme yönündedir. Sıcak şerit çizikleri meydana geldiğinde ya çapak oluşur yada sıyrılan metal çizğin sonunda birikir. Şerit sıcak durumda tahrip olduysa, çizğin üzeri tufalle kaplanır. Bu durumda kesit incelendiğinde tufal inkilüzyonları görülür. Oluk şeklinde çizikler asitleme kısmında yada bobin sarma veya açma prosesinde olur.

Sıcak haddeleme sırasında meydana geldiyse ufak inkilüzyonları yüzeyde teşekkül eder. Eğer çizikler soğuk ve sıcak haddeleme arasında meydana geldiyse hata gölge veya haddeleme sırasında malzemeyle dolmuş olarak farkedilir. Yapı etrafıyla farklıdır ve yırtılmaya neden olur. Bobin sarma sıcaklıklarında hata oluştuysa buradaki tane yapısı etrafındakilerden farklı olur. Eğer çizikler sıcak ve soğuk haddelemeler arasında oluşursa tavlama da benzer yapı ortaya çıkar.

Bunlar soğuk şerit çizikleri ve damar tipi malzeme hataları ile tartışılabilir. Görünmeyen yüzeylerde kullanılabilirler.

5.1.5.11 Soğuk Şerit Çizikleri

Soğuk şerit çizikleri soğuk haddelemeden sonra haddeleme yönünde paralel olarak çeşitli boyutlarda yivli ,keskin ve derin şekillerde oluşur. Bunlar açık veya kapalı olabilirler ve inkilüzyon ihtiva etmezler.

Soğuk şerit çizikleri soğuk haddelemeden imalata kadar bütün proseslerde olabilir. Önceleri bu çiziklerin hepsi açıktır. Eğer bunlar haddelemeden geçirilirse katlanırlar.

Açık çizikler kolay anlaşılır. Kapalı olanlar için metalografik muayene gerekir. Eğer hata tavlama dan sonra görülüyorsa bu bölgenin kesiti incelendiğinde malzemenin kaynamasından dolayı oluşan bölgesel deformasyon ve farklı yapı görülür. Eğer hata tavlama dan önce görülüyorsa tane büyüklükleri önemli derecede değişir. Tufal inkilüzyonları bulunmaz. Tavlama dan önce oluşan sıcak ve soğuk şerit çizikleri arasındaki farkı anlamak zordur. Tavlama dan önceki soğuk deformasyonda çizikler oluşmuştur. Ferrit rekristalize olduğunda kabuk içindeki taneleri ana metalden daha ufaktır. Sıcak şerit çizikleri ve damarlarla karıştırılabilir. Görünmeyen yüzeylerde kullanılabilirler.

5.1.5.12 Tavlama Sonrası Lekeleri

Şerit kenarlarında oksidasyon, karbon birikimi yada indirgenmesiyle rengin değişmesi. Sıkı sarılmış bobinlerin tavlama sırasında görülür. Genellikle şerit kenarında grimsi siyah renkte dalgalı olarak uzanır. Eğer şerit gevşek bobin tavlama yada sürekli tavlama sistemleriyle tavlansa bu hataların şeridin genişliği doğrultusunda uzanır. Koruyucu atmosferde oksijen varsa oksitli kenarlar oluşur. Belirli tav sıcaklıklarında eğer CO/CO₂ oranı istenilen değerde değilse karbon birikimi olur. Lekelerin pozisyonu ve şekli büyük ölçüde akış durumlarına bağlıdır.

Renginden anlaşılabilir. Oksidasyon en çok şerit kenarlarında olur. Karbon birikimi olduğunda grimsi siyah lekeler olur. Bunun genişliği çeşitli olmasıyla birlikte parlak bölgeden belli bir sınırla ayrılır. Sodyum picrate veya sodyum thio sulphate dağlama solusyonuyla dağlandıktan sonra tane sınırlarındaki karbür görülebilir. Başka hatalar ile karıştırma söz konusu değildir.

5.1.5.13 Gerilme Çizikleri

Gerilme çizikleri imalat sırasında olur. Bölgesel gerilmeler nedeniyle olur. Şekilleri için genel birşey söylenemez. İmalat sırasında, akma noktası aşıldığında düzgün olmayan plastik deformasyon olur. Tatbik edilen kuvvete 45 derece açıda germe kuvvetleri bölgesi oluşur. Çizikler arttıkça bu bölge artar ve bütün yüzeyi kaplayana kadar devam eder. Bazı durumlarda portakal kabuğuna benzer. Bunların tanınması için özel bir işlem yoktur ve gerektirmez.. Yalnız çekme testi yaparak akma noktasının durumu incelenir. Bir çok durumda portakal şeklindeki yüzey hataları ile karıştırılabilir. Görünmeyen yüzeylerde kullanılabilirler.

5.1.5.14 Kesişmiş Kırıklar

Kesişmiş kırıklar, düzenli veya düzensiz olarak haddeleme yönündeki kırıkların genişlik yönündekilerle kesişmemişlerdir.

Bunların oluşumu gerilme çiziklerine benzer. Bobin açılırken şerit boyunca meydana gelen bölgesel gerilmeler sebebiyle olur. Bobinin şekli, yolluk merdaneleri ve şerit kalınlığı kesişmiş kırıklara etki eder. Yüksek akma noktası değerleri ile birleşerek bu hatanın oluşumunu arttırırlar. Gerilme zamanına bağlıdır. Bu hatalar çalışma hızının yükseltilmesiyle azaltılabilir. Soğuk haddeleme sırasında ve imalatla ortaya çıkabilirler. Kesişmiş kırıklar ortaya çıktığında akma noktasının durumu ve alt ve üst akma noktaları arasındaki fark hesap edilmeli. Keza bobin açma prosesi de kontrol edilmelidir.

Yapışma ve gölge çizikleri ile karıştırılabilir. Görünmeyen yüzeylerde kullanılabilirler.

5.1.5.15 Gölge

Gölgeli kısımlar kesilmiş kırıklardır ve temperleme esnasında görülmezler .Derin çekme sırasında iyi görülebilirler.

Kesilmiş kırıklar oluşunca malzeme çalışma sertleşmesine maruz kalır. Eğer daha fazla deformasyon bölgesi kırıklara, uygulanırsa yada temperleme sırasında kesilmiş kırıklar bölgesinde çalışma sertleşmesi olur. Proses sırasında bu bölge deformasyona karşı yüksek direnç gösterir ve sonuçta gözle görülebilir şekle gelir.

Gölgeli kısımlar kesilmiş kırıklara zıttır ve şerit veya levhada görünmezler .Genellikle etrafındaki malzemeye göre daha fazla sertlik gösterir.

5.1.5.16 Yapışma Kırıkları

Yapışma kırıkları yapışmadan dolayı mekanik hasarlanmadır.

Yapışma kırıkları tavlamadan sonra görülen yapışmalardan dolayı bobinin açılması sırasında görülür. Yapışmaların nedenleri genellikle tavlamadan önce eksantrik olarak bobinin sarılması nedeniyle bobin gergisinin çok yüksek olmasındandır. Bobin açmanın hızını yükseltmekle bu hatalar azaltılabilir.

Metalografik veya mekanik testler gerekmele birlikte yapı incelenerek tav sıcaklığının ne kadar geçildiği ve karbür olmaları araştırılır. Kesişen kırıklar ile karıştırılabilir.

5.1.5.17 Rulo Kırıkları

Rulo kırıkları şerit eğildiğinde haddeleme yönüne dik olarak meydana gelirler.

Rulo kırığı şeridin eğilmesi ile olur. Az yada çok düzenli aralıklardadır. Rulo kırığının sebebi gergi gerilme diyagramındaki akma noktası uzamasıdır. Bu yüzden malzeme eğildiğinde akma noktası bölgesinde gerilme olur ve düzgün deformasyon yerine kırılma olur. Temperleme yeterli değilse yüksek akma noktası uzamasıyla ilgili akma noktasının geçilmesiyle olur. Gerilme çizgilerine yapılan testler bunun içinde yapılır. Çok net bir şekilde tespit edilebilir ve diğer hatalar ile karıştırılması mümkün değildir.

5.1.5.18 Portakallanma

Bu hatalar imalat sırasında (derin çekme) yüzeyde kaba taneler bulunursa olur.

Portakal kabuğu şeklindeki yüzey hataları daha tanesi yapının deformasyonu ile olur. Kaba taneli yapı deformasyondan sonraki yeniden kristalleşme yırtık bölgedeyse veya tav sıcaklığı yüksekse olur. Kaba taneli yapı kısa sıcak haddelenmiş şeritlerde görülür. Haddelenmiş şeritte anlaşılmadığından Cupping testi ile anlaşılır.

Bazen gerilme çizikleri ile karıştırılabilir.

5.1.5.19 Pas

Pas yüzeyde tabaka olarak yapışmış bir korozyon ürünüdür. Pas kırmızısı sarı renkten siyah lekeler kadar çeşitli şekillerdedir. Pas sıcaklık dalgalanmaları ,yüksek nem miktarı olan atmosfer veuzun süre depolanma nedenleriyle olur. Pasın tehlikesi, inkilüzyonların artması kirli partiküller ve asit artıkları ile artar. Çıplak gözle tanınabilir.

5.1.6 Çekme Testi

Çekme testi malzemelerin mekanik özellikleri hakkında fikir sahibi olmak için en yaygın metoddur. İki avantajı vardır: Birincisi, basitliği ve kolayca otomatize edilebilmesidir. İkincisi ise detaylı ve dikkatli analiz ile yükleme uzama eğrilerinin bilgi zenginliği sağlamasıdır.

Basit ilkesi gitgide artan boyuna uzama yaratacak yükleme ile uzun ince sample çekilmesidir. Bu yükleme kopana dek devam ettirilir. Örnek düz silindirik ya da prizmatik olabilir. Fakat sonları geniş tutulmalıdır ki makinanın gripleri tarafından tutulabilsin.

Gerekli yüklemenin değişkenliğine oranla parçanın uzaması test boyunca ölçülür. Bu yükleme karakteristiği malzemenin tek-boyutsal deformasyona direncini karakterize eder. Bu ölçülmüş yükleme örneklerin uzamasının bir fonksiyonu olarak temel gerilim eğrisini sağlayacak şekilde kaydedilir.

5.1.6.1 Çekme Testi Sonuçlarının Konvensiyonel Mühendislik Analizi

Çekme testi sonuçlarının alışlagelen yöntemi bağıl nominal gerilmeyi tespit etme ya da yüzde uzama e'yi, yükleme yönüne paralel başlangıç başlangıç gage genişliğinde ve Nominal stres ile bulunmasıdır, anlık yükleme ya da kuvvetin başlangıç örneklem çapraz bölümsel alanı A_0 bölünmesi ile elde edilir.

$$E(\%)= 100(L-L_0)/L_0 \quad (5.3)$$

Bu ilgili malzemenin çekme özelliklerinin konvansiyonel, nominal ve mühendislik kısımlarını üretir. Avrupa EN standartları NF EN 10021'de tarif edilmiştir ve şekilde şematik belirtilmiştir.

Testin başında, hızlı bir doğru yüklemeye uzamanın olduğu gözlemlenir. Elastik bölgeye göre, deformasyonun tersinir olduğu Hooke'un kanununa göre oransal yüklemeye. Bu bölge toplam uzamanın sadece yüzde birin birkaç (0,001-2) ondalığına tekabül eder.

Elastik bölgenin sonunda artık deformasyon tersinemez hale gelir ve eğri parabolik bir görünüm almaya başlar. Boyun verme noktasında maksimum noktaya ulaşır. Bu uzamanın ötesinde deformasyon artık uniform değildir ve örneklerin gage genişliğinin belirli bir bölgenin üzerinde yoğunlaşır. Lokal çapraz bölgede hızlı bir düşüş yüklemeye düşüşe yol açar, örneklem boyunun kökünde kopar.

Konvansiyonel paratetreler gerilme davranışlarını karakterize etmek için kullanılır:

- Akma noktası (YS), akma gerilmesi ya da akma mukavemeti, (birim bölgeye oranla yükleme), elastik ve plastik bölgeyi ayıran noktadır (Nokta A, Şekil 2)
- Çekme gerilimi ya da kuvveti (UTS) birim alana düşen maksimum yüke bağlı Şekil 2, Point B. YS ve UTS malzemenin mekanik mukavemetini karakterize ederler.
- EF, Hata uzamasıdır.
- EU, maksimum yükteki uzamadır. (Uniform Uzama)

%RA = Yüzde alan daralması.

$$\%RA = 100 (A_0 - A_f) / A_0 \quad (5.3)$$

EF, EU ve RA malzeme sünekliliğini karakterize ederler.

Tecrübeler akma noktasının oluşumundan sonra oluşan yük dalgalanmalarına bağlı olarak bizi iki ana tip stress-strain diyagramlarına götürürler. Bu dalgalanma meydana geldiği zaman genellikle sert bir yükseliş ve ani düşüşler gözlenir. Bu maksimum üst akma noktası diğer minimuma düşüş ise alt akma noktası olarak değerlendirilirler. Alt akma noktasında oluşan gerilim akma noktası uzaması ya da Lüders gerilimi olarak adlandırılır. Üst akma noktası test parametreleri ve makina karakteristiklerinin yanı sıra, test parçası formuna ve onun yüzey koşullarına bağlıdır. Bu nedenle belirli miktarda dalgalanma gösterir ve sadece görünen akma noktası olarak rutin testlerde kullanılırlar. Alt akma noktası ise numunenin boyutsal

hatalarından daha az etkilenir fakat dalgalanma numunedeki akmanın uniform olmamasından ve Lüder bantlarının gelişmesinden ötürü yataydır. Bu prensip olarak test numunesinin boyutsal hatalarından ve çok fazlılık ve ısıt işlem görmüş çeliklerdeki mikroskobik kalıntı streslerden ötürüdür. Bu nedenle konvensiyonal akma gerilimi veya proof stress (PS) bize daha hassas ölçülebilirlik kalıcı gerilimi verir. En çok kullanılan değer %0.2 plastic strain veya %0.2 PS olarak değerleridir.



6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada 30 adet St22, 30 adet St23 ve St24 olmak üzere 90 adet bobinin baş veya sonlarından 20 m uzaktan ve bobin ortasından numune alınarak kimyasal ve mekanik testleri (çekme mukavemeti, akma mukavemeti, kopma uzaması) yapılmıştır. Ayrıca bu bobinlerden alınan numunelerin işlemlerinden önce ve sonra metalografik incelemeleri yapılmıştır. Daha sonra da seçilen bu deney malzemelerine asitle temizleme, soğuk haddelme, tavlama ve temperleme işlemi yapılmış, sıcak bobin kaliteleri St22'den soğuk haddelenmiş bobin kalitesi St12'ye, St23'den St13'e, St24'ten de St14'e dönüşmüştür. Tüm bu işlemlerden sonra da mekanik testler, düzlemsellik ve yüzey kontrolleri tekrarlanmıştır.

6.1 Kimyasal Analizler

Bu malzemelerin kimyasal testleri bobinlerin baş veya sonlarından 20 m uzaktan ve bobin ortasından alınarak yapılmıştır. Analizler yapılırken ARL 3460 Metal Analiz marka spektrometre kullanılmıştır. Çizelge 6.1'de deneyde kullanılan St22 malzemelerinin kimyasal analiz test sonuçları verilmiştir.

Deneyde 30 adet St22 malzeme test edilmiş olup aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur.

Çizelge 6.1 Deneyde kullanılan St22 malzemelerinin kimyasal analizi

Malzeme giriş kalitesi	Döküm no	Bobin no	Kalınlık (giriş) mm	Kimyasal değerler																
				%C	%Si	%S	%P	%Mn	%Al	%Ni	%Cr	%Mo	%V	%Cu	%Ti	%B	%Nb	%Ca	%N	%Fe
ST22	22643	A1	2,50	0,033	0,013	0,007	0,007	0,161	0,081	0,007	0,011	0,002	0,000	0,019	0,001	0,000	0,000	0,000	0,002	99,655
ST22	32318	A2	2,50	0,044	0,016	0,013	0,018	0,287	0,067	0,008	0,009	0,003	0,001	0,026	0,001	0,000	0,002	0,000	0,001	99,507
ST22	34009	A3	2,66	0,042	0,014	0,010	0,007	0,287	0,057	0,024	0,008	0,002	0,000	0,018	0,001	0,000	0,000	0,000	0,008	99,523
ST22	32318	A4	2,50	0,044	0,016	0,013	0,018	0,287	0,067	0,008	0,009	0,003	0,001	0,026	0,001	0,000	0,002	0,000	0,001	99,507
ST22	12101	A5	3,00	0,030	0,012	0,017	0,009	0,244	0,060	0,022	0,017	0,004	0,000	0,044	0,000	0,000	0,001	0,000	0,003	99,537
ST22	47410	A6	3,00	0,039	0,017	0,014	0,007	0,246	0,060	0,020	0,020	0,004	0,000	0,031	0,001	0,000	0,001	0,000	0,003	99,537
ST22	25041	A7	3,40	0,053	0,020	0,012	0,012	0,276	0,049	0,012	0,011	0,002	0,000	0,012	0,000	0,000	0,001	0,000	0,005	99,536
ST22	12601	A8	2,20	0,049	0,021	0,009	0,006	0,268	0,054	0,009	0,010	0,004	0,001	0,025	0,001	0,000	0,001	0,000	0,003	99,541
ST22	50610	A9	2,20	0,32	0,012	0,017	0,007	0,250	0,058	0,014	0,014	0,004	0,001	0,022	0,001	0,000	0,001	0,000	0,002	99,565
ST22	95510	A10	2,50	0,40	0,015	0,17	0,009	0,246	0,083	0,025	0,023	0,003	0,000	0,039	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	99,498
ST22	1201	A11	3,00	0,030	0,012	0,017	0,009	0,244	0,060	0,022	0,017	0,004	0,000	0,044	0,000	0,000	0,001	0,000	0,003	99,537
ST22	24810	A12	2,66	0,040	0,020	0,013	0,009	0,264	0,049	0,024	0,016	0,005	0,000	0,044	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006	99,521
ST22	30019	A13	3,40	0,046	0,011	0,012	0,010	0,292	0,054	0,009	0,011	0,003	0,000	0,021	0,000	0,000	0,001	0,000	0,004	99,524
ST22	30019	A14	3,40	0,046	0,011	0,012	0,010	0,292	0,054	0,009	0,011	0,003	0,000	0,021	0,000	0,000	0,001	0,000	0,004	99,524
ST22	45610	A15	2,80	0,032	0,011	0,019	0,009	0,254	0,071	0,013	0,014	0,003	0,000	0,025	0,000	0,000	0,001	0,000	0,002	99,546
ST22	47410	A16	3,00	0,039	0,017	0,014	0,007	0,246	0,060	0,020	0,020	0,004	0,000	0,031	0,001	0,000	0,001	0,000	0,003	99,537
ST22	12601	A17	2,20	0,049	0,021	0,009	0,006	0,268	0,054	0,009	0,10	0,004	0,001	0,025	0,001	0,000	0,001	0,000	0,003	99,541
ST22	46010	A18	2,80	0,025	0,011	0,010	0,015	0,231	0,052	0,014	0,014	0,003	0,000	0,032	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	99,590
ST22	27210	A19	2,80	0,033	0,010	0,014	0,013	0,248	0,055	0,018	0,020	0,003	0,000	0,027	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	99,555
ST22	25010	A20	2,80	0,039	0,017	0,013	0,006	0,272	0,066	0,020	0,014	0,004	0,000	0,039	0,000	0,000	0,001	0,000	0,004	99,506
ST22	34009	A21	2,66	0,042	0,014	0,010	0,007	0,287	0,057	0,024	0,008	0,002	0,000	0,018	0,001	0,000	0,000	0,000	0,008	99,523
ST22	24910	A22	2,80	0,034	0,019	0,014	0,009	0,239	0,044	0,012	0,009	0,003	0,000	0,016	0,000	0,000	0,001	0,000	0,005	99,596
ST22	16251	A23	2,30	0,037	0,008	0,007	0,006	0,198	0,062	0,027	0,010	0,003	0,001	0,021	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	99,617
ST22	11812	A24	2,66	0,041	0,014	0,006	0,008	0,267	0,058	0,012	0,011	0,002	0,000	0,023	0,000	0,000	0,001	0,000	0,005	99,553
ST22	24910	A25	2,80	0,034	0,019	0,014	0,009	0,239	0,044	0,012	0,009	0,003	0,000	0,016	0,000	0,000	0,001	0,000	0,005	99,596
ST22	12479	A26	2,66	0,043	0,017	0,008	0,008	0,260	0,053	0,009	0,013	0,003	0,000	0,027	0,000	0,000	0,001	0,000	0,005	99,552
ST22	25010	A27	2,80	0,039	0,017	0,013	0,006	0,272	0,066	0,020	0,014	0,004	0,000	0,039	0,000	0,000	0,001	0,000	0,004	99,506
ST22	16251	A28	2,30	0,037	0,008	0,007	0,006	0,198	0,062	0,027	0,010	0,003	0,001	0,021	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	99,617
ST22	47410	A29	3,00	0,039	0,017	0,014	0,007	0,246	0,060	0,020	0,020	0,004	0,000	0,031	0,001	0,000	0,001	0,000	0,003	99,537
ST22	25010	A30	2,80	0,039	0,017	0,013	0,006	0,272	0,066	0,020	0,014	0,004	0,000	0,039	0,000	0,000	0,001	0,000	0,004	99,506

Çizelge 6.2’de deneyde kullanılan St23 malzemelerinin kimyasal analiz test sonuçları verilmiştir. Deneyde 30 adet St23 malzeme test edilmiş olup aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur.

Çizelge 6.2 Deneyde kullanılan St23 malzemelerinin kimyasal analizi

Malzeme giriş kalitesi	Döküm no	Bobin no	Kalınlık (giriş) mm	Kimyasal değerler																
				%C	%Si	%S	%P	%Mn	%Al	%Ni	%Cr	%Mo	%V	%Cu	%Ti	%B	%Nb	%Ca	%N	%Fe
ST23	23755	B1	3,00	0,033	0,019	0,011	0,009	0,249	0,066	0,024	0,012	0,003	0,001	0,016	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	99,558
ST23	23755	B2	3,00	0,033	0,019	0,011	0,009	0,249	0,066	0,024	0,012	0,003	0,001	0,016	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	99,558
ST23	13888	B3	3,00	0,041	0,014	0,009	0,010	0,245	0,053	0,024	0,012	0,003	0,001	0,015	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	99,570
ST23	23757	B4	3,00	0,053	0,014	0,009	0,008	0,245	0,049	0,026	0,013	0,003	0,001	0,020	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	99,557
ST23	23756	B5	3,00	0,034	0,015	0,009	0,010	0,248	0,060	0,023	0,012	0,003	0,001	0,015	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	99,570
ST23	23757	B6	3,00	0,053	0,014	0,009	0,008	0,245	0,049	0,026	0,013	0,003	0,001	0,020	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	99,557
ST23	23757	B7	3,00	0,053	0,014	0,009	0,008	0,245	0,049	0,026	0,013	0,003	0,001	0,020	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	99,557
ST23	23755	B8	3,00	0,033	0,019	0,011	0,009	0,249	0,066	0,024	0,012	0,003	0,001	0,016	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	99,558
ST23	33722	B9	3,00	0,033	0,014	0,015	0,010	0,220	0,056	0,024	0,012	0,002	0,001	0,015	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	99,599
ST23	23757	B10	3,00	0,053	0,014	0,009	0,008	0,245	0,049	0,026	0,013	0,003	0,001	0,020	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	99,557
ST23	23756	B11	3,00	0,034	0,015	0,009	0,010	0,248	0,060	0,023	0,012	0,003	0,001	0,015	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	99,570
ST23	23755	B12	3,00	0,033	0,019	0,011	0,009	0,249	0,066	0,024	0,012	0,003	0,001	0,016	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	99,558
ST23	23755	B13	3,00	0,033	0,019	0,011	0,009	0,249	0,066	0,024	0,012	0,003	0,001	0,016	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	99,558
ST23	33722	B14	3,00	0,033	0,014	0,015	0,010	0,220	0,056	0,024	0,012	0,002	0,001	0,015	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	99,599
ST23	33722	B15	3,00	0,033	0,014	0,015	0,010	0,220	0,056	0,024	0,012	0,002	0,001	0,015	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	99,599
ST23	23755	B16	3,00	0,033	0,019	0,011	0,009	0,249	0,066	0,024	0,012	0,003	0,001	0,016	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	99,558
ST23	33722	B17	3,00	0,033	0,014	0,015	0,010	0,220	0,056	0,024	0,012	0,002	0,001	0,015	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	99,599
ST23	23757	B18	3,00	0,053	0,014	0,009	0,008	0,245	0,049	0,026	0,013	0,003	0,001	0,020	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	99,557
ST23	33722	B19	3,00	0,033	0,014	0,015	0,010	0,220	0,056	0,024	0,012	0,002	0,001	0,015	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	99,599
ST23	23756	B20	3,00	0,034	0,015	0,009	0,010	0,248	0,060	0,023	0,012	0,003	0,001	0,015	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	99,570
ST23	33722	B21	3,00	0,033	0,014	0,015	0,010	0,220	0,056	0,024	0,012	0,002	0,001	0,015	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	99,599
ST23	13888	B22	3,00	0,041	0,014	0,009	0,010	0,245	0,053	0,024	0,012	0,003	0,001	0,015	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	99,570
ST23	23757	B23	3,00	0,053	0,014	0,009	0,008	0,145	0,049	0,026	0,013	0,003	0,001	0,020	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	99,557
ST23	23755	B24	3,00	0,033	0,019	0,011	0,009	0,249	0,066	0,024	0,012	0,003	0,001	0,016	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	99,558
ST23	23756	B25	3,00	0,034	0,015	0,009	0,010	0,248	0,060	0,023	0,012	0,003	0,001	0,015	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	99,570
ST23	23756	B26	3,00	0,034	0,015	0,009	0,010	0,248	0,060	0,023	0,012	0,003	0,001	0,015	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	99,570
ST23	23756	B27	3,00	0,034	0,015	0,009	0,010	0,248	0,060	0,023	0,012	0,003	0,001	0,015	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	99,570
ST23	23756	B28	3,00	0,034	0,015	0,009	0,010	0,248	0,060	0,023	0,012	0,003	0,001	0,015	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	99,570
ST23	23756	B29	3,00	0,034	0,015	0,009	0,010	0,248	0,060	0,023	0,012	0,003	0,001	0,015	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	99,570
ST23	33722	B30	3,00	0,033	0,014	0,015	0,010	0,220	0,056	0,024	0,012	0,002	0,001	0,015	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	99,599

Çizelge 6.3’de deneyde kullanılan St24 malzemelerinin kimyasal analiz test sonuçları verilmiştir. Deneyde 30 adet St24 malzeme test edilmiş olup aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur

Çizelge 6.3 Deneyde kullanılan st24 malzemelerinin kimyasal analizi

Malzeme giriş kalitesi	Döküm no	Bobin no	Kalınlık (giriş) mm	Kimyasal değerler																
				%C	%Si	%S	%P	%Mn	%Al	%Ni	%Cr	%Mo	%V	%Cu	%Ti	%B	%Nb	%Ca	%N	%Fe
ST24	37011	C1	2,30	0,034	0,011	0,011	0,008	0,191	0,061	0,010	0,010	0,001	0,003	0,018	0,000	0,000	0,001	0,000	0,009	99,635
ST24	37011	C2	2,30	0,034	0,011	0,011	0,008	0,191	0,061	0,010	0,010	0,001	0,003	0,018	0,000	0,000	0,001	0,000	0,009	99,635
ST24	37011	C3	2,30	0,034	0,011	0,011	0,008	0,191	0,061	0,010	0,010	0,001	0,003	0,018	0,000	0,000	0,001	0,000	0,009	99,635
ST24	37011	C4	2,30	0,034	0,011	0,011	0,008	0,191	0,061	0,010	0,010	0,001	0,003	0,018	0,000	0,000	0,001	0,000	0,009	99,635
ST24	37011	C5	2,30	0,034	0,011	0,011	0,008	0,191	0,061	0,010	0,010	0,001	0,003	0,018	0,000	0,000	0,001	0,000	0,009	99,635
ST24	26193	C6	2,00	0,032	0,012	0,008	0,008	0,203	0,057	0,022	0,010	0,003	0,001	0,020	0,001	0,000	0,001	0,000	0,004	99,619
ST24	26193	C7	2,00	0,032	0,012	0,008	0,008	0,203	0,057	0,022	0,010	0,003	0,001	0,020	0,001	0,000	0,001	0,000	0,004	99,619
ST24	26193	C8	2,00	0,032	0,012	0,008	0,008	0,203	0,057	0,022	0,010	0,003	0,001	0,020	0,001	0,000	0,001	0,000	0,004	99,619
ST24	37011	C9	2,30	0,034	0,011	0,011	0,008	0,191	0,061	0,010	0,010	0,001	0,000	0,018	0,000	0,000	0,001	0,000	0,009	99,635
ST24	26193	C10	2,00	0,032	0,012	0,008	0,008	0,203	0,057	0,022	0,010	0,003	0,001	0,020	0,001	0,000	0,001	0,000	0,004	99,619
ST24	26195	C11	2,00	0,043	0,015	0,010	0,009	0,174	0,054	0,023	0,009	0,003	0,001	0,021	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	99,637
ST24	26195	C12	2,00	0,043	0,015	0,010	0,009	0,174	0,054	0,023	0,009	0,003	0,001	0,021	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	99,637
ST24	26193	C13	2,00	0,032	0,012	0,008	0,008	0,203	0,057	0,022	0,010	0,003	0,001	0,020	0,001	0,000	0,001	0,000	0,004	99,619
ST24	37011	C14	2,30	0,034	0,011	0,011	0,008	0,191	0,061	0,010	0,010	0,001	0,000	0,018	0,000	0,000	0,001	0,000	0,004	99,635
ST24	26195	C15	2,00	0,043	0,015	0,010	0,009	0,174	0,054	0,023	0,009	0,003	0,001	0,021	0,000	0,000	0,000	0,000	0,009	99,637
ST24	26193	C16	2,00	0,032	0,012	0,008	0,008	0,203	0,057	0,022	0,010	0,003	0,001	0,020	0,001	0,000	0,001	0,000	0,003	99,619
ST24	23637	C17	2,10	0,031	0,012	0,010	0,010	0,169	0,058	0,024	0,011	0,003	0,001	0,018	0,001	0,000	0,001	0,000	0,004	99,652
ST24	23637	C18	2,10	0,031	0,012	0,010	0,010	0,169	0,058	0,024	0,011	0,003	0,001	0,018	0,001	0,000	0,001	0,000	0,002	99,652
ST24	23637	C19	2,10	0,031	0,012	0,010	0,010	0,169	0,058	0,024	0,011	0,003	0,001	0,018	0,001	0,000	0,001	0,000	0,002	99,652
ST24	32296	C20	3,00	0,038	0,022	0,011	0,008	0,208	0,045	0,013	0,012	0,004	0,001	0,032	0,000	0,000	0,001	0,000	0,007	99,598
ST24	22412	C21	2,50	0,030	0,019	0,011	0,008	0,188	0,047	0,011	0,009	0,004	0,001	0,033	0,001	0,000	0,001	0,000	0,003	99,637
ST24	32296	C22	3,00	0,038	0,022	0,011	0,008	0,208	0,045	0,013	0,012	0,004	0,001	0,032	0,000	0,000	0,001	0,000	0,007	99,598
ST24	22411	C23	2,20	0,031	0,021	0,011	0,011	0,178	0,061	0,014	0,015	0,004	0,000	0,041	0,001	0,000	0,001	0,000	0,005	99,608
ST24	23637	C24	2,10	0,031	0,012	0,010	0,010	0,169	0,058	0,024	0,011	0,003	0,001	0,018	0,001	0,000	0,001	0,000	0,002	99,652
ST24	32296	C25	3,00	0,038	0,022	0,011	0,008	0,208	0,045	0,013	0,012	0,004	0,001	0,032	0,003	0,000	0,001	0,000	0,007	99,598
ST24	32297	C26	3,00	0,040	0,020	0,008	0,006	0,215	0,050	0,012	0,008	0,002	0,000	0,031	0,003	0,000	0,000	0,000	0,004	99,603
ST24	22412	C27	2,50	0,030	0,019	0,011	0,008	0,188	0,047	0,011	0,009	0,004	0,001	0,033	0,001	0,000	0,001	0,000	0,003	99,637
ST24	22411	C28	2,20	0,031	0,021	0,011	0,011	0,178	0,061	0,014	0,015	0,004	0,000	0,041	0,001	0,000	0,001	0,000	0,005	99,608
ST24	22411	C29	2,20	0,031	0,021	0,011	0,011	0,178	0,061	0,014	0,015	0,004	0,000	0,041	0,001	0,000	0,001	0,000	0,005	99,608
ST24	22411	C30	2,20	0,031	0,021	0,011	0,011	0,178	0,061	0,014	0,015	0,004	0,000	0,041	0,001	0,000	0,001	0,000	0,005	99,608

6.2 Mekanik Testleri, Düzlemsellik Ve Yüzey Özellikleri

Bu malzemelerin mekanik testleri bobinlerin baş veya sonlarından 20 m uzaktan ve bobin ortasından alınarak yapılmıştır. Analizler yapılırken Zwick 1476 marka test cihazı çekme test cihazı kullanılmıştır. Çizelge 6.4’de deneyde kullanılan St22 malzemelerinin mekanik test sonuçları verilmiştir.

Deneyde 30 adet St22 malzeme test edilmiş olup aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur.

Giren St22 30 adet bobinin %30 oranında hata tespit edilmiştir. Tespit edilen %30'luk bölümün %10'unu düzlemsellik %20'sini ise yüzey hataları oluşturmuştur.

Çizelge 6.4 Deneyde kullanılan St22 malzemelerinin mekanik test analizi

Malzeme Giriş Kalitesi	Döküm No	Bobin No	Kalınlık (Giriş) mm	Girdi Mekanik Özellikleri			Yüzey Hataları	Dalga (Ondülasyon)
				Re	Vm	A %		
ST22	22643	A1	2,50	245	350	28	Tufal + Kabuk	
ST22	32318	A2	2,50	248	324	30		
ST22	34009	A3	2,66	246	385	32	Tufal Delik	
ST22	32318	A4	2,50	250	400	26		
ST22	12101	A5	3,00	251	415	24		Kenar Dalgalı (24 mm)
ST22	47410	A6	3,00	245	410	25		
ST22	25041	A7	3,40	246	415	27		
ST22	12601	A8	2,20	231	415	26	Tufal	
ST22	50610	A9	2,20	211	418	25	Tufal	
ST22	95510	A10	2,50	222	418	28		
ST22	1201	A11	3,00	225	425	29		Kenar Dalgalı (21 mm)
ST22	24810	A12	2,66	226	425	31		
ST22	30019	A13	3,40	223	415	40	Tufal + Teleskop	
ST22	30019	A14	3,40	280	428	24		
ST22	45610	A15	2,80	281	416	23		
ST22	47410	A16	3,00	265	420	25		
ST22	12601	A17	2,20	266	410	26		
ST22	46010	A18	2,80	263	415	27		
ST22	27210	A19	2,80	263	405	26		
ST22	25010	A20	2,80	234	398	27		
ST22	34009	A21	2,66	230	399	28	Tufal + İç çap mandren hasarlanması	
ST22	24910	A22	2,80	238	385	26		
ST22	16251	A23	2,30	245	365	29		
ST22	11812	A24	2,66	265	390	30		
ST22	24910	A25	2,80	275	399	31		
ST22	12479	A26	2,66	285	385	27		Kenar Dalgalı (28 mm) + Aşırı Göbek Dalgası (17 mm)
ST22	25010	A27	2,80	283	379	26		
ST22	16251	A28	2,30	286	378	27		
ST22	47410	A29	3,00	281	374	25		
ST22	25010	A30	2,80	264	405	23		

Çizelge 6.5’de deneyde kullanılan St23 malzemelerinin mekanik test sonuçları verilmiştir.

Deneyde 30 adet St23 malzeme test edilmiş olup aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur.

Çizelge 6.5 Deneyde kullanılan St23 malzemelerinin mekanik test analizi

Malzeme Giriş Kalitesi	Döküm No	Bobin No	Kahnlık (Giriş) mm	Girdi Mekanik Özellikleri			Yüzey Hataları	Dalga (Ondülasyon)
				Re	Vm	A %		
ST23	23755	B1	3,00	198	385	29	Pas	
ST23	23755	B2	3,00	201	386	30		
ST23	13888	B3	3,00	208	387	32		
ST23	23757	B4	3,00	206	356	30		
ST23	23756	B5	3,00	207	365	31		
ST23	23757	B6	3,00	209	364	30	Tufal	
ST23	23757	B7	3,00	210	363	33		
ST23	23755	B8	3,00	215	362	34		
ST23	33722	B9	3,00	214	361	32		
ST23	23757	B10	3,00	213	360	36		
ST23	23756	B11	3,00	199	365	35		Kenar Dalgası (21 mm)
ST23	23755	B12	3,00	198	356	34		
ST23	23755	B13	3,00	195	358	33	Tufal + Kabuk	Göbek Dalgası (18 mm)
ST23	33722	B14	3,00	196	356	32		
ST23	33722	B15	3,00	199	354	31		
ST23	23755	B16	3,00	198	321	30		
ST23	33722	B17	3,00	197	328	38	Pas	
ST23	23757	B18	3,00	210	326	35		
ST23	33722	B19	3,00	213	324	36		
ST23	23756	B20	3,00	211	323	33	Kabuk + Yağlama heterojen	
ST23	33722	B21	3,00	212	320	33		
ST23	13888	B22	3,00	222	328	32		
ST23	23757	B23	3,00	223	356	36	Delik	
ST23	23755	B24	3,00	223	345	32		
ST23	23756	B25	3,00	226	356	31		
ST23	23756	B26	3,00	221	365	30	Sıcak hadde yaraları	
ST23	23756	B27	3,00	218	388	29		
ST23	23756	B28	3,00	215	387	28		
ST23	23756	B29	3,00	216	386	29		
ST23	33722	B30	3,00	213	354	27	Kabuk	

Çizelge 6.6'da deneyde kullanılan St24 malzemelerinin mekanik test sonuçları verilmiştir.

Deneyde 30 adet St24 malzeme test edilmiş olup aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur.

Giren St24 30 adet bobinin %37 oranında hata tespit edilmiştir. Tespit edilen %37'lik bölümün %17'sini düzlemsellik %20'sini ise yüzey hataları oluşturmuştur.

Çizelge 6.6 Deneyde kullanılan St24 malzemelerinin mekanik test analizi

Malzeme Giriş Kalitesi	Döküm No	Bobin No	Kalınlık (Giriş) mm	Girdi Mekanik Özellikleri			Yüzey Hataları	Dalga (Ondülasyon)
				Re	Vm	A %		
ST24	37011	C1	2,30	188	320	31		
ST24	37011	C2	2,30	190	321	32		
ST24	37011	C3	2,30	189	365	34	Kabuk	Aşırı Kenar Dalgası (25 mm)
ST24	37011	C4	2,30	191	348	33		
ST24	37011	C5	2,30	196	358	30		
ST24	26193	C6	2,00	198	357	29	Tufal + Teleskop	
ST24	26193	C7	2,00	189	364	33		
ST24	26193	C8	2,00	187	362	34		
ST24	37011	C9	2,30	190	321	36		
ST24	26193	C10	2,00	191	313	32		Aşırı Kenar Dalgası (30 mm)
ST24	26195	C11	2,00	201	346	31		
ST24	26195	C12	2,00	202	325	30		
ST24	26193	C13	2,00	203	324	34		Göbek Dalgası (18 mm)
ST24	37011	C14	2,30	204	323	33	Delik	
ST24	26195	C15	2,00	204	328	37		
ST24	26193	C16	2,00	213	329	36	Tufal İzi	
ST24	23637	C17	2,10	198	327	34		
ST24	23637	C18	2,10	197	326	32	Pas	
ST24	23637	C19	2,10	195	327	31		
ST24	32296	C20	3,00	194	328	33		
ST24	22412	C21	2,50	193	325	36		Aşırı Göbek Dalgası (15 mm)
ST24	32296	C22	3,00	197	324	32		
ST24	22411	C23	2,20	195	324	31		Aşırı Kenar Dalgası (32 mm)
ST24	23637	C24	2,10	194	333	34	Tufal İzi	
ST24	32296	C25	3,00	193	323	34		
ST24	32297	C26	3,00	192	332	38	Tufal + Kabuk	
ST24	22412	C27	2,50	187	334	31		Aşırı Kenar Dalgası (27 mm)
ST24	22411	C28	2,20	188	333	33		
ST24	22411	C29	2,20	176	345	34		
ST24	22411	C30	2,20	173	346	36		

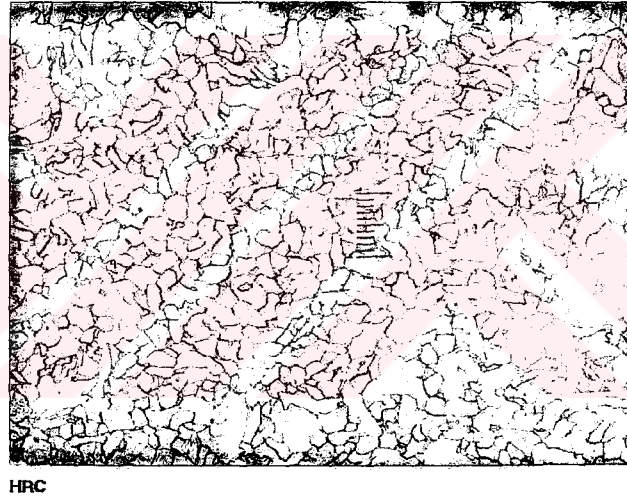
6.3 Metalografik İnceleme

Her kaliteden (St22-St23-St24) 5'er adet bobinden 3'er adet numune alınarak olympus marka ışık metal mikroskopunda 200x büyütmeyle incelenmiştir. Alınan resimler aşağıda verilmiştir.

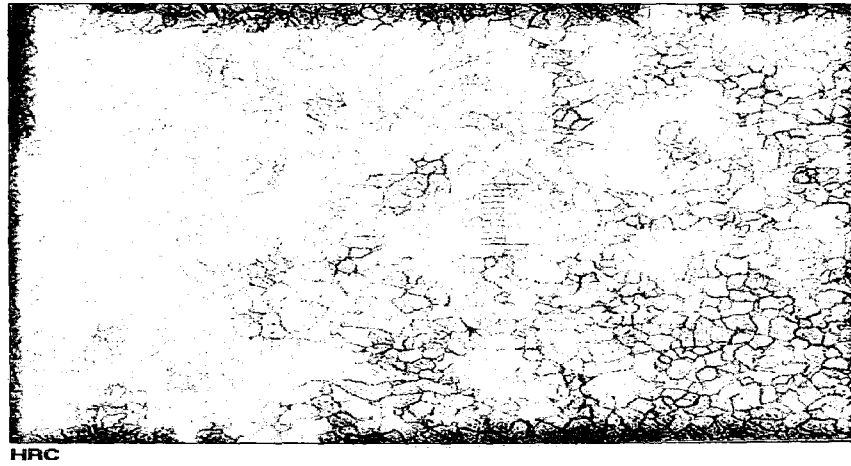
Değerlendirme sonuç kısmında yapılacaktır.



Şekil 6.1 St 22 sıcak haddelenmiş hammaddenin metalografik yapısı



Şekil 6.2 St23 sıcak haddelenmiş hammaddenin metalografik yapısı



Şekil 6.3 St24 sıcak haddelenmiş hammaddenin metalografik yapısı

6.4 Hedef Müşteri Grupları Belirlenmesi

Deneyler sırasında St22-St23-St24 malzemelerin hedef müşteriler Çizelge 6.7, Çizelge 6.8 ve Çizelge 6.9'da belirtildiği şekilde gruplandırılmıştır.

Çizelge 6.7 St 22 malzemelerin hedef müşteri grupları.

Deneyler başlanırken seçilen Kalite gruplarının hedef müşteri grupları aşağıda belirtildiği şekilde sınıflandırılmıştır.

Malzeme Girit Kalitesi	Bobin No	Malzeme Çıkış Kalitesi	Girit Kalınlık (HCR)	Girit Genişlik (HCR)	Çıkış Kalınlık (CR)	Çıkış Genişlik (CR)	Redüksiyon %	Müşteri Grupları
ST22	A1	ST12	2,50	1515	1,20	1515	52	Genel Endüstri
ST22	A2	ST12	2,50			1450	68	Beyaz Eşya
ST22	A3	ST12	2,66	1020	0,80	1020	70	Beyaz Eşya
ST22	A4	ST12	2,50	1450	0,80	1450	68	Beyaz Eşya
ST22	A5	ST12	3,00	930	1,45	930	52	Genel Endüstri
ST22	A6	ST12	3,00	930	1,45	930	52	Genel Endüstri
ST22	A7	ST12	3,40	1265	1,50	1265	56	Genel Endüstri
ST22	A8	ST12	2,20	1235	0,80	1235	64	Beyaz Eşya
ST22	A9	ST12	2,20	965	0,60	965	73	Beyaz Eşya
ST22	A10	ST12	2,50	930	0,80	930	68	Beyaz Eşya
ST22	A11	ST12	3,00	930	1,45	930	52	Genel Endüstri
ST22	A12	ST12	2,66	930	0,80	930	70	Beyaz Eşya
ST22	A13	ST12	3,40	1515	1,50	1515	56	Genel Endüstri
ST22	A14	ST12	3,40	1515	1,50	1515	56	Genel Endüstri
ST22	A15	ST12	2,80	1235	1,17	1235	59	Otomotiv
ST22	A16	ST12	3,00	930	1,45	930	52	Genel Endüstri
ST22	A17	ST12	2,20	1235	0,50	1235	77	Otomotiv
ST22	A18	ST12	2,80	1235	1,00	1235	64	Otomotiv
ST22	A19	ST12	2,80	1235	1,00	1235	64	Otomotiv
ST22	A20	ST12	2,80	1020	1,00	1020	64	Otomotiv
ST22	A21	ST12	2,66	1235	0,80	1235	70	Otomotiv
ST22	A22	ST12	2,80	1265	1,00	1265	64	Otomotiv
ST22	A23	ST12	2,30	930	0,60	930	74	Beyaz Eşya
ST22	A24	ST12	2,66	1235	0,70	1235	74	Beyaz Eşya
ST22	A25	ST12	2,80	1235	1,00	1235	64	Otomotiv
ST22	A26	ST12	2,66	930	0,90	930	66	Otomotiv
ST22	A27	ST12	2,80	1235	1,00	1235	64	Otomotiv
ST22	A28	ST12	2,30	1265	0,60	1265	74	Beyaz Eşya
ST22	A29	ST12	3,00	930	1,45	930	52	Genel Endüstri
ST22	A30	ST12	2,80	1235	1,00	1235	64	Genel Endüstri

Çizelge 6.8 St 23 malzemelerin hedef müşteri grupları

Deneyler başlanırken seçilen Kalite gruplarının hedef müşteri grupları aşağıda belirtildiği şekilde sınıflandırılmıştır.

Malzeme Girit Kalitesi	Bobin No	Malzeme Çıkış Kalitesi	Girit Kalınlık (HCR)	Girit Genişlik (HCR)	Çıkış Kalınlık (CR)	Çıkış Genişlik (CR)	Redüksiyon %	Müşteri Grupları
ST23	B1	ST13	3,00	1040	0,90	1040	70	Genel Endüstri
ST23	B2	ST13	3,00	1040	0,90	1040	70	Genel Endüstri
ST23	B3	ST13	3,00	1040	0,90	1040	70	Beyaz Eşya
ST23	B4	ST13	3,00	1040	0,90	1040	70	Otomotiv
ST23	B5	ST13	3,00	1040	0,90	1040	70	Beyaz Eşya
ST23	B6	ST13	3,00	1040	0,90	1040	70	Genel Endüstri
ST23	B7	ST13	3,00	1040	0,90	1040	70	Beyaz Eşya
ST23	B8	ST13	3,00	1040	0,90	1040	70	Genel Endüstri
ST23	B9	ST13	3,00	1040	0,90	1040	70	Beyaz Eşya
ST23	B10	ST13	3,00	1040	0,90	1040	70	Beyaz Eşya
ST23	B11	ST13	3,00	1040	0,90	1040	70	Beyaz Eşya
ST23	B12	ST13	3,00	1040	0,90	1040	70	Otomotiv
ST23	B13	ST13	3,00	1040	0,90	1040	70	Otomotiv
ST23	B14	ST13	3,00	1040	1,50	1040	59	Genel Endüstri
ST23	B15	ST13	3,00	1040	0,90	1040	70	Otomotiv
ST23	B16	ST13	3,00	1040	0,90	1040	70	Beyaz Eşya
ST23	B17	ST13	3,00	1040	0,90	1040	70	Otomotiv
ST23	B18	ST13	3,40	1040	1,48	1040	57	Genel Endüstri
ST23	B19	ST13	3,40	1040	1,48	1040	57	Genel Endüstri
ST23	B20	ST13	3,00	1040	0,90	1040	70	Genel Endüstri
ST23	B21	ST13	3,00	1040	1,17	1040	61	Genel Endüstri
ST23	B22	ST13	3,00	1040	0,90	1040	70	Otomotiv
ST23	B23	ST13	3,00	1040	0,90	1040	70	Otomotiv
ST23	B24	ST13	3,00	1040	0,90	1040	70	Otomotiv
ST23	B25	ST13	3,00	1040	0,90	1040	70	Beyaz Eşya
ST23	B26	ST13	3,00	1040	0,90	1040	70	Otomotiv
ST23	B27	ST13	3,00	1040	0,90	1040	70	Beyaz Eşya
ST23	B28	ST13	3,00	1040	0,90	1040	70	Genel Endüstri
ST23	B29	ST13	3,00	1040	0,90	1040	70	Otomotiv
ST23	B30	ST13	3,00	1040	0,90	1040	70	Otomotiv

Çizelge 6.9 St23 malzemelerin hedef müşteri grupları

Deneyler başlanırken seçilen Kalite gruplarının hedef müşteri grupları aşağıda belirtildiği şekilde sınıflandırılmıştır.

Malzeme Girit Kalitesi	Bobin No	Malzeme Çıkış Kalitesi	Girit Kalınlık (HCR)	Girit Genişlik (HCR)	Çıkış Kalınlık (CR)	Çıkış Genişlik (CR)	Redüksiyon %	Müşteri Grupları
ST24	C1	ST14	2,30	107	0,70	107	70	Otomotiv
ST24	C2	ST14	2,30	107	0,70	107	70	Otomotiv
ST24	C3	ST14	2,30	107	0,70	107	70	Otomotiv
ST24	C4	ST14	2,30	107	0,70	107	70	Otomotiv
ST24	C5	ST14	2,30	107	0,70	107	70	Otomotiv
ST24	C6	ST14	2,00	108	0,70	108	65	Otomotiv
ST24	C7	ST14	2,00	108	0,70	108	65	Beyaz Eşya
ST24	C8	ST14	2,00	108	0,70	108	65	Genel Endüstri
ST24	C9	ST14	2,30	107	0,70	107	70	Beyaz Eşya
ST24	C10	ST14	2,00	108	0,70	108	65	Beyaz Eşya
ST24	C11	ST14	2,00	108	0,70	108	65	Otomotiv
ST24	C12	ST14	2,00	108	0,70	108	65	Genel Endüstri
ST24	C13	ST14	2,00	108	0,70	108	65	Beyaz Eşya
ST24	C14	ST14	2,30	107	0,70	107	70	Otomotiv
ST24	C15	ST14	2,00	108	0,70	108	65	Otomotiv
ST24	C16	ST14	2,00	108	0,70	108	65	Otomotiv
ST24	C17	ST14	2,10	123	0,80	123	62	Beyaz Eşya
ST24	C18	ST14	2,10	123	0,80	123	62	Genel Endüstri
ST24	C19	ST14	2,10	123	0,80	123	62	Beyaz Eşya
ST24	C20	ST14	3,00	126	1,00	126	67	Genel Endüstri
ST24	C21	ST14	2,50	126	0,80	126	68	Genel Endüstri
ST24	C22	ST14	3,00	126	1,20	126	60	Genel Endüstri
ST24	C23	ST14	2,20	126	0,50	126	77	Otomotiv
ST24	C24	ST14	2,10	123	0,80	123	62	Beyaz Eşya
ST24	C25	ST14	3,00	126	1,00	126	67	Genel Endüstri
ST24	C26	ST14	3,00	126	1,20	126	60	Genel Endüstri
ST24	C27	ST14	2,50		0,80	126	68	Beyaz Eşya
ST24	C28	ST14	2,20	126	0,50	126	77	Genel Endüstri
ST24	C29	ST14	2,20	126	0,70	126	68	Beyaz Eşya
ST24	C30	ST14	2,20	126	0,70	126	68	Genel Endüstri

6.5 Asitle Yüzey Temizleme İşlemi

Bu proses sırasında kullanılan parametreler Çizelge 6.10'da verilmiştir.

Çizelge.6.10 Asitle yüzey temizleme parametreleri

1450	
1.Tank Max Fe %	130 Gr/Lt
1.Tank sıcaklığı	85°C
2.Tank Max Fe %	100 gr/lt
2.Tank sıcaklığı	85°C
3.Tank Max Fe %	80 gr/lt
HCl % min	170gr/lt
Hat hızı	100-150 m/dak
1.tank sıcaklığı	
Durulama suyu iletkenliği max.	17 micro siemens

Deneylerde kullanılan bobinlerde asitle yüzey temizleme işlemi sırasında karşılaşılan hatalar ve önlemleri aşağıda belirtilmiştir.

Kabuk Hatası: Bobinlerde tespit edilen kabuk hataları bobinlerin başlarında ve sonlarında olanlar giriş ve çıkışlarda bobinlerden ayıklanarak prosese devam edilmiştir. Bobinlerin ortalarında karşılaşılan kabuk hataları için bobin ikiye bölünerek prosese devam edilmiştir.

Tufal Hatası: Bobinlerde tespit edilen tufal hatası sonraki proseslerde problem olmayacağı düşüncesiyle üretime devam edilmiştir.

Teleskop Hatası: Bu hata haddeleme prosesinde tolere edilebilecek bir hata olarak görülmüştür.

Dalga Hataları (Ondülasyon): Takip edilen proseslerde iki kez haddeleme operasyonu olması nedeniyle prosese devam edilmiştir.

İç Çap Mandren Hasarlanması: Bobin başları ve sonları hataların yoğun olması nedeniyle kesilmiştir.

Delik Hatası: Haddeleme sırasında kopmaya neden olabileceği için delikli bölgeler kesilerek atılmıştır.

Pas Hatası: Asitleme sonrasında duruş nedeniyle oluşan hafif oksidasyon ilerleyen proseslerde problem çıkartmayacaktır.

Yağlama Heterojen Hatası: Haddeleme hattında hadde solüsyonu kullanılacağından problem olarak kabul edilmemiştir.

Sıcak Hadde Yaraları: Malzemenin başında olması nedeniyle diğer hatalar kesilirken bobinden ayrılmıştır.

Tufal İzi Hatası: Ağır tufallerin temizlendikten sonra bıraktığı boşluk olarak değerlendirilen bu izler haddeleme sırasında verilen redüksiyon sonrasında azalacak veya kaybolacaklardır.

6.6 Soğuk Haddeleme

Bu proseste kullanılan parametreler Çizelge 6.11’de verilmiştir

Çizelge 6.11 Soğuk hadde parametreleri

Soğuk Haddeleme sıvısının analiz sonuçları ve parametreler	
Emülsiyon sıcaklığı	45-60 ⁰ C
Konsantrasyon %	2-3,25
İletkenlik (microsiemens) maks.	200
Demir miktarı ppm maks.	350
CI miktarı ppm	İstenmiyor
Hakt hızı	1000-1500 m/dak.
Redüksiyon miktarı %	50-80

Bu proses sırasında her redüksiyon adımı (paso) her kaliteden 4 er adet numune alınarak malzemenin mekanik karakteristikleri ve mikro yapıları incelenmiştir. Mikro yapılarda standart dışı inklüzyon hatalarına rastlanmamıştır. Soğuk haddeleme sıvısının analiz sonuçları ve parametreleri Çizelge 6.10’da verilmiştir.

Ayrıca enine kalınlık dağılımları ile yüzey düzlemselliği ilişkileri incelenmiştir.

A8-A9-A17-C23-C28- nolu 5 adet bobinde bozuk enine kalınlık dağılımı ve buna bağlı olarak uygunsuz yüzey düzgünlüğü (ondülasyon) tespit edilmiştir. A26 nolu bobinde aşırı dalgadan ötürü kırışma oluşmuştur.

6.7 Tavlama Prosesi

Bu proseste kullanılan parametreler Çizelge 6.12’de verilmiştir.

Çizelge 6.12 Tav parametreleri

TAV PARAMETRELERİ						
KALİTE	GENİŞLİK	KADE TONAJI MİN.	KAİDE SICAKLIKLARI	ISITMA EN AZ (SAAT)	TUTMA (SAAT)	ISITMA C/DK
ST12	W<1200	45 TON	680	15	10,5	0,62
ST12	1200<W<1400	45 TON	680	15	13	0,62
ST12	≥1400	45 TON	680	15	14	0,62
ST12	W<1200	45 TON	730	19	10,5	0,55
ST12	1200<W<1400	45 TON	730	19	13	0,55
ST12	≥1400	45 TON	730	19	14	0,55
ST12	W<1200	45 TON	740	21	10,5	0,5
ST12	1200<W<1400	45 TON	740	21	13	0,5
	≥1400	45 TON	740	21	14	0,5

Koruyucu atmosfer HNX %3,5-4 H ₂
HNX DEBİSİ;
TAV: 15/25 Nm ³ /h;

KAİDE AÇMA SICAKLIKLARI
800mm-1000mm=95 ⁰ C
1100mm-1300mm=90 ⁰ C
1300-1500=88 ⁰ C

Proses sırasında parametrelerde herhangi bir anormalliğe rastlanmamış olup, 100 °C açılan 2 adet bobinde C8-C12 numaralı bobinlerde kenar oksidasyonu (hafif) gözlenmiştir.

Tavlama sonrasında her kaliteden 4'er adet bobinde mekanik özellikler tespit edilmiştir (Haddeleme prosesinde alınan bobinler).

6.8 Temper Hadde

Bu proseste kullanılan parametreler Çizelge 6.13’de verilmiştir.

Çizelge 6.13 Temper hadde parametreleri

TEMPER		
ST1	% 1,0 -	
ST1	%0,80-	
ST1	%0,60-	
YAĞLAMA	4	
SOLUSYON	%2,9	
HIZLAR	0,25-	1100
	0,25	1100
	0,51	800
	1,01-	600
YAĞ	55-60	
MERDANE	3,0-3,5	

Temperleme sırasında A8 nolu bobinde temper hadde rulolarından kaynaklanan hadde izine rastlanmıştır. Yağlama prosesinden kaynaklanan problemlerden ötürü B12 numaralı bobinde aşırı yağlama, ayar sırasında B10 nolu bobinde heterojen yağlama, B9 nolu bobinde yağsız bölgeler tespit edilmiştir. A10 numaralı bobinde mandren izli bölge kesilerek çıkartılmıştır.

A29 numaralı bobinde teleskopisite, C27 numaralı bobinde tavlama vinci aparatı nedeniyle göbek sargıları hasarlanması tespit edilmiştir. C29 numaralı bobinde tavlama nedeniyle konvektör yapışması gözlenmiş olup aynı bobinde tufal izleri de görülmüştür.

A8 ve B6 bobinlerinde tufal izleri C3 malzemede kabuk tespit edilmiştir. Tüm bobinlerden yapılan mekanik test sonucunda 6 adet bobinde düzensiz akma tespit edilmiştir. Diğer bobinlerin mekanik özellikleri uygundur. Bu hatalı bobinler tekrar % 0.8-1 uzama verilerek tekrar temper hadde işlemi yapılarak düzensiz akma (Lüder bantları) giderilmiştir.

7. SONUÇLAR VE İRDELEME

7.1 Kimyasal Analiz

Seçilen deney numunelerinin hiçbirinde kimyasal özelliklerde sapma görülmemiş olup ürün standartlarına uygundur.

7.2 Mekanik Özellikler

Mekanik özelliklerin girişten final ürüne kadar gelişimi Çizelge 7.1, Çizelge 7.2 ve Çizelge 7.3’de sunulmuş olup 6 adet bobinde rastlanan düzensiz akmalar (lüder bantları) dışında herhangi bir probleme rastlanmamıştır. Hatalı bu malzemeler ikinci kez temper haddelenerek dislokasyon yoğunlukları arttırılmış ve düzeltilmişlerdir. (Şekil 7.1, 7.2, 7.3, 7.4, 7.5, 7.6, 7.7, 7.8, 7.9, 7.10, 7.11, 7.12)

Aşağıda yapılan incelemelerde de görüleceği üzere 4 ayrı bobin alınarak paso paso inceleme yapılarak A19 no lu bobine ait grafik hazırlanmıştır.

Çizelge 7.1 St22 mekanik özellik gelişimi

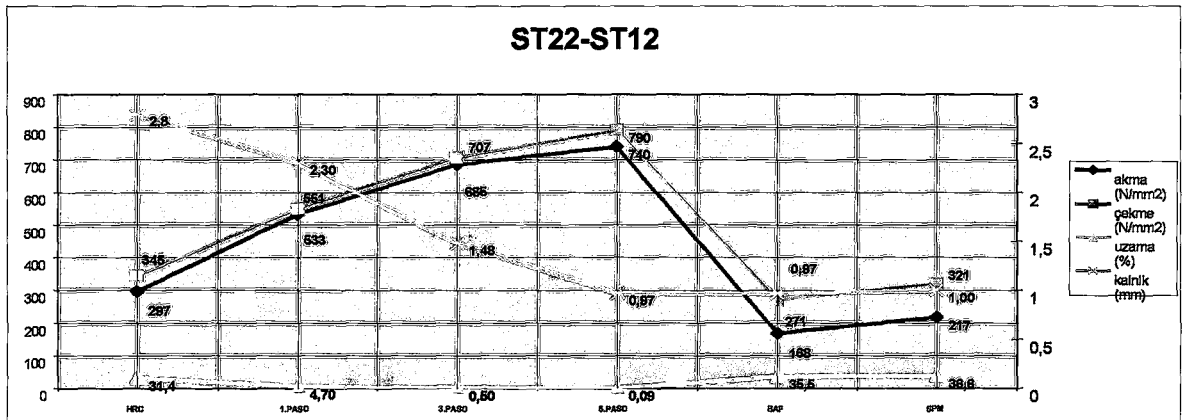
1-MEKANİK ÖZELLİKLER (ST22)

Numune	Bobin no	Ebat (mm)	Akma (N/mm ²)	Çekme (N/mm ²)	Uzama (%)	r	n	Sertlik	Hadde Yönü	HRC Kalite	Kalınlık (mm)	Tav	spm
HRC	A19	2,8x1235	297	345	31,4			57HRB	90	ST22	2,8		
1.PASO			533	551	4,70			88HRB	90		2,30		
3.PASO			685	707	0,50			95HRB	90		1,48		
5.PASO			740	790	0,09			94HRB	90		0,97		
BAF			168	271	35,5	3,11	0,27	41HRB	90		0,97	650 derece-13,5 saat	
SPM			217	321	36,6	2,27	0,19	52HRB	90		1,00		64,00%

Numune	Bobin no	Ebat (mm)	Akma (N/mm ²)	Çekme (N/mm ²)	Uzama (%)	r	n	Sertlik	Hadde Yönü	HRC Kalite	Kalınlık (mm)	Tav	spm
HRC	A22	2,8x1235	238	385	26			57HRB	90	ST22	2,8		
1.PASO			533	551	4,70			88HRB	90		2,30		
3.PASO			683	712	0,50			95HRB	90		1,48		
5.PASO			741	786	0,10			94HRB	90		0,97		
BAF			169	285	35,5	3,11	0,27	41HRB	90		0,97	650 derece-13,5 saat	
SPM			236	332	32,6	2,39	0,19	51	90		1,00		64,00%

Numune	Bobin no	Ebat (mm)	Akma (N/mm ²)	Çekme (N/mm ²)	Uzama (%)	r	n	Sertlik	Hadde Yönü	HRC Kalite	Kalınlık (mm)	Tav	spm
HRC	A27	2,8x1235	283	379	26			57HRB	90	ST22	2,8		
1.PASO			534	553	4,60			88HRB	90		2,30		
3.PASO			685	714	0,55			95HRB	90		1,48		
5.PASO			745	785	0,11			94HRB	90		0,97		
BAF			185	288	37,8	3,11	0,27	41HRB	90		0,97	650 derece-13,5 saat	
SPM			212	320	37,5	2,34	0,19	50	90		1,00		64,00%

Numune	Bobin no	Ebat (mm)	Akma (N/mm ²)	Çekme (N/mm ²)	Uzama (%)	r	n	Sertlik	Hadde Yönü	HRC Kalite	Kalınlık (mm)	Tav	spm
HRC	A11	3x930	225	425	29			57HRB	90	ST22	3,00		
1.PASO			533	553	4,60			88HRB	90		2,36		
3.PASO			675	714	0,55			95HRB	90		2,05		
4.PASO			735	785	0,11			94HRB	90		1,85		
BAF			198	288	37,8	3,11	0,27	41HRB	90		1,45	650 derece-13,5 saat	
SPM			215	314	39,4	2,02	0,19	43	90		1,45		52,00%



Aşağıda yapılan incelemelerde de görüleceği üzere 4 ayrı bobin alınarak paso paso inceleme yapılarak B10 nolu bobine ait grafik hazırlanmıştır.

Çizelge 7.2 St23 mekanik özellik gelişimi

1-MEKANİK ÖZELLİKLER (ST22)

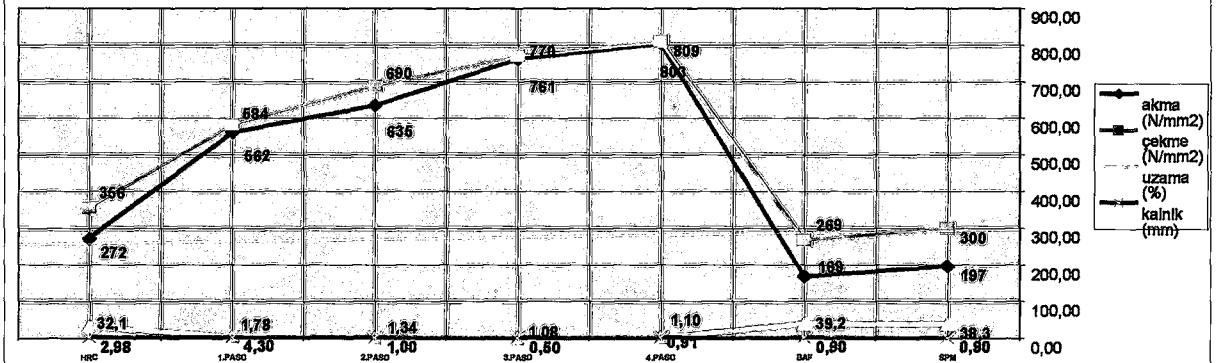
Numune	Bobin no	Ebat (mm)	Akma (N/mm ²)	Çekme (N/mm ²)	Uzama (%)	r	n	Sertlik	Hadde Yönü	HRC Kalite	Kalınlık (mm)	Tav	spm
HRC	B10	3x1040	272	356	32,1			59HRB	90	ST23	2,98		
1.PASO			562	584	4,30			88HRB	90		1,78		
2.PASO			635	690	1,00			94HRB	90		1,34		
3.PASO			761	770	0,50			95HRB	90		1,08		
4.PASO			803	809	1,10			96HRB			0,91		
BAF			169	269	39,2	2,60	0,30	35HR30T	90		0,90	700 derece-10,5 saat	
SPM			197	300	38,3	2,12	0,20	47HR30T	90		0,90		0,70%

Numune	Bobin no	Ebat (mm)	Akma (N/mm ²)	Çekme (N/mm ²)	Uzama (%)	r	n	Sertlik	Hadde Yönü	HRC Kalite	Kalınlık (mm)	Tav	spm
HRC	B13	3x1040	195	358	33			59HRB	90	ST23	3,00		
1.PASO			558	588	4,30			88HRB	90		1,76		
2.PASO			643	693	1,00			94HRB	90		1,33		
3.PASO			762	765	0,50			95HRB	90		1,09		
4.PASO			804	811	1,10			96HRB			0,92		
BAF			171	268	39,2	2,60	0,30	35HR30T	90		0,90	700 derece-10,5 saat	
SPM			197	310	38,5	2,17	0,21	49	90		0,90		0,70%

Numune	Bobin no	Ebat (mm)	Akma (N/mm ²)	Çekme (N/mm ²)	Uzama (%)	r	n	Sertlik	Hadde Yönü	HRC Kalite	Kalınlık (mm)	Tav	spm
HRC	B16	3x1040	223	345	32			59HRB	90	ST23	3,00		
1.PASO			565	588	4,30			88HRB	90		1,74		
2.PASO			643	712	1,11			94HRB	90		1,34		
3.PASO			752	771	0,65			95HRB	90		1,11		
4.PASO			801	821	1,10			96HRB			0,91		
BAF			184	289	41,2	2,60	0,30	35HR30T	90		0,90	700 derece-10,5 saat	
SPM			202	308	40,3	1,90	0,21	45HRB	90		0,90		0,70%

Numune	Bobin no	Ebat (mm)	Akma (N/mm ²)	Çekme (N/mm ²)	Uzama (%)	r	n	Sertlik	Hadde Yönü	HRC Kalite	Kalınlık (mm)	Tav	spm
HRC	B16	3x1040	198	321	30			59HRB	90	ST23	3,00		
1.PASO			563	598	4,20			88HRB	90		1,74		
2.PASO			641	701	1,00			94HRB	90		1,34		
3.PASO			760	775	0,50			95HRB	90		1,11		
4.PASO			812	818	1,10			96HRB			0,91		
BAF			176	288	40,2	2,60	0,30	35HR30T	90		0,90	700 derece-10,5 saat	
SPM			199	308	38,3	1,91	0,21	48	90		0,90		0,70%

ST23-ST13



Aşağıda yapılan incelemelerde de görüleceği üzere 4 ayrı bobin alınarak paso paso inceleme yapılarak C20 no lu bobine ait grafik hazırlanmıştır.

Çizelge 7.3 St 24 mekanik özellik gelişimi

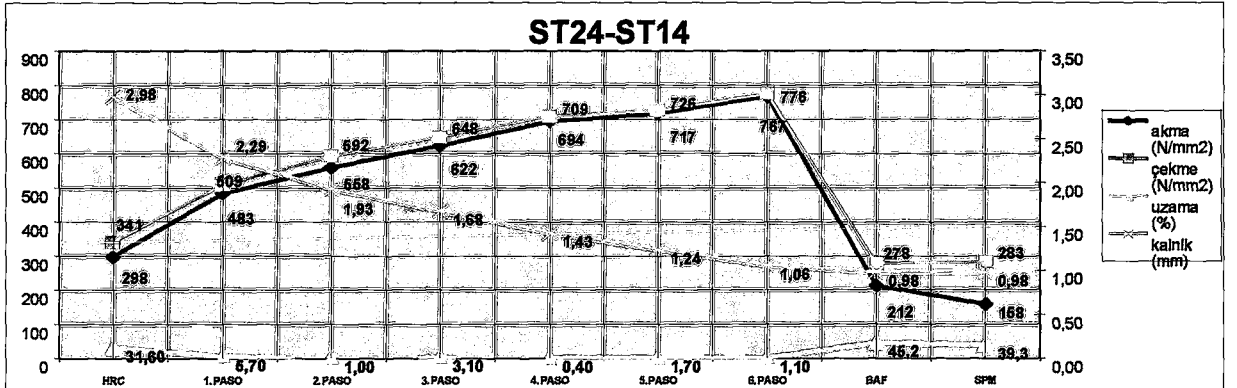
1-MEKANİK ÖZELLİKLER (ST22)

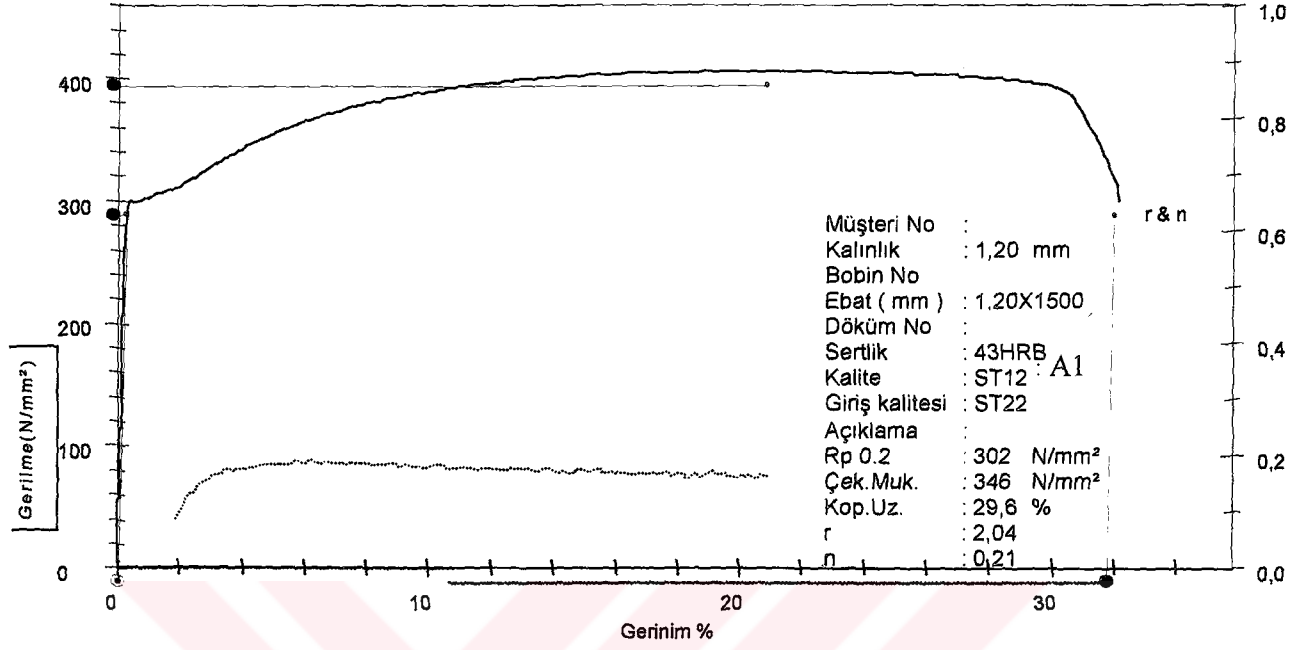
Numune	Bobin no	Ebat (mm)	Akma (N/mm ²)	Çekme (N/mm ²)	Uzama (%)	r	n	Sertlik	Hadde Yönü	HRC Kalite	Kalınlık (mm)	Tav	spm
HRC	C20	3x1265	298	341	31,60	0,98		80HRB	90	ST24	2,98		
1.PASO			483	509	5,70			85HRB	90		2,29		
2.PASO			558	592	1,00			90HRB	90		1,93		
3.PASO			622	648	3,10			91HRB	90		1,68		
4.PASO			694	709	0,40			91HRB	90		1,43		
5.PASO			717	726	1,70			94HRB	90		1,24		
6.PASO			767	776	1,10			93HRB	90		1,06		
BAF			212	278	45,2	1,82	0,22	36HRB	90		0,98	720 derece-15 saat	
SPM			158	283	39,3	2,54	0,24	55HRB	90		0,98		0,67%

Numune	Bobin no	Ebat (mm)	Akma (N/mm ²)	Çekme (N/mm ²)	Uzama (%)	r	n	Sertlik	Hadde Yönü	HRC Kalite	Kalınlık (mm)	Tav	spm
HRC	C20	3x1265	193	325	36	0,98		80HRB	90	ST24	2,50		
1.PASO			481	512	5,60			85HRB	90		2,05		
2.PASO			565	592	1,00			90HRB	90		1,98		
3.PASO			623	651	3,20			91HRB	90		1,79		
4.PASO			685	704	0,35			91HRB	90		1,36		
5.PASO			716	729	1,80			94HRB	90		1,02		
6.PASO			726	784	1,12			93HRB	90		0,94		
BAF			225	321	44,3	1,82	0,22	36HRB	90		0,80	720 derece-15 saat	
SPM			168	282	41,0	2,69	0,22	33HRB	90		0,80		0,68%

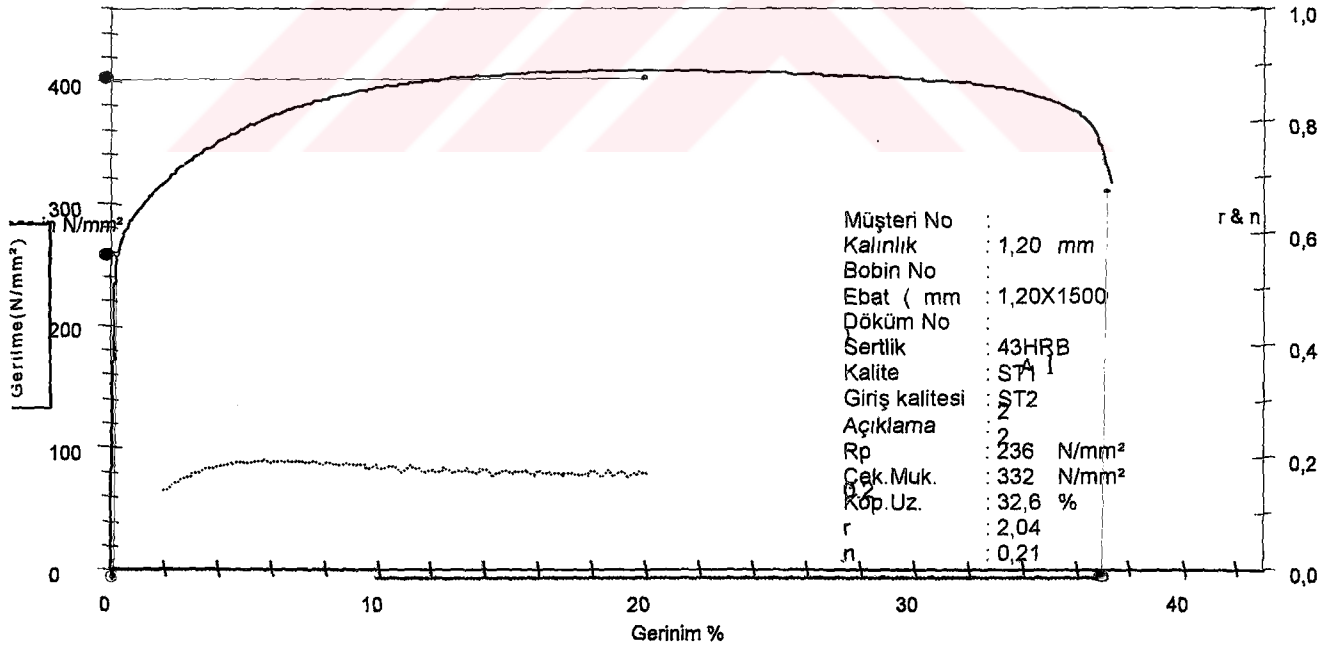
Numune	Bobin no	Ebat (mm)	Akma (N/mm ²)	Çekme (N/mm ²)	Uzama (%)	r	n	Sertlik	Hadde Yönü	HRC Kalite	Kalınlık (mm)	Tav	spm
HRC	C20	2,20x1265	173	346	36			90HRB	90	ST24	2,20		
1.PASO			483	513	5,70			85HRB	90		1,76		
2.PASO			564	593	0,98			90HRB	90		1,34		
3.PASO			625	654	3,20			91HRB	90		1,08		
4.PASO			689	703	0,40			91HRB	90		0,85		
BAF			225	323	41,0	1,82	0,22	36HRB	90		0,70	720 derece-15 saat	
SPM			191	303	38,0	2,40	0,22	50HRB	90		0,70		0,68%

Numune	Bobin no	Ebat (mm)	Akma (N/mm ²)	Çekme (N/mm ²)	Uzama (%)	r	n	Sertlik	Hadde Yönü	HRC Kalite	Kalınlık (mm)	Tav	spm
HRC	C1	2,30x1070	188	320	31			90HRB	90	ST24	2,30		
1.PASO			480	513	5,70			85HRB	90		1,80		
2.PASO			554	593	0,98			90HRB	90		1,44		
3.PASO			615	654	3,20			91HRB	90		1,18		
4.PASO			685	703	0,40			91HRB	90		0,91		
BAF			224	323	41,0	1,82	0,22	36HRB	90		0,70	720 derece-15 saat	
SPM			150	279	42,2	2,16	0,25	34	90		0,70		0,70%

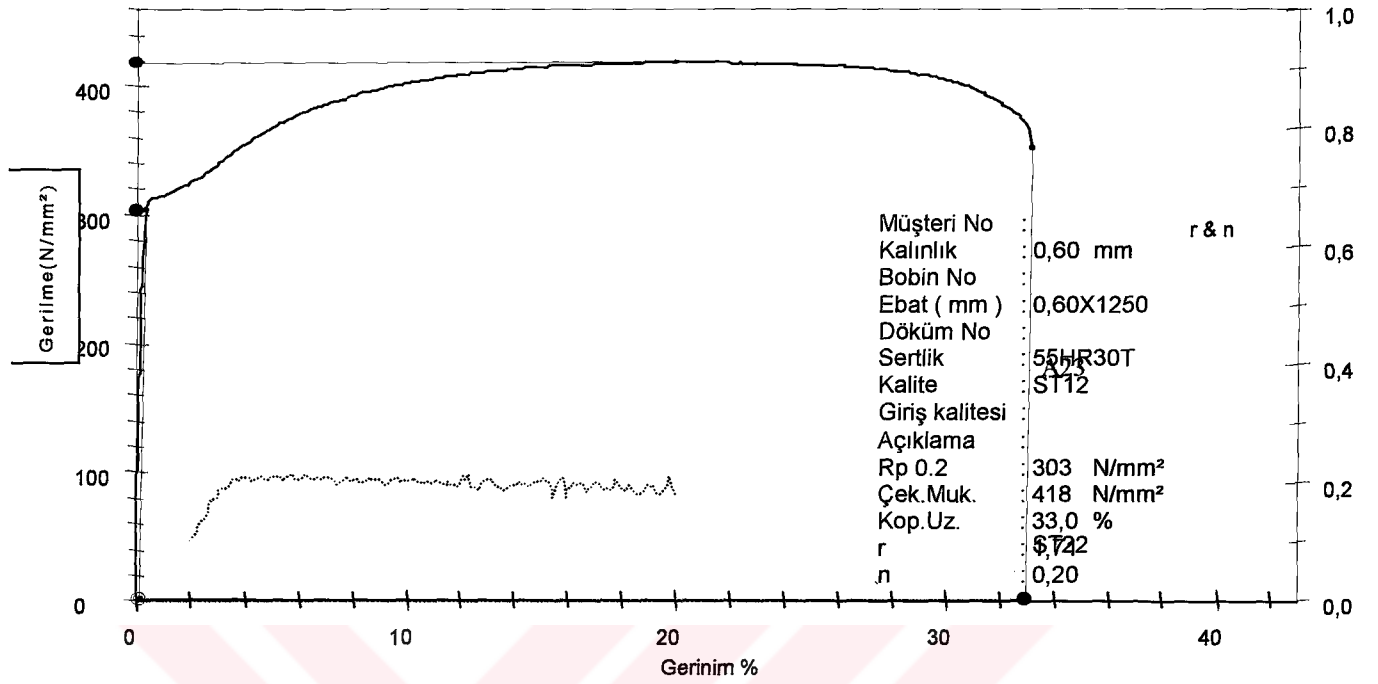




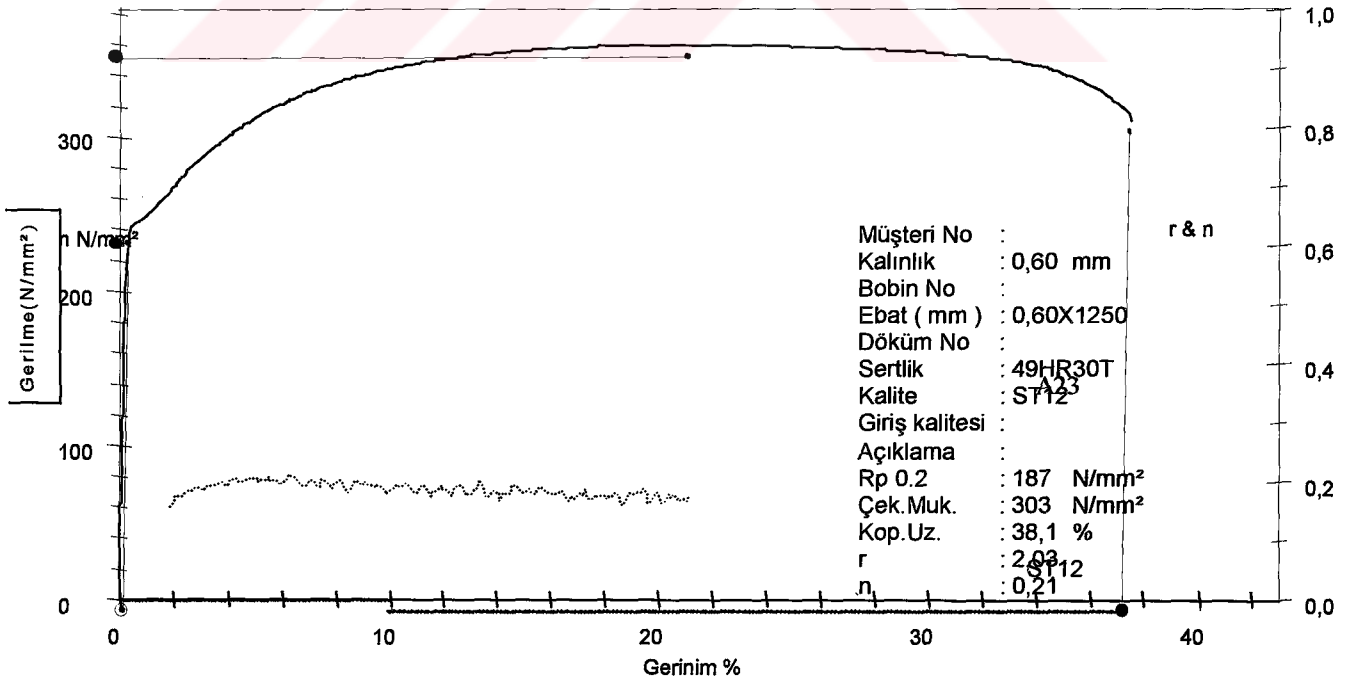
Şekil 7.1 % Uzama (azaltma) 1.0'den küçük için yapılan test sonucu (kalınlık:1.20 mm)



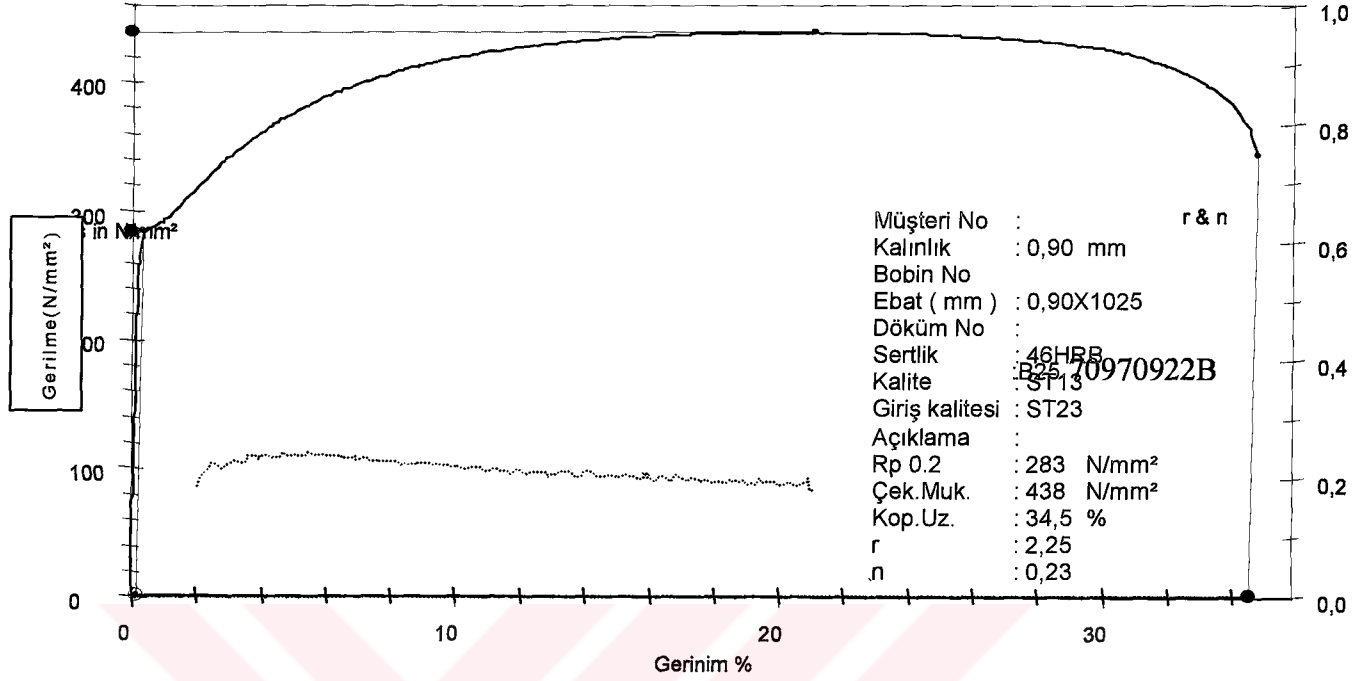
Şekil 7.2 % Uzama (azaltma) 1.1'den büyük için yapılan test sonucu (kalınlık:1.20 mm)



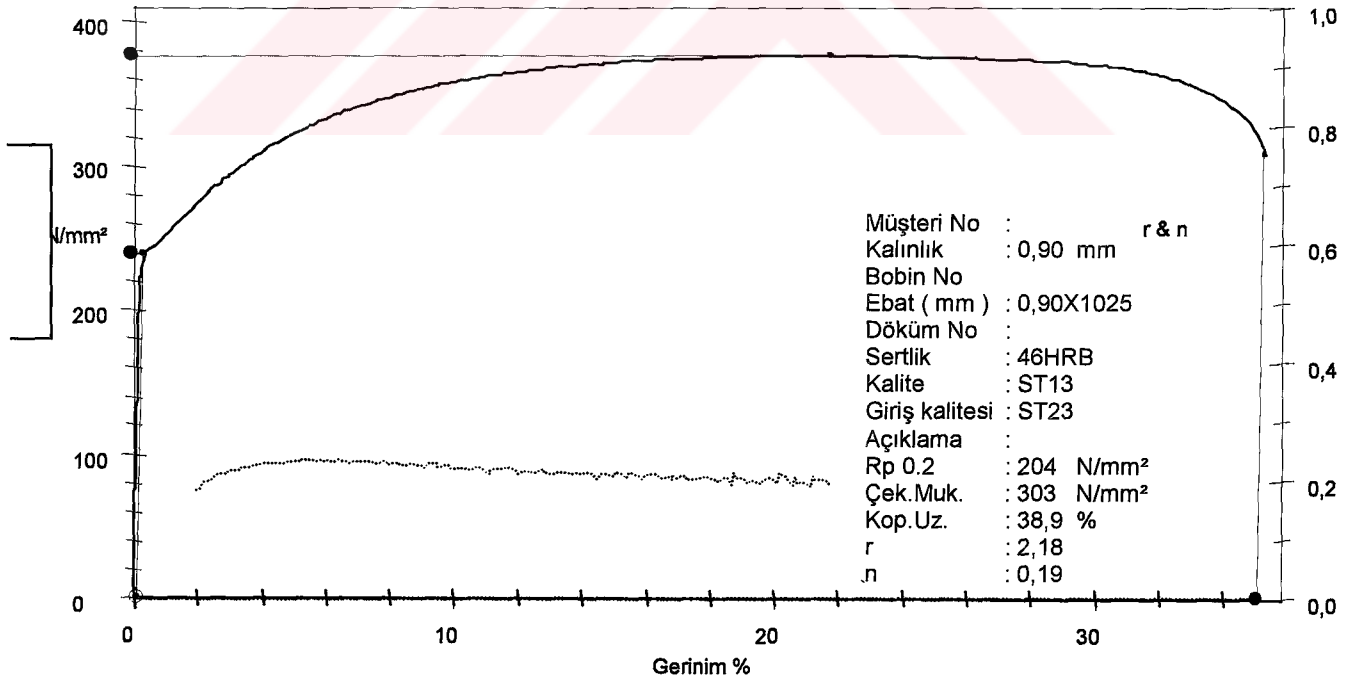
Şekil 7.3 % Uzama (azaltma) 1.0'dan küçük için yapılan test sonucu (kalınlık:0.60 mm)



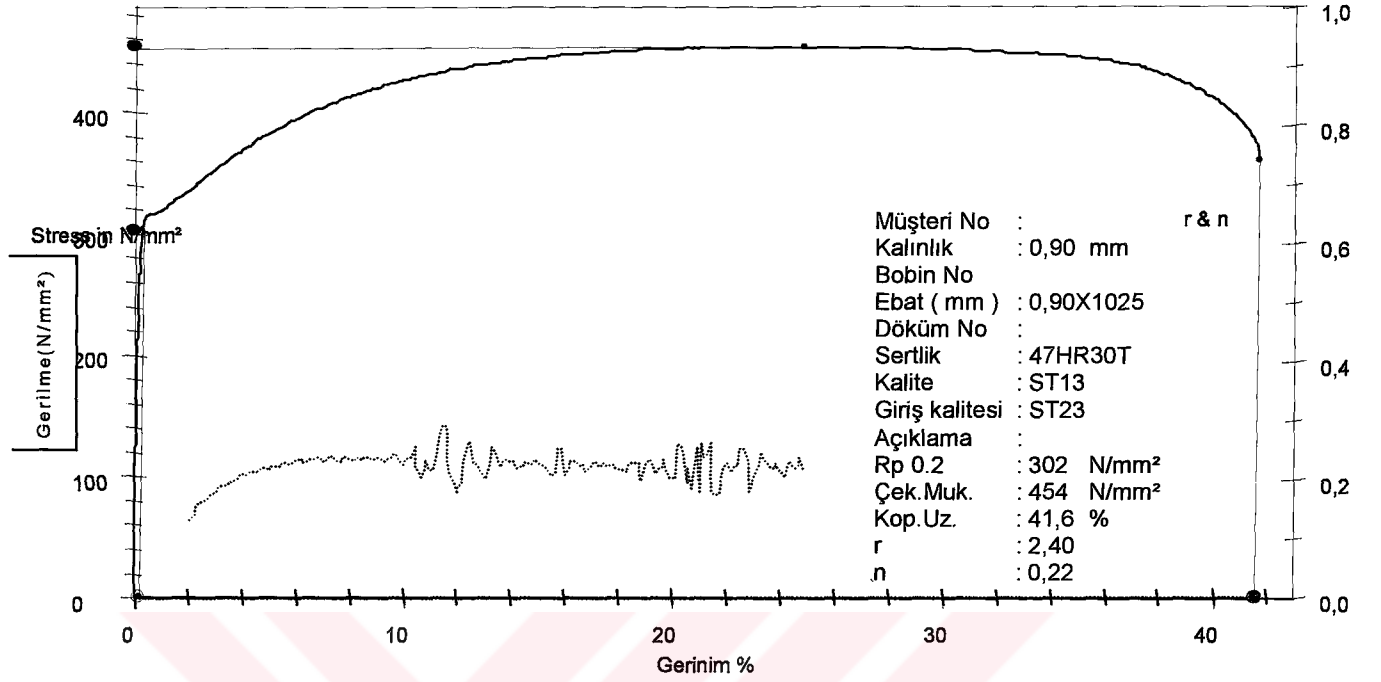
Şekil 7.4 % Uzama (azaltma) 1.1'den büyük için yapılan test sonucu (kalınlık:0.60 mm)



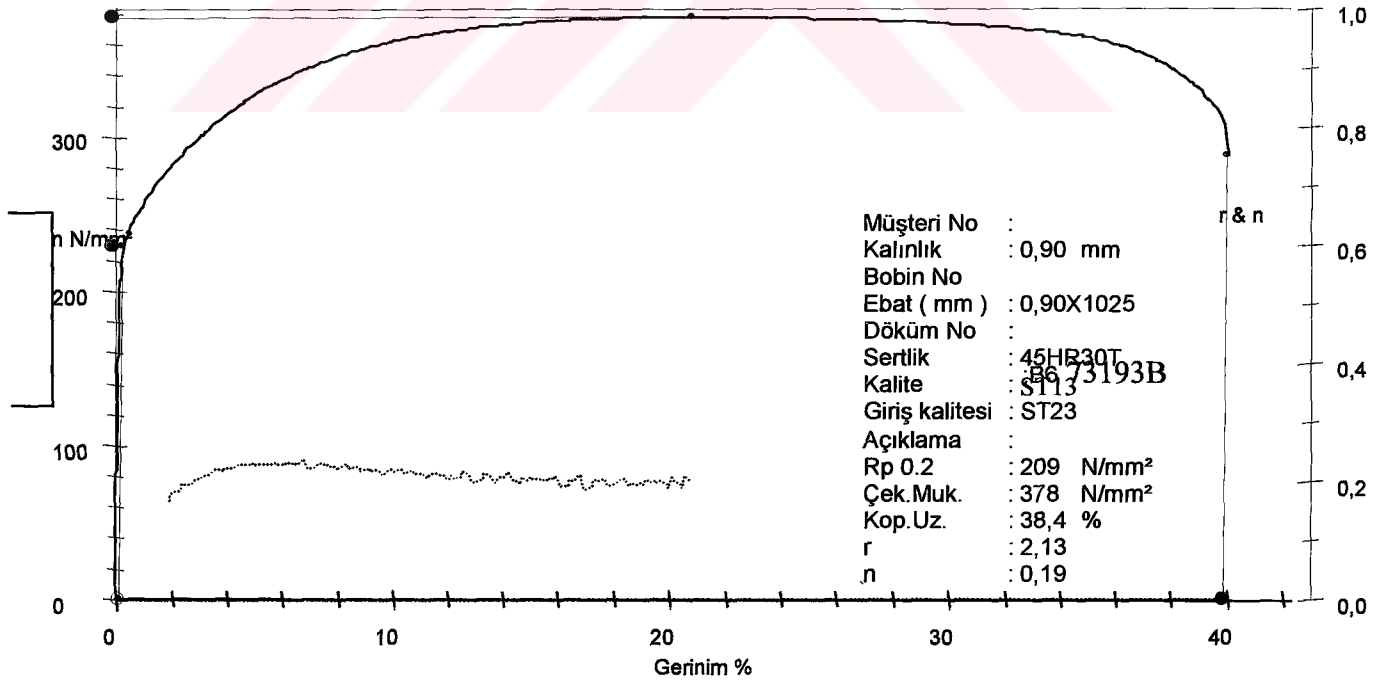
Şekil 7.5 % Uzama (azaltma) 0.8'den küçük için yapılan test sonucu (kalınlık:0.90 mm)



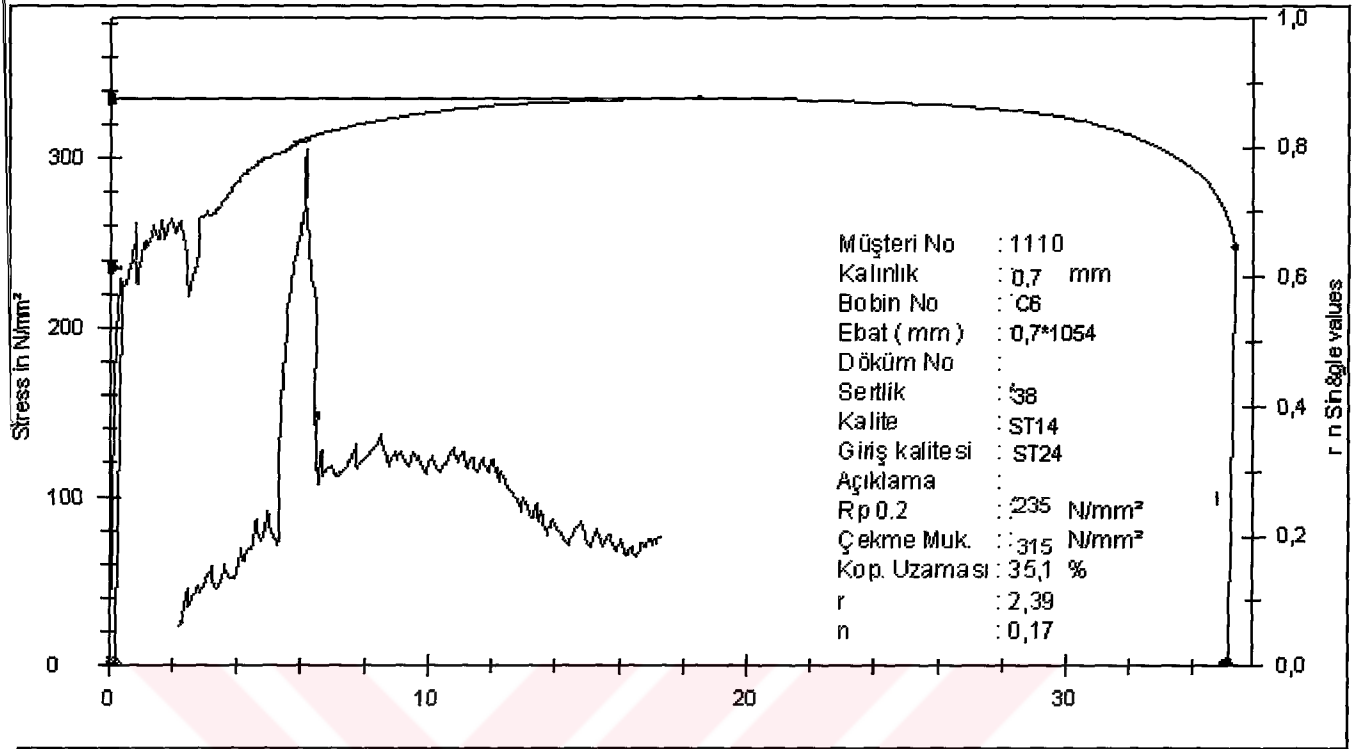
Şekil 7.6 % Uzama (azaltma) 1.0' dan büyük için yapılan test sonucu (kalınlık:0.90 mm)



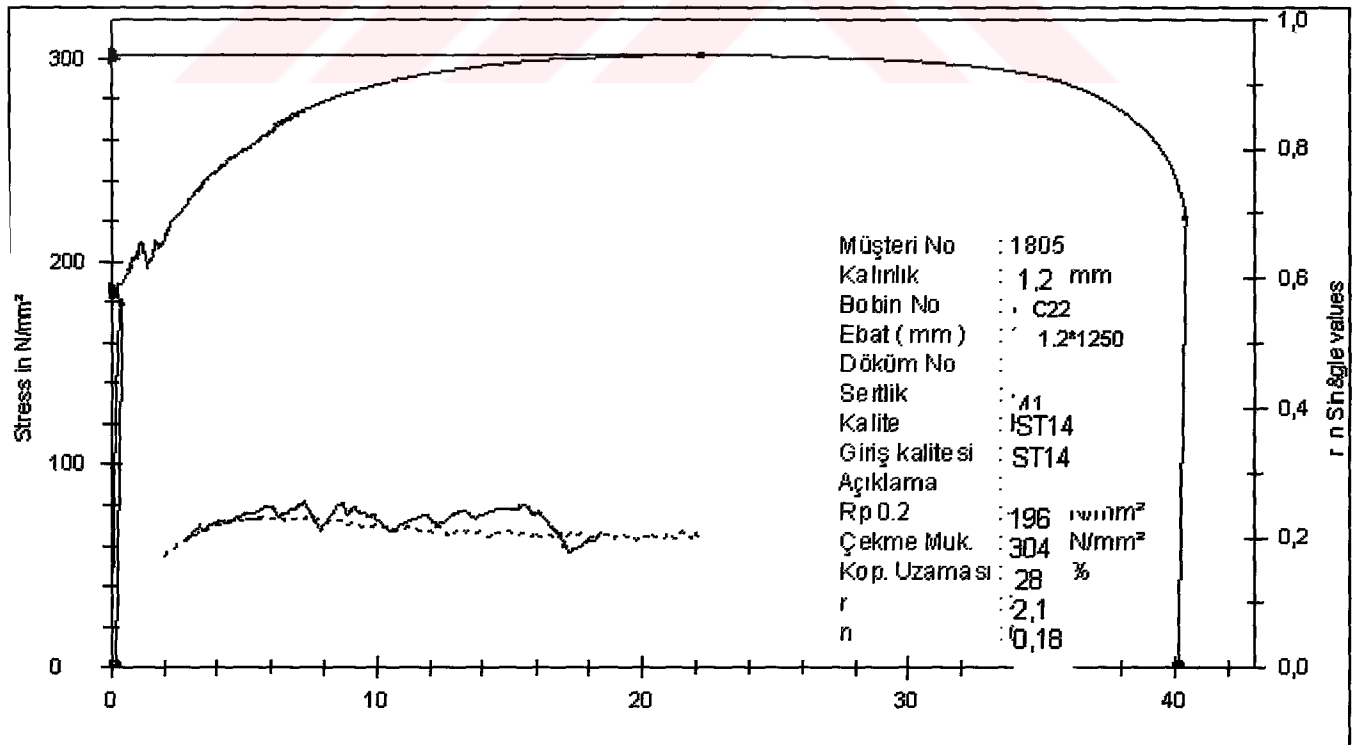
Şekil 7.7 % Uzama (azaltma) 0.8'den küçük için yapılan test sonucu (kalınlık:0.90 mm)



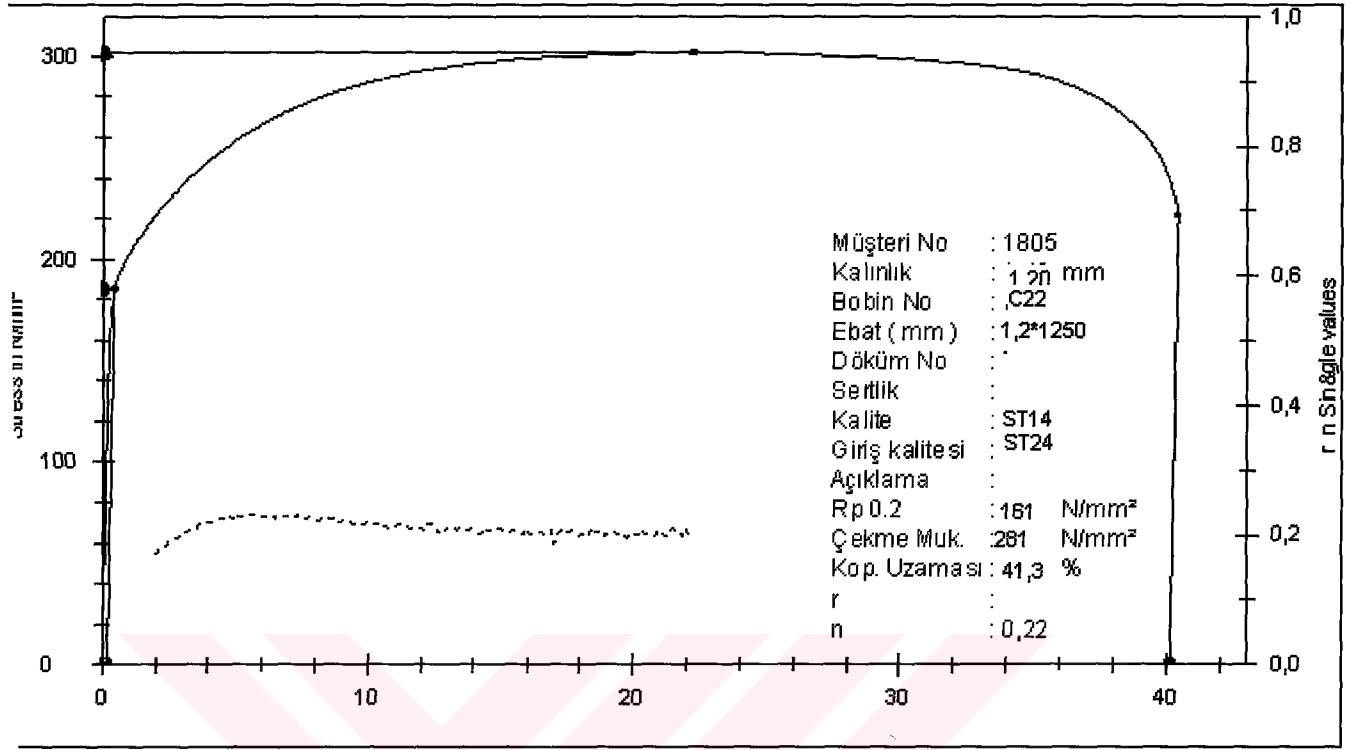
Şekil 7.8 % Uzama (azaltma) 1.0'dan büyük için yapılan test sonucu (kalınlık:0.90 mm)



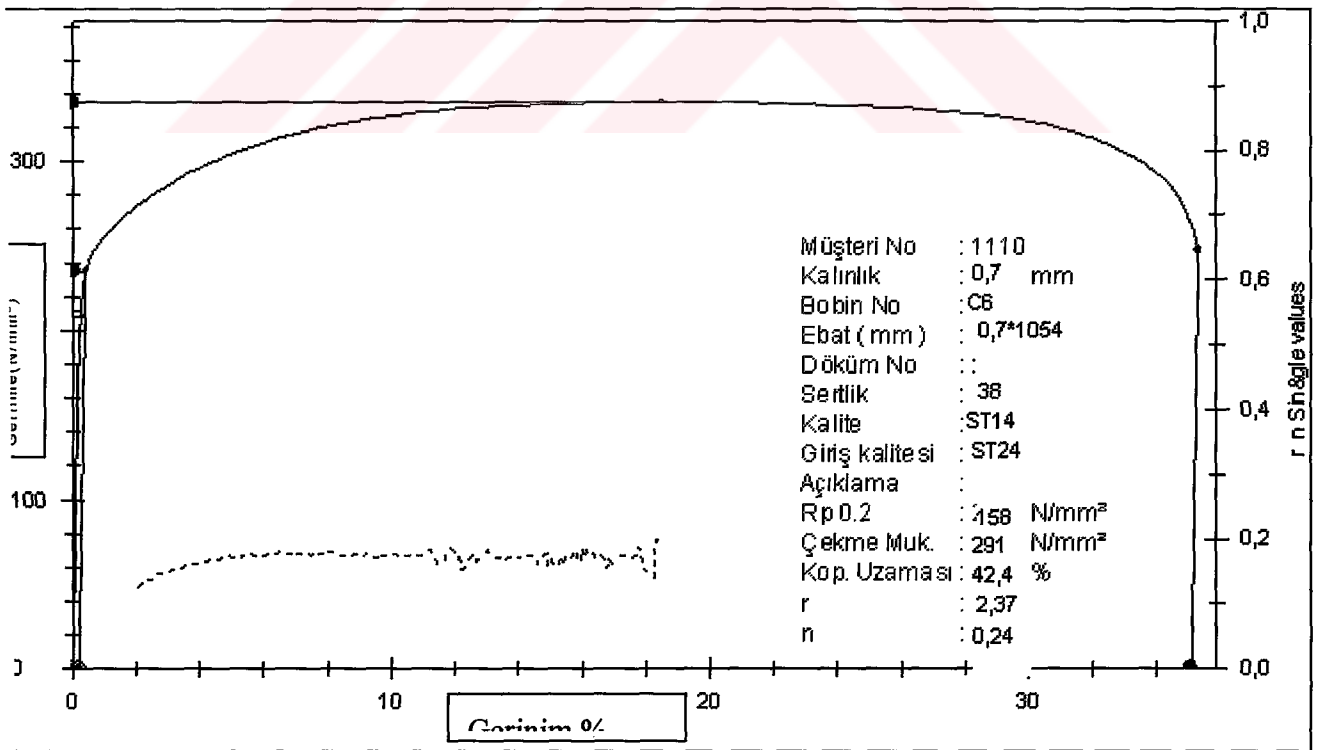
Şekil 7.9 % Uzama (azaltma) 0.6'dan küçük için yapılan test sonucu (kalınlık:1.20 mm)



Şekil 7.10 % Uzama (azaltma) 0.7'den büyük için yapılan test sonucu (kalınlık:1.20 mm)



Şekil 7.11 %Uzama (azaltma) 0.6'dan küçük için yapılan test sonucu (kalınlık:0.7 mm)



Şekil 7.12 % Uzama (azaltma) 0.7'den büyük için yapılan test sonucu (kalınlık:0.7 mm)

7.3 Yüzey Düzgünlüğü Ve Kalınlık Dağılımı

Yassı Çelik malzemelerin düzlemselliği soğutma, yağlama ve haddeme pratiklerine de bağlı olmasına ilave özellikle girdi sıcak haddelenmiş malzemelerinin enine kalınlık dağılımlarından da çok önemli ölçüde etkilenirler. Bu sebepten yapılan çalışmadan da görüleceği gibi haddeme pratiklerinin oturmuş olduğu işletmelerde simetrik ve belirli ($\leq \%1$ oranlarında crown (taçlaşma) miktarına sahip malzemelerde hadde sonrası sadece Cross bowl denilen dalga tipi görülür ki bu şekil bozukluğu tavlama ve tavlamayı takip eden temper hadde sırasında giderilirler).

Ama haddeme öncesi tek taraflı asimetrik ve/veya $\% 1.5$ 'ten fazla crown içeren malzemelerde temper haddede düzeltilmeyecek dalgalı oluşur ki malzemelerin kullanım yerleri ile bağlantılı olarak bu ürünlerin 2.kaliteye ayrılma veya red edilme olasılıklarının büyük olduğu gözlenmiştir.

C23, C28, A8, A9, A17 malzemeleri crownları bozuk olarak tespit edilmiş olup bu malzemelerin hadde sonrası istenmeyen yüzey düzgünlüğü seviyelerine ulaştığı tespit edilmiştir. Bu tür malzemeler son kullanım yerlerine bağlı olarak değerlendirilir ve temper haddede düzeltilmezlerse daha farklı kullanım yerlerine yönlendirilirler.

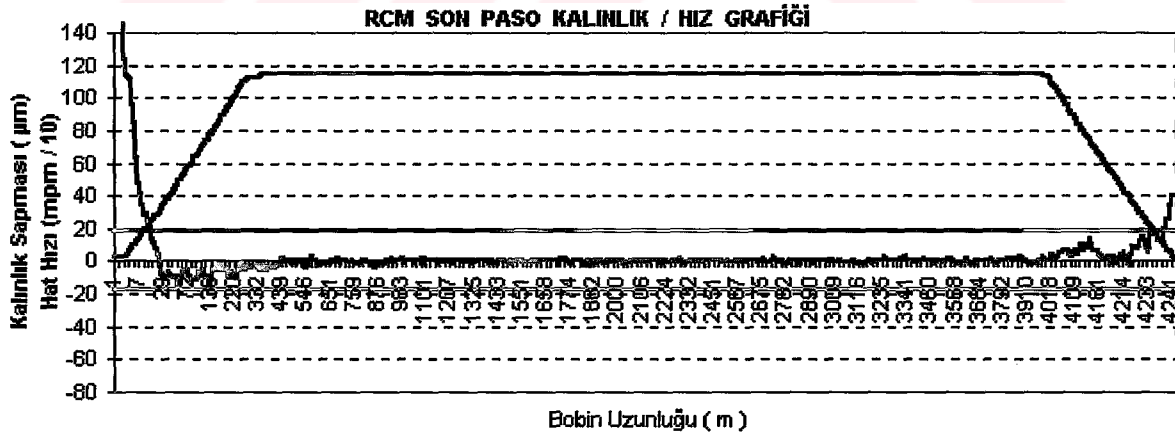
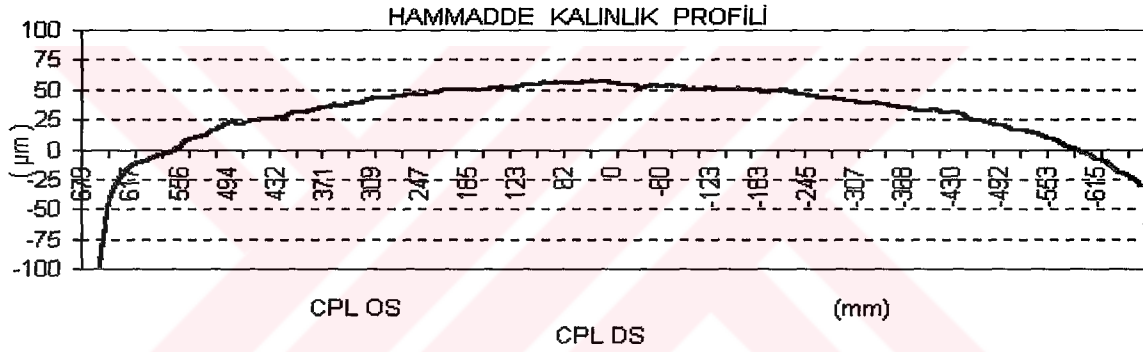
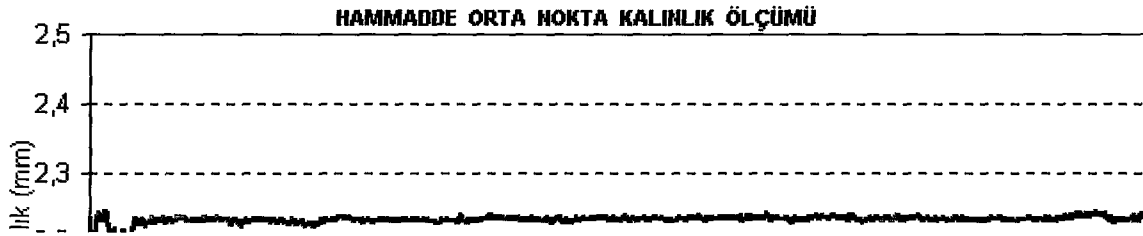
Bu kontrol sonuçları Şekil 7.13 – 7.17 ve Şekil 7.18-7.25'de verilmiştir.

BOBİN KALINLIK ANALİZİ

HAMMADDE BİLGİLERİ

Bobin Numarası		C28
Set Kalınlığı	(mm)	2,20
Genişlik	(mm)	1399
Crown40	(μm)	117,0
Crown40	(%)	5,29
Asimetriklik40	(μm)	72
Menşei		99,00
Üretici Bobin No		6463746
Parti No		43

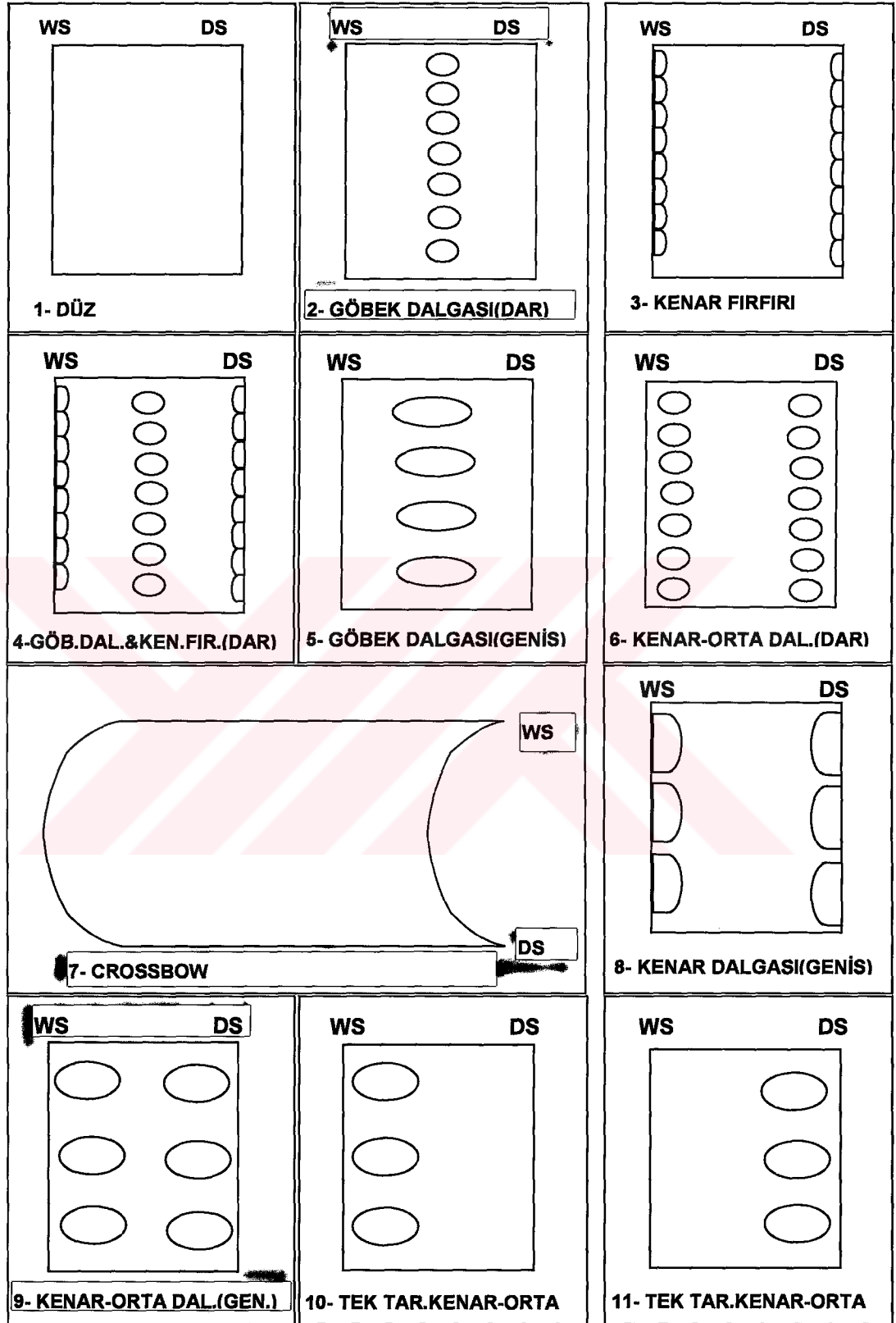
Mevcut Uygunsuzluklar
Crown uygunsuzluğu var.
Asimetriklik uygunsuzluğu var.



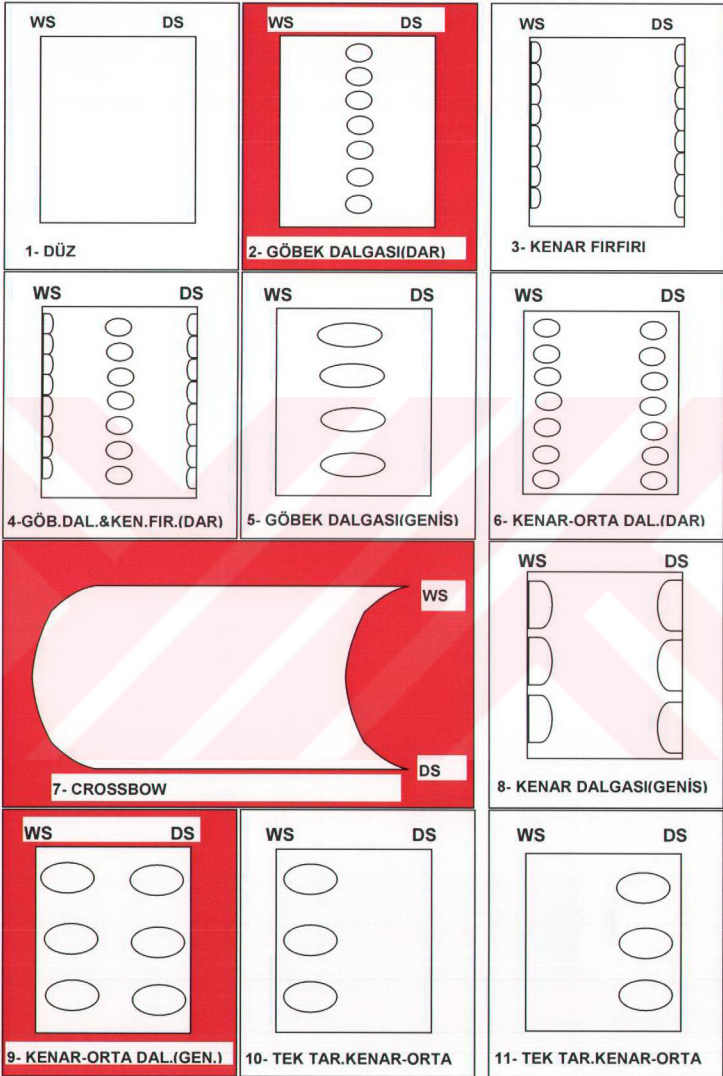
RCM Çıkış Kalınlığı	(mm)	0,50
Kalınlık Toleransı	(μm)	18

DIN standardının 1/2 'sine uygun olarak hesaplanmıştır.

Şekil 7.13 Bozuk crown ve asimetrik uygunsuzluk analizi bobin no: c28



Şekil 7.14 Bobin no: C28 ECL hattında dalga durumu

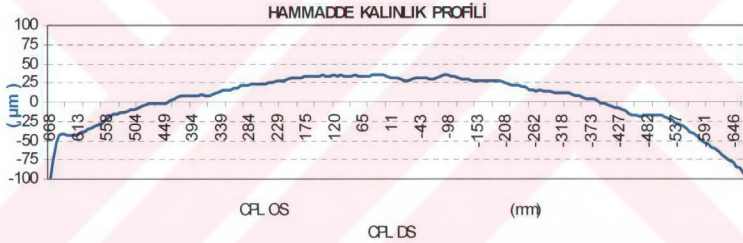
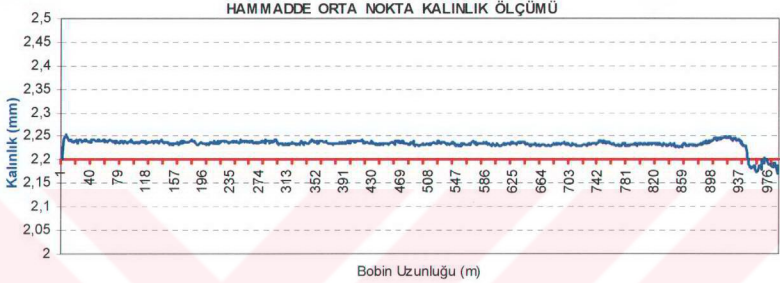


Şekil 7.14 Bobin no: C28 ECL hattında dalga durumu

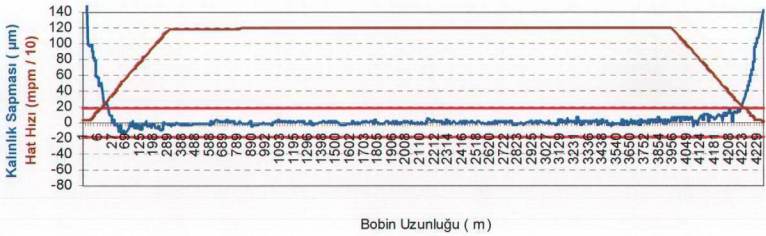
HAMMADDE BİLGİLERİ

Set Kalınlığı	(mm)	2,20
Genişlik	(mm)	1382
Crown40	(µm)	94,5
Crown40	(%)	4,22
Asimetriklik40	(µm)	41
Menşei		99,00
Üretici Bobin No		6464328
Parti No		43

Mevcut Uygunsuzluklar
Crown uygunsuzluğu var.



RCM SON PASO KALINLIK / HIZ GRAFİĞİ



RCM Çıkış Kalınlığı	(mm)	0,50
Kalınlık Toleransı	(µm)	18

DIN standardının 1/2 'sine uygun olarak hesaplanmıştır.

Şekil 7.15 Bobin no: A8 crown uygunsuzluğu

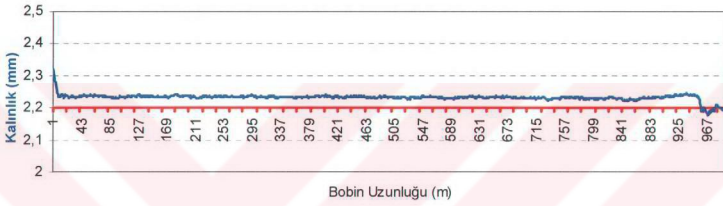
BOBİN KALINLIK ANALİZİ

HAMMADDE BİLGİLERİ

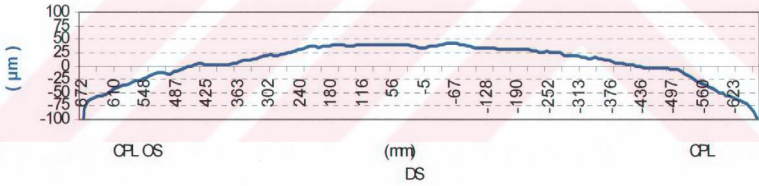
Bobin Numarası		A9
Set Kalınlığı	(mm)	2,20
Genişlik	(mm)	1380
Crown40	(μm)	101,0
Crown40	(%)	4,55
Asimetriklik40	(μm)	9
Menşei		99,00
Üretici Bobin No		6464349
Parti No		43

Mevcut Uygunluklar
Crown uygunluğu var.

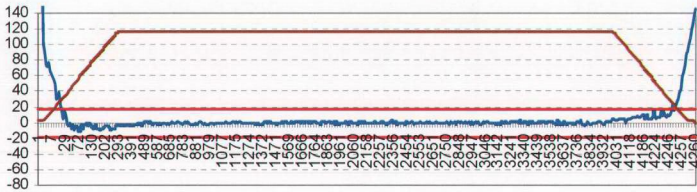
HAMMADDE ORTA NOKTA KALINLIK ÖLÇÜMÜ



HAMMADDE KALINLIK PROFİLİ



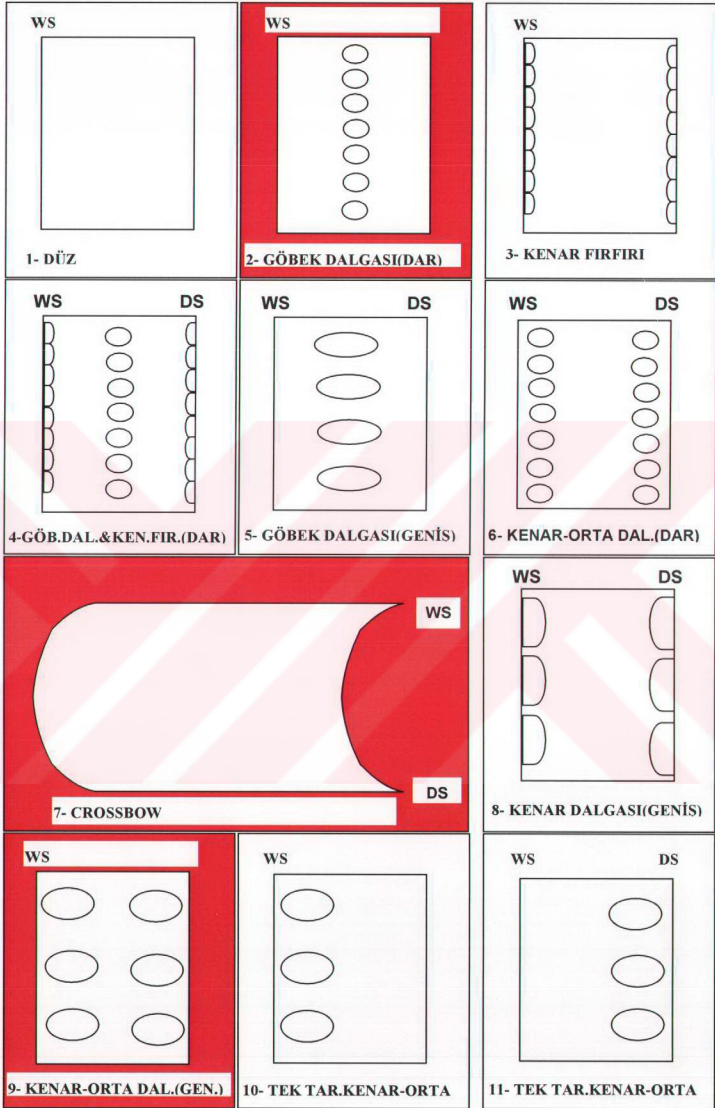
RCM SON PASO KALINLIK / HIZ GRAFİĞİ



RCM Çıkış Kalınlığı	(mm)	0,50
Kalınlık Toleransı	(μm)	18

DIN standardının 1/2 'sine uygun olarak hesaplanmıştır.

Şekil 7.16 Bobin no:A9 crown uygunluk analizi



Şekil 7.17 Bobin no: A9 ECL hattında dalga durumu

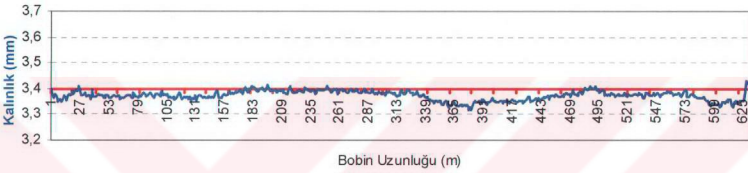
BOBİN KALINLIK ANALİZİ

HAMMADDE BİLGİLERİ

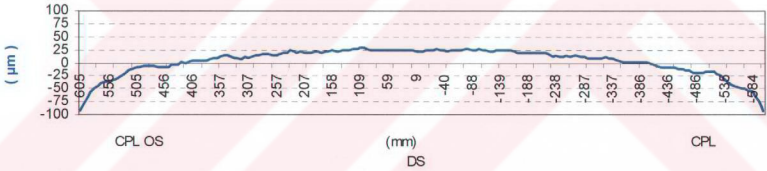
Bobin Numarası		B14
Set Kalınlığı	(mm)	3,40
Genişlik	(mm)	1253
Crown40	(μm)	78,0
Crown40	(%)	2,30
Asimetriklik40	(μm)	2
Menşei		MAG
Üretici Bobin No		303
Parti No		31

Mevcut Uygunsuzluklar

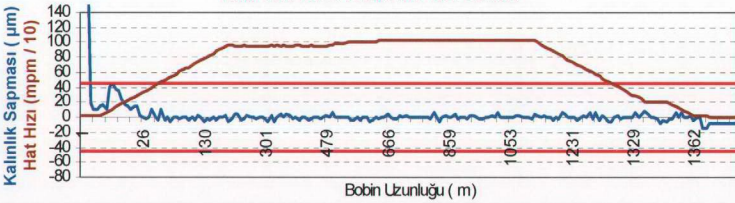
HAMMADDE ORTA NOKTA KALINLIK ÖLÇÜMÜ



HAMMADDE KALINLIK PROFİLİ



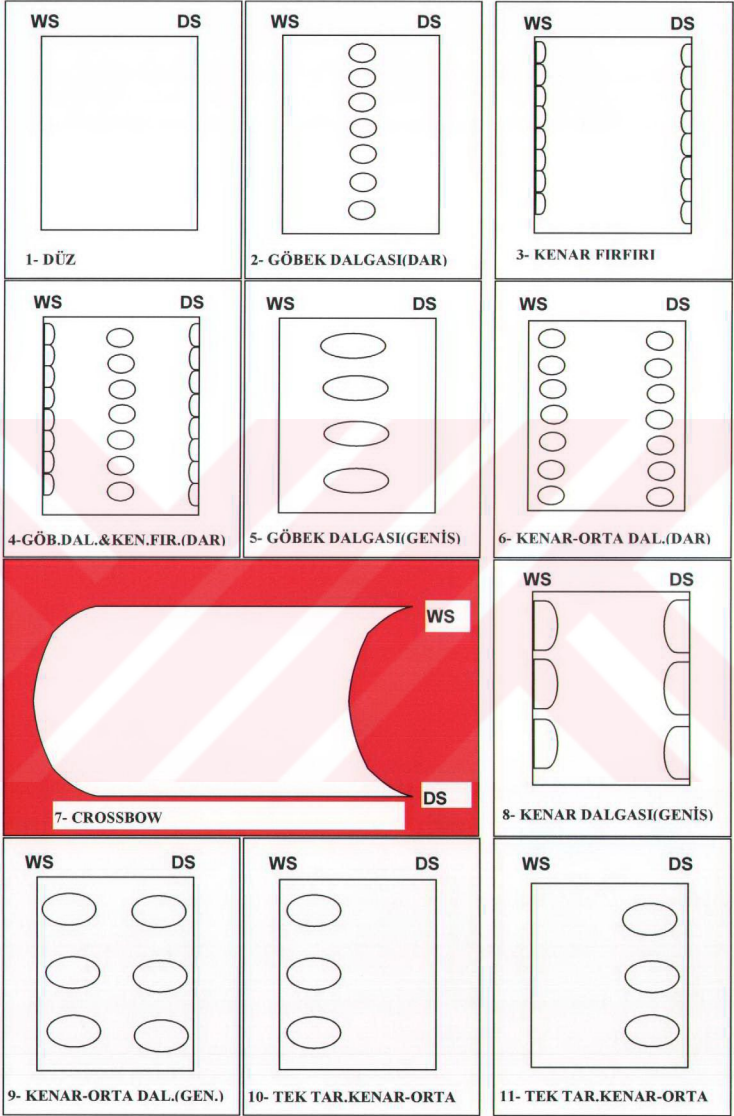
RCM SON PASO KALINLIK / HIZ GRAFİĞİ



RCM Çıkış Kalınlığı	(mm)	1,50
Kalınlık Toleransı	(μm)	45

DIN standardının 1/2 'sine uygun olarak hesaplanmıştır.

Şekil 7.18 Bobin No: B14 düzgün crown analizi



Şekil 7.19 Bobin no: B14 ECL hattında dalga durumu

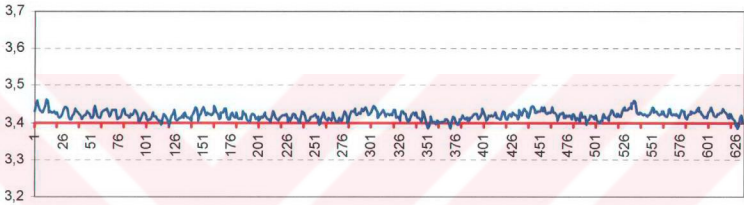
BOBİN KALINLIK ANALİZİ

HAMMADDE BİLGİLERİ

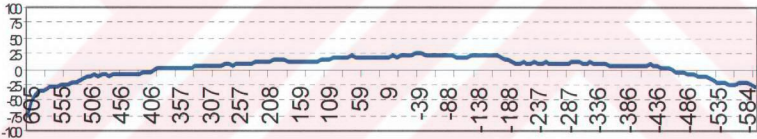
Bobin Numarası	B19
Set Kalınlığı	(mm) 3,40
Genişlik	(mm) 1252
Crown40	(μm) 50,0
Crown40	(%) 1,46
Asimetriklik40	(μm) 14
Menşei	CHE
Üretici Bobin No	158009
Parti No	90

Mevcut Uygunsuzluklar

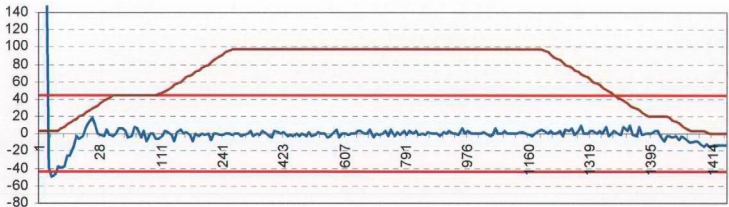
HAMMADDE ORTA NOKTA KALINLIK ÖLÇÜMÜ



HAMMADDE KALINLIK PROFİLİ

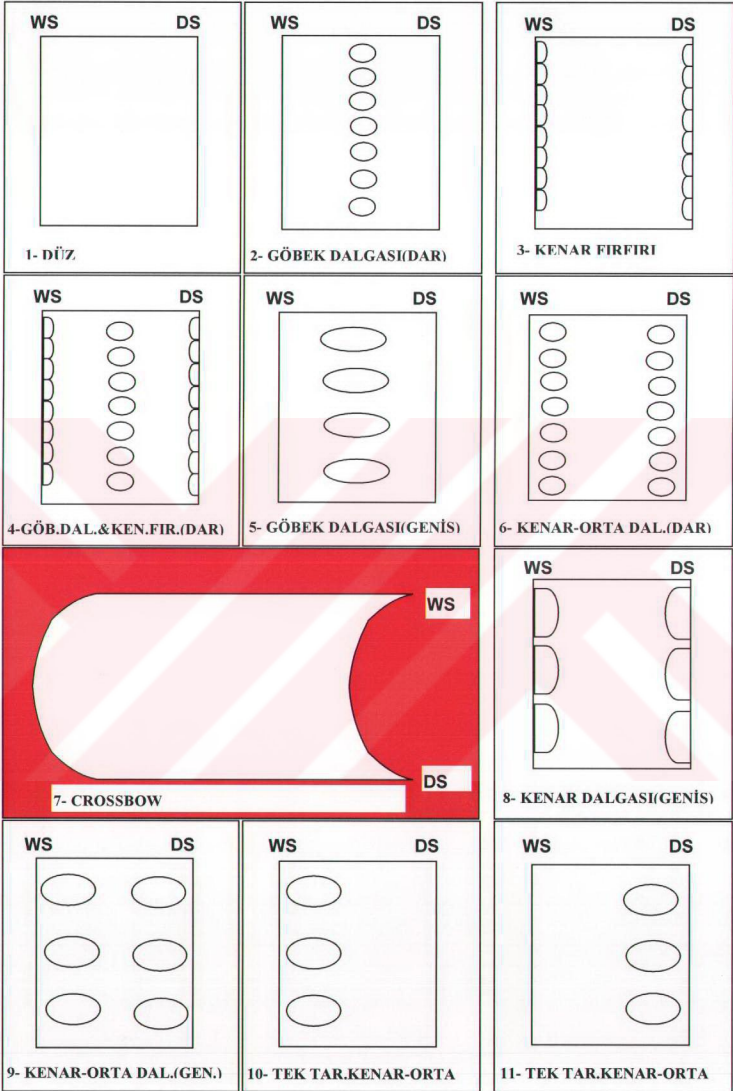


RCM SON PASO KALINLIK / HIZ GRAFİĞİ



RCM Çıkış Kalınlığı	(mm)	1.48
Kalınlık Toleransı	(μm)	44

Şekil 7.20 Bobin no: B19 düzgün crown analizi



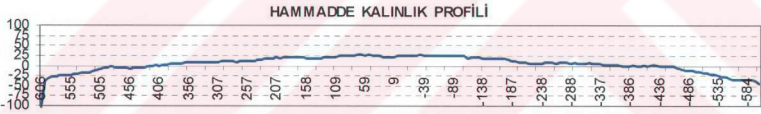
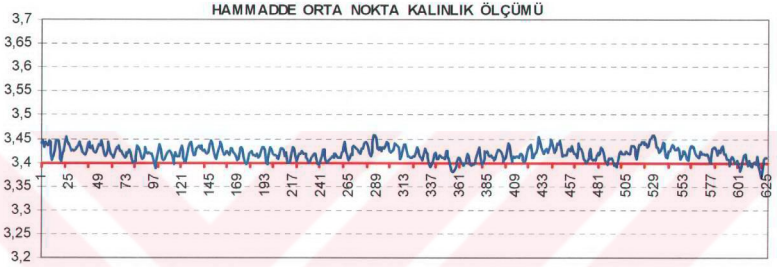
Şekil 7.21 Bobin No: B19 ECL hattında dalga durumu

BOBİN KALINLIK ANALİZİ

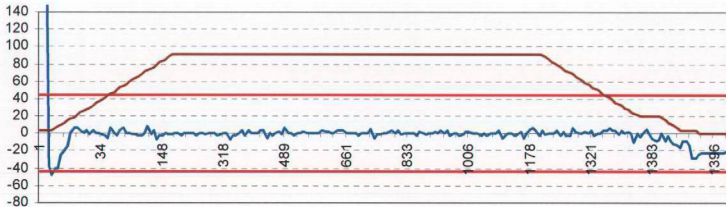
HAMMADDE BİLGİLERİ

Bobin Numarası		B18
Set Kalınlığı	(mm)	3,40
Genişlik	(mm)	1250
Crown40	(μm)	54,5
Crown40	(%)	1,60
Asimetriklik40	(μm)	7
Menşei		CHE
Üretici Bobin No		158004
Parti No		90

Mevcut Uygunsuzluklar



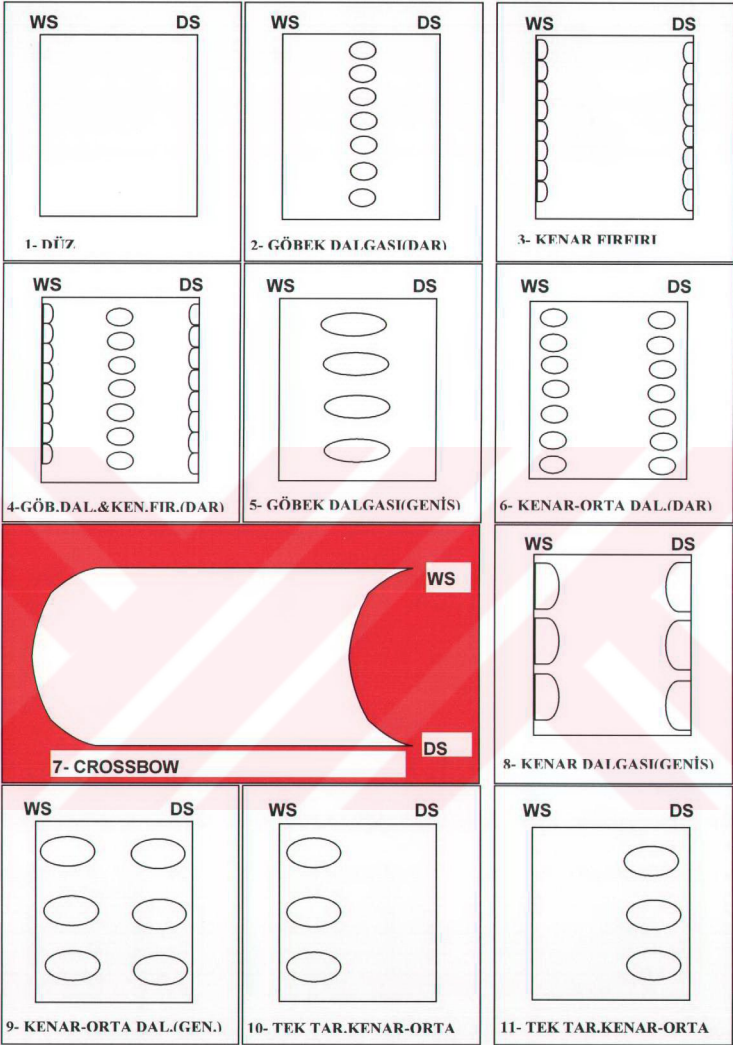
RCM SON PASO KALINLIK / HIZ GRAFIĞI



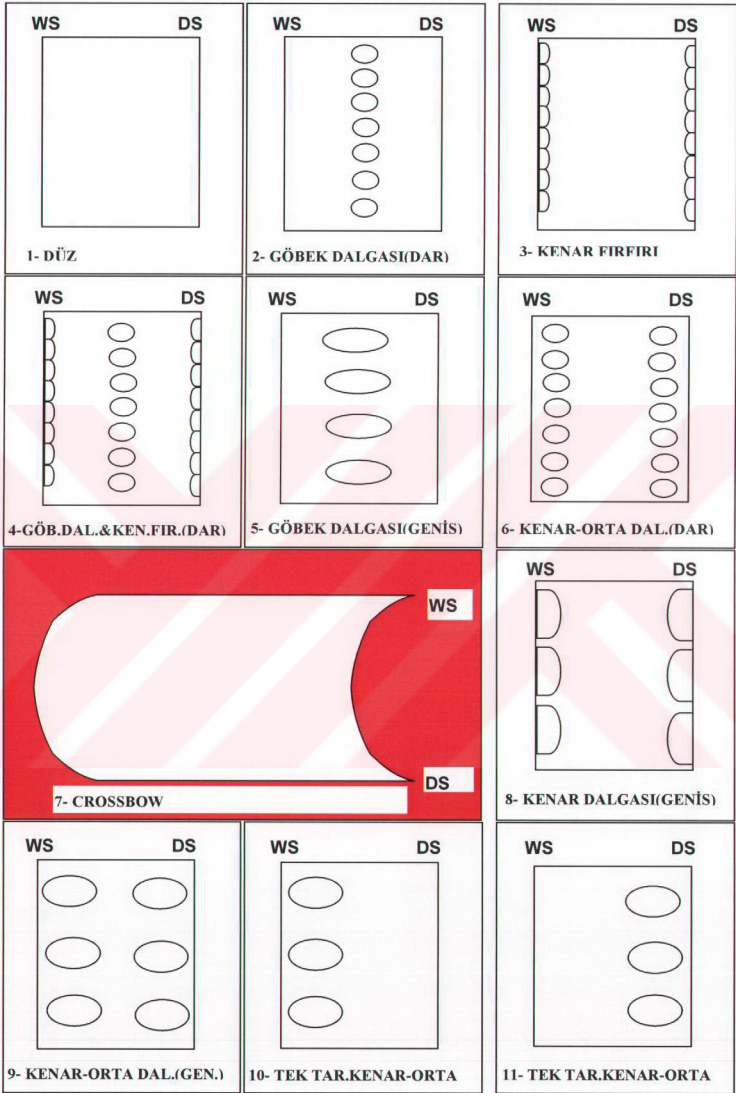
RCM Çıkış Kalınlığı	(mm)	1,48
Kalınlık Toleransı	(μm)	44

DIN standardının 1/2 'sine uygun olarak hesaplanmıştır.

Şekil 7.22 Bobin no: B18 düzgün crown analizi



Şekil 7.23 Bobin no: B18 ECL hattında dalga durumu



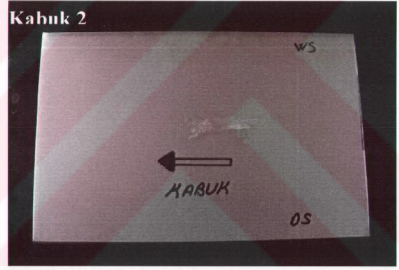
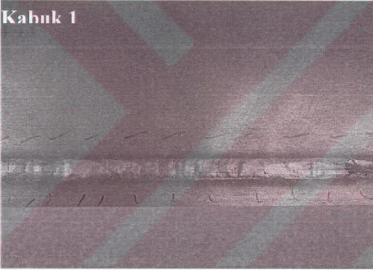
Şekil 7.25 Bobin no: A15 ECL hattında dalga durumu

7.4 Yüzey Hataları

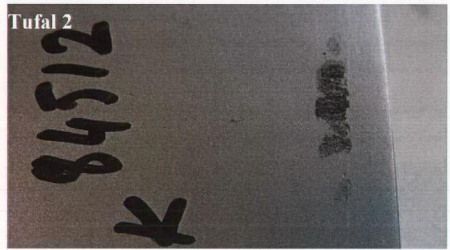
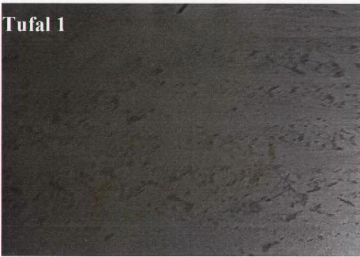
Yüzey hataları çalışmaları göz önüne alındığında çalışan sektörlerle bağlı olarak her hata tipine göre görünür ve görünmez yüzeylerde kullanılan malzemenin kullanım kararı verilir. Fotograflardan da anlaşılacağı gibi ağır hataların kabuk, delik, kat gibi olanları görünür ve görünmez yüzeylerde kullanılamazlar. Bu sebepten; bu hata tiplerinin prosesin kontrolü ile engellenmesi temel hedeftir.

Hafif olan hatalar görünmeyen yüzeylerde kontrollü olarak kullanılabilirler .Özellikle otomotiv ve beyaz eşya sektörlerinde hayati önem taşıyan yüzey özellikleri tüm proses kademelerinde çeşitli metodlarla kontrol edilerek sınıflandırılır ve kullanımlarına veya redlerine karar verilir.

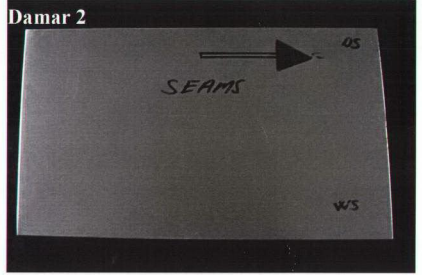
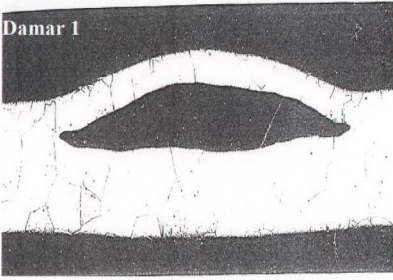
Kontroller sırasında kullanımlara etki edecek yüzey hataları fotoğraflanmış ve bu hatalar ayıklanarak malzemeler hedef müşterilerine gönderilmişlerdir. Eğer bu hatalar bobin boyunca devam ederse yüzey özelliklerinin önem taşıdığı müşterilere gönderilemezler.



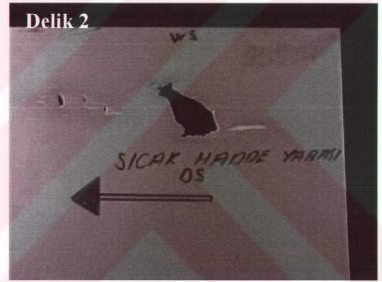
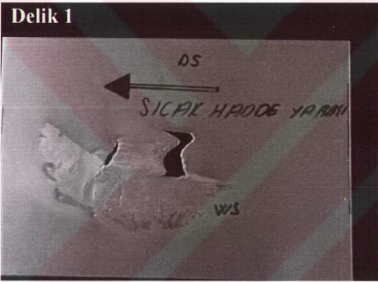
Şekil 7.26 Kabuk



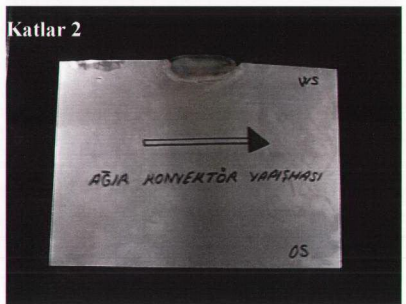
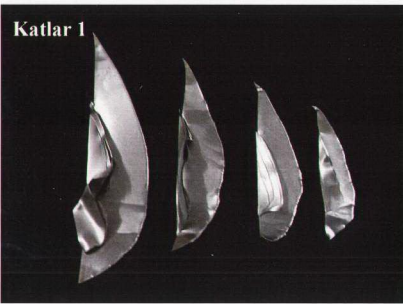
Şekil 7.27 Tufal



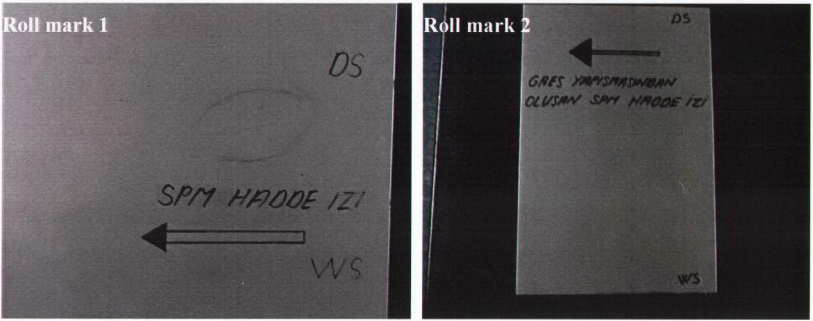
Şekil 7.28 Damar



Şekil 7.29 Delik



Şekil 7.30 Katlar



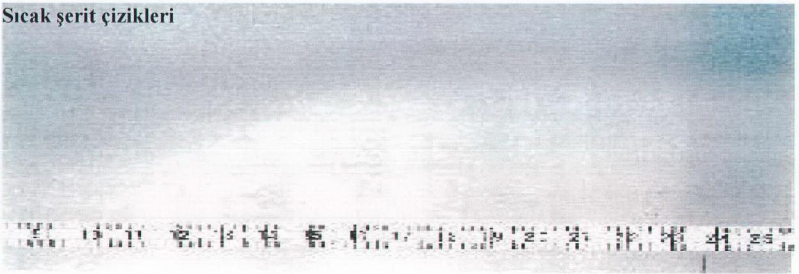
Şekil 7.31 Roll mark

Ateş çatlağı



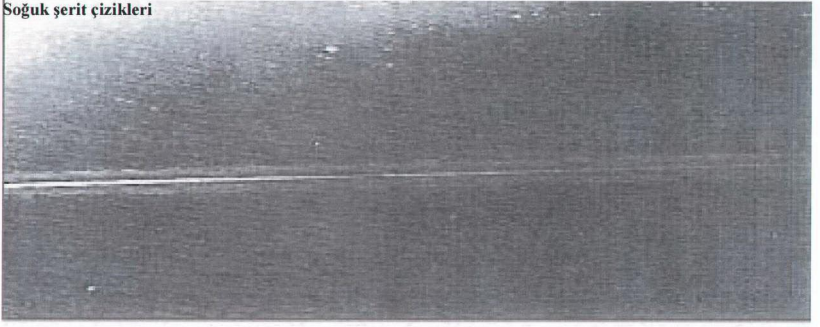
Şekil 7.32 Ateş çatlağı

Sıcak şerit çizikleri



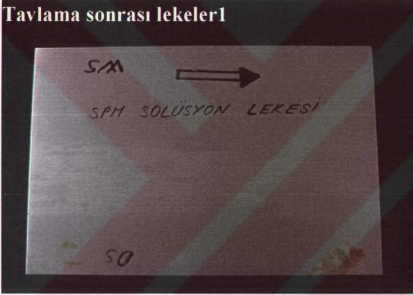
Şekil 7.33 Sıcak şerit çizikleri

Soğuk şerit çizikleri

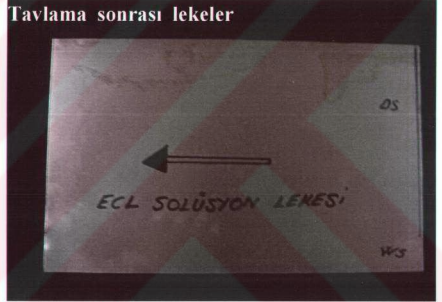


Şekil 7.34 Soğuk şerit çizikleri

Tavlama sonrası lekeler I

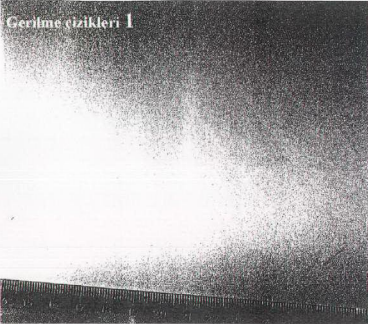


Tavlama sonrası lekeler

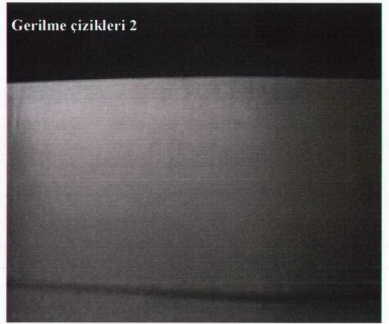


Şekil 7.35 Tavlama sonrası lekeler

Gerilme çizikleri 1

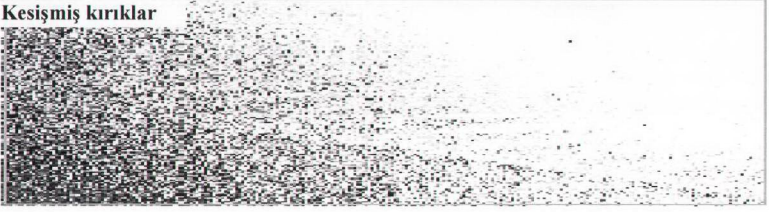


Gerilme çizikleri 2



Şekil 7.36 Gerilme çizikleri

Kesilmiş kırıklar



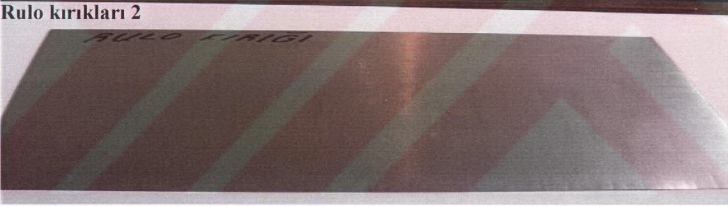
Şekil 7.37 Kesilmiş kırıklar

Yapışma kırıkları



Şekil 7.38 Yapışma kırıkları

Rulo kırıkları 2



Şekil 7.39 Rulo kırıkları



Şekil 7.40 Portakallanma

Pas 1



Pas 2



Şekil 7.41 Pas

7.5 Metallografik İnceleme

Aşağıdaki şekillerde metallografik yapı incelemesi sırasında alınan fotoğraflar belirtilmiştir.



Şekil 7.42 St 22 hammaddeden St 12 final ürüne kadar metalografik inceleme sonuçları

ST23-ST13 METALOGRAFİK YAPISI



HRC



RCM:1.PASO



RCM:2.PASO



RCM:4.PASO



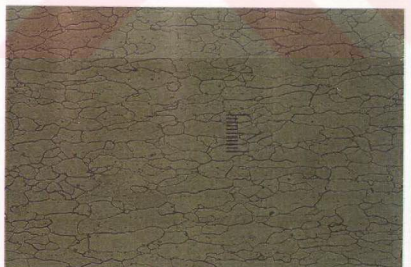
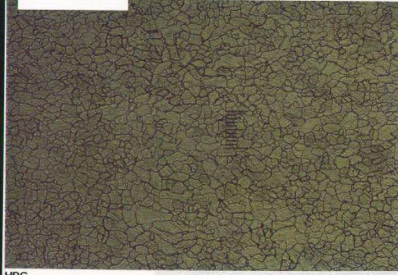
BAF



SPM

Şekil 7.43 St 23 hammaddeden St 13 final ürüne kadar metalografik inceleme sonuçları

ST24-ST14 METALOGRAFİK YAPISI



Şekil 7.44 St 24 hammaddeden St 14 final ürüne kadar metalografik inceleme sonuçları

Deney malzemelerine uygulanan metallografik analiz sonucuna göre malzemelerde 2 seviyesini geçen hiçbir inklüzyona rastlanmamıştır. 2 seviyesi beyaz eşya ve otomotiv sektöründe kabul edilir seviyedir.

Hedeflenen yapı olarak seçilen eşeksensiz (pancake yapı) yapı elde edilmiş olup malzemeler derin çekmeye ve/veya preste form vermeye uygun olarak bulunmuştur. Bunun sıcak haddeleme sonrasında ALN'lerin çözeltiye alındığının ve verilen redüksiyon ve uygun tavlama sonucunda ALN'lerin tavlama sırasında çökerek istenen yapının elde edildiğinin göstergesi olarak kabul edilmiştir.

Konuyla ilgili metalografik inceleme fotoğrafları Şekil 7.42, 7.43, 7.44'de sunulmuştur.

7.6 Son Kullanımyerlerine Göre Değerlendirme

Çizelge 7.4 de verilen final kontrol sonuçlarına göre hedef sektörlerle gönderilememe nedenleri ve yüzdeleri görülebilmektedir.

Final değerlendirme sonuçlarından da gözleneceği (sapma oranı%6,67) gibi otomotiv sektörü en yüksek kalite beklentisine sahip ve buna bağlı olarak en zor imalat koşullarını gerektiren sektördür. Bunu beyaz eşya 3.33 sapma oranı ile takip etmekte olup ,genel endüstri sektörü için sapma tespit edilmemiştir. Bu değerlendirme sonuçlarına göre otomotiv sektörünü kalite talepleri açısından takip eden sektör beyaz eşya sektörüdür.

Otomotiv ve beyaz eşya sektörlerinin yüksek kalite talepleri günümüzdeki gelişmiş üretkenlik beklentileri ve üretim kabiliyetleri malzemelerde kimyasal kompozisyon problemlerinin büyük oranda aşıldığını ama bunun yanı sıra termal ve bazı özel proseslerin (tavlama-haddelem v.b) kontrollerindeki güçlükler nedeniyle yüzey görünümü yüzey temizliği profil (ondülasyon) ve mekanik özellikler açısından hala gelişmeye açık alanlar olduğunu ve bu etkilere maruz kalan ürünlerin kontrol ve sınıflandırma metodları ile kullanılabildiği sonucu ortaya çıkmıştır.

Çizelge 7.4 Final değerlendirme

Müzame girin başlığı	Bahin No	Müzame çıkış başlığı	Döküm No	Giriy bahinli(CR)	Giriy genişli(CR)	Çıy bahinli(CR)	Çıy genişli(CR)	Redüksiyon %	Müteer Grupları	Re	Rm	A%	Mekanik Özellikler n	Tayıp edben Hatahar	Aksiyon
ST23	B15	ST13	33722	3,00	1040	0,90	1040	70	Önemli	201	301	40,0	2,33	0,20	43
ST23	B16	ST13	23755	3,00	1040	0,90	1040	70	Önemli	191	301	38,8	1,91	0,21	48
ST23	B17	ST13	33722	3,00	1040	0,90	1040	70	Önemli	191	301	38,8	1,91	0,21	48
ST23	B18	ST13	23757	3,40	1040	1,48	1040	57	Genel Endüstri	204	309	38,4	2,13	0,19	45
ST23	B19	ST13	33722	3,40	1040	0,90	1040	57	Genel Endüstri	199	298	39,7	2,88	0,19	45
ST23	B20	ST13	23756	3,00	1040	0,90	1040	70	Genel Endüstri	193	302	41,3	2,81	0,20	46
ST23	B21	ST13	23756	3,00	1040	1,17	1040	61	Genel Endüstri	190	303	39,7	2,46	0,20	44
ST23	B22	ST13	33888	3,00	1040	0,90	1040	70	Önemli	204	302	36,5	2,19	0,19	46
ST23	B23	ST13	33722	3,00	1040	0,90	1040	70	Önemli	196	301	38,3	2,60	0,20	45
ST23	B24	ST13	23757	3,00	1040	0,90	1040	70	Önemli	202	308	40,3	1,90	0,21	45
ST23	B25	ST13	23756	3,00	1040	0,90	1040	70	Önemli	204	301	38,9	2,18	0,19	46
ST23	B26	ST13	23756	3,00	1040	0,90	1040	70	Önemli	204	301	38,9	2,18	0,19	46
ST23	B27	ST13	23756	3,00	1040	0,90	1040	70	Önemli	204	301	38,9	2,18	0,19	46
ST23	B28	ST13	23756	3,00	1040	0,90	1040	70	Önemli	201	302	37,5	2,13	0,19	47
ST23	B29	ST13	23756	3,00	1040	0,90	1040	70	Önemli	201	302	37,5	2,13	0,19	47
ST23	B30	ST13	33722	3,00	1040	0,90	1040	70	Önemli	190	303	39,7	2,46	0,20	44
ST24	C1	ST14	37011	2,30	1070	0,70	1070	70	Önemli	150	279	42,2	2,16	0,25	34
ST24	C2	ST14	37011	2,30	1070	0,70	1070	70	Önemli	150	279	42,2	2,16	0,25	34
ST24	C3	ST14	37011	2,30	1070	0,70	1070	70	Önemli	150	279	42,2	2,16	0,25	34
ST24	C4	ST14	37011	2,30	1070	0,70	1070	70	Önemli	150	279	42,2	2,16	0,25	34
ST24	C5	ST14	26195	2,00	1085	0,70	1085	65	Önemli	156	283	40,5	2,21	0,24	35
ST24	C6	ST14	26191	2,00	1085	0,70	1085	65	Önemli	158	291	42,4	2,37	0,24	38
ST24	C7	ST14	26191	2,00	1085	0,70	1085	65	Önemli	158	291	42,4	2,37	0,24	38
ST24	C8	ST14	26191	2,00	1085	0,70	1085	65	Genel Endüstri	162	294	42,2	2,34	0,24	38
ST24	C9	ST14	37011	2,30	1070	0,70	1070	70	Genel Endüstri	156	284	42,2	2,34	0,24	38
ST24	C10	ST14	26193	2,00	1085	0,70	1085	65	Genel Endüstri	162	294	42,2	2,34	0,24	38
ST24	C11	ST14	26195	2,00	1085	0,70	1085	65	Önemli	149	288	43,1	2,75	0,25	35
ST24	C12	ST14	26195	2,00	1085	0,70	1085	65	Genel Endüstri	149	288	43,1	2,75	0,25	35
ST24	C13	ST14	26193	2,00	1085	0,70	1085	65	Genel Endüstri	158	291	42,4	2,37	0,24	38
ST24	C14	ST14	37011	2,30	1070	0,70	1070	70	Önemli	156	283	40,5	2,21	0,24	35
ST24	C15	ST14	26195	2,00	1085	0,70	1085	65	Önemli	149	288	43,1	2,75	0,25	35
ST24	C16	ST14	26195	2,00	1085	0,70	1085	65	Önemli	158	291	42,4	2,37	0,24	38
ST24	C17	ST14	26193	2,10	1210	0,80	1210	62	Genel Endüstri	164	282	43,9	2,38	0,23	38
ST24	C18	ST14	26197	2,10	1210	0,80	1210	62	Genel Endüstri	164	282	43,9	2,38	0,23	38
ST24	C19	ST14	26197	2,10	1210	0,80	1210	62	Genel Endüstri	164	282	43,9	2,38	0,23	38
ST24	C20	ST14	33296	3,00	1265	0,80	1265	68	Genel Endüstri	168	282	43,9	2,38	0,23	42
ST24	C21	ST14	22412	2,50	1265	0,80	1265	68	Genel Endüstri	168	282	43,9	2,38	0,23	42
ST24	C22	ST14	33296	3,00	1265	0,80	1265	68	Genel Endüstri	168	282	43,9	2,38	0,23	42
ST24	C23	ST14	22411	2,20	1265	0,50	1265	77	Önemli	177	297	39,3	2,29	0,22	38
ST24	C24	ST14	26197	2,10	1210	0,80	1210	62	Genel Endüstri	168	286	40,2	2,69	0,22	38
ST24	C25	ST14	33296	3,00	1265	1,00	1265	67	Genel Endüstri	158	283	39,3	2,54	0,24	42
ST24	C26	ST14	33297	3,00	1265	1,20	1265	60	Genel Endüstri	166	293	41,9	2,23	0,22	40
ST24	C27	ST14	22412	2,40	1265	0,80	1265	68	Genel Endüstri	162	272	41,5	2,70	0,22	38
ST24	C28	ST14	22411	2,20	1265	0,50	1265	77	Genel Endüstri	183	299	38,1	2,71	0,22	42
ST24	C29	ST14	22411	2,20	1265	0,50	1265	68	Genel Endüstri	172	293	38,9	2,75	0,23	36
ST24	C30	ST14	22411	2,20	1265	0,70	1265	68	Genel Endüstri	191	303	38,0	2,40	0,22	50

Çaşı yerlere hafif olmasına rağmen bu sektörde

kaldırdırmaz daha önceki bularda görülmüştür

Kullanılabilir

Kullanılabilir

Kullanılabilir

Kullanılabilir

Kullanılabilir

Kullanılabilir

Kullanılabilir

Kullanılabilir

Kullanılabilir

Kullanılabilir

Kullanılabilir

Kullanılabilir

Kullanılabilir

Kullanılabilir

Kullanılabilir

Kullanılabilir

Kullanılabilir

Kullanılabilir

Kullanılabilir

Kullanılabilir

Kullanılabilir

Kullanılabilir

Kullanılabilir

Kullanılabilir

Kullanılabilir

Kullanılabilir

Kullanılabilir

Kullanılabilir

Kullanılabilir

Kullanılabilir

Kullanılabilir

Kullanılabilir

Kullanılabilir

Kullanılabilir

Kullanılabilir

8. SONUÇLAR

Bu çalışmanın sonucunda aşağıda belirtilen proses parametrelerinin kullanılması halinde ve girdi hammaddesi olarak kullanılan sıcak haddelenmiş bobin kalitesinin hatasız olduğu kabulü ile endüstriyel koşullarda kabul edilebilir hata seviyesine sahip soğuk haddelenmiş malzeme eldesi mümkün olacağı belirlenmiştir.

Tüm soğuk haddeleme prosesleri boyunca kullanılan dönen parçalar ve sürtünme hatalarına neden olabilecek tüm makina ekipmanlarının doğru fonksiyonlara sahip olması sağlanmalıdır.

Seçilen Asitleme Parametreleri

Çizelge 8.1 Asitle yüzey temizleme parametreleri

ASİTLE YÜZEY TEMİZLEME (HCL)	
1.Tank Max Fe %	130 gr/ltr
1.Tank sıcaklığı	85 ⁰ C
2.Tank Maks Fe %	100 gr/ltr
2.Tank sıcaklığı	85 ⁰ C
3.Tank Maks Fe %	80 gr/ltr
3.Tank sıcaklığı	80 ⁰ C
HCl % min	170 gr/Ltr
Hat Hızı	100-150 m/dk
1. tank sıcaklığı	
Durulama suyu iletkenliği maks.	17 micro siemens

Soğuk Haddeleme Parametreleri

Çizelge 8.2 Soğuk hadde parametreleri

Soğuk Haddeleme sıvısının analiz sonuçları ve parametreler	
Emülsiyon sıcaklığı	45-60 ⁰ C
Konsantrasyon %	2-3,25
İletkenlik (microsiemens) maks.	200
Demir miktarı ppm max.	350
Cl miktarı ppm	İstenmiyor
Hat hızı	1000-1500 m/dak.
Redüksiyon miktarı %	50-80

Tavlama Parametreleri

2 adet bobinde hafif oksidasyon gözlenmesi nedeniyle açma sıcaklıkları başlangıç sıcaklıklarından 5°C düşük seçilmiştir.

Çizelge 8.3 Tav parametreleri

TAV PARAMETRELERİ						
KALİTE	GENİŞLİK	KADE TONAJI MİN.	KAİDE SICAKLIKLARI	ISITMA EN AZ (SAAT)	TUTMA (SAAT)	ISITMA C/DK
ST12	W<1200	45 TON	680	15	10,5	0,62
ST12	1200<W<1400	45 TON	680	15	13	0,62
ST12	>=1400	45 TON	680	15	14	0,62
ST12	W<1200	45 TON	730	19	10,5	0,55
ST12	1200<W<1400	45 TON	730	19	13	0,55
ST12	>=1400	45 TON	730	19	14	0,55
ST12	W<1200	45 TON	740	21	10,5	0,5
ST12	1200<W<1400	45 TON	740	21	13	0,5
ST12	>=1400	45 TON	740	21	14	0,5

Koruyucu atmosfer HNX
%3,5-4 H₂

HNX DEBİSİ;

TAV: 15/25 Nm³/h;

KAİDE AÇMA
SICAKLIKLARI

800mm-1000mm=95⁰C

1100mm-1300mm=90⁰C

1300-1500=88⁰C

Temper Hadde Parametreleri

Çizelge 8.4 Temper hadde parametreleri

TEMPER HADDE

ST12	% 1,0-1,10	
ST13	%0,80-1,0	
ST14	%0,60-0,70	
YAĞLAMA	4 GR/M2	
SOLÜSYON KONSANTRASYONU	%2,9-3,1	
HIZLAR	0,25-0,50	1100 M/DK
	0,51-1,00	800 M/DK
	1,01-3,00	600 M/DK
YAĞ SICAKLIĞI	55-60 M/DK	
MERDANE PÜRÜZLÜLÜĞÜ		

KAYNAKLAR

4th International Steel Conference, (1987), "Problems Of Strip Cleanliness With The Use Of Hi-Chrome Rolls In Cold Tandem And Temper Mills", 1-3 June Leveque, R (Usinor)

Ascough H.H., (1958), "The Annealing of Cold Reduced Sheet and Coil in Europe", Lee Wilson Engineering Co. Cleveland.

Braud Y., Pierrard H., (1984), "Technical Innovation In The Field Of Reheating Furnaces", March Revuede Metalurgie.

Brun D. Cazes J.F. Westwood C.J., (1993), "New Developments In Furnace Design", March Steel Times

Bryant., (1973), "Automation Of Tandem Mills", Iron Steel Institute

Bullens, D.K., (1952), "Steel and Its Heat Treatment", Vol.III, Wiley , New York.

Downey G., (1996), "Selective Differential Roll Cooling In Relation To Strip Flatness & Shape Control", March 25-27, International Conference On The Control Of Profile And Flatness, Birmingham, England.

Flemings M.C., (1974), "Solidification", Mac Graw – Hill.

Ford H., (1959-60), Alexander Ins. Metals.

Forster B., (1995), "Coolant Application Concepts For Rolling Mills", AISE Iron And Steel Exposition And Annual Convention, Pittsburg, PA USA Sept.25-28

Fruehan R.J., (1976), "Vacuum Degassing Of Steel", A Publication Of The Iron And Steel Soc.

Hill D.R.And Gray L.E., (1981), Iron And Steel Engineer.

Hill R., (1950), "The Mathematical Theory Of Plasticity", Charendon Press Oxford.

Kawwabe J., Fujinagat Kimura H., Oshiba Abe T. ve Takanashi, (1986), "Kawasaki Steel", Giho 18, 129

Knox T.J., (1985), "Development And Operation Of Automatic Flatness Control", Advances In Cold Rolling Technology Conference, London, UK Sept.

Kopineck H.J., (1992), Dusseldorf Conference On Progress In Measurements And Testing In The Iron And Steel Industry, December

Lankford William T., Norman L., Somways Craven Robert F. ve McGannon Harold E., (1985), "The Making, Shaping Heating Of Steel", United States Steel Association Of Iron And Steel Engineers.

Mc Queen H.J. Jonas J.J., (1975), "Treatise On Materials Science And Technology", Vol.6, Plastic Deformation Of Materials

Mızıkarcı E.A., (1970), "Iron And Steel Engineer Year Book", Pittsburgh, PA, Association Of Iron And Steel Engineers

Nadai A., (1931), Plasticity Mac Graw – Hill

Nukiyama S.J., (1934), Soc. Mech. Eng.

Orowan E., (1943), The Calculation Of Roll Pressure

Raudensky M, Bending L, Horsky J., (1995), "Spray Parameters And Heat Transfer Coefficients Of Spray Nozzles For Continuous Casting", 78th Steelmaking , 54th Ironmaking , and 13th Process Technology Conference, Nashville ,TN, USA, April 2-5

Raudensky M., Bending L, Horsky J., (1995), "Experimental Study Of Heat Transfer In Process Of Rolls Cooling Mills By Water Jets"

Roberts W.L., (1972), Cold rolling of Steel

Roberts W.L., (1972), Hot rolling of Steel

Samuel P., Quarrell A.G.J., (1956), Iron Steel Inst., 182, 20

Schewe H.F., (1987), "Continuous Casting Of Steel Fundamental Principles And Practice", Stahl und Eisen.

Schmitt J.H., (1992), "Structure D'écrouissage A Froid Et Recristallisation", CESSID Metallurgie.

Serena G., (1993), La Revue de metallurgie CIT

Sims R.B., (1954), Proc. Inst. Of Mechanical Eng. Calculation of Roll Force and Torque in Hot rolling.

- Spooner P.D., Macdonald I.R. and Bryant G.F., (1985), Control And Strip Shape, Advances In Cold Rolling Technology Conference, London, UK Sept.
- Stevens P.G. et al I.I.S.I., (1971), Increasing Work Roll Life By Roll Cooling Practice, Jan.
- Tylecote R.F., (1976), "A History Of Metallurgy", The Metals Society, London.
- Tani K., Ito S., Ban S., Kigawa Y., Mizuta A., Kokubo I. ve Teramoto A., (1985), "Installation Of High Cold Rolling Mill With Roll Coolant Devices And Their Performance", Advances In Cold Rolling Technology Conference, London, UK, Sept.
- Tani K., Mizuta Ito S., Naito Y., Nawamas K. Ban, Kokubo I., (1984), "Shape Control By Roll Coolant In A Tandem Cold Rolling Mill", Advanced Technology Of Plasticity.
- Togai K., (1986), "An Application Of Advanced Control Theory On Shape Control For Thin Strip Rolling", IFAC Automation In Mining, Mineral And Metal Processing, Tokyo, Japan.
- Verlag Stahleisen, (1983), "Surface Defects on Cold Rolled, Uncoated Sheet". Mbh Düsseldorf.
- Verlag Stahleisen, (1983), "Surface Defects on Hot Rolled, Uncoated Sheet", Mbh Düsseldorf.
- Ward J.H.D., (1972), Iron Steel Inst., 210, 396
- Wilson D.V., (1969), Metallurgical Reviews 14, 175
- Yuen W.Y.D., (1988), "Effective Cooling Of Work Rolls In Strip Rolling", Materials Science and Technology, July.
- Yuen W.Y.D., Ellen C.H., And Proctor I.A., (1985), "Thermal Effects In Cold Rolling", Advanced Technology Conference, London, UK, Sept.

EK 1 Kullanılan Deney Cihazları

<u>İşlev</u>	<u>Teknik Özellikler</u>	<u>Üretici</u>			
Sertlik Ölçme	Rockwell, Brinel, Vickers (15kg-250kg)	Wolpert Yüzey Mevag Türkiye	HT Sertlik Ölçme	1 A	Cihazı
Numune Çıkartma Kalıbı	Yükleme kapasitesi=120KN DIN 50114 Standartları	Zwick 7112 Almanya	Numune	Çıkartma	
Numune Tamamlama Kalıbı		Zwick 7120 Almanya	Numune	Tamamlama	
Test Cihazı	Yükleme kapasitesi=100KN	Zwick Almanya	1476	Test	Cihazı
Numune Taşlama ve Parlatma Makinası		Buehler İngiltere	/	Motopol	2000
Numune Taşlama ve Parlatma Makinası		Buehler İngiltere	/	Motopol	2000
Numune Kesme Makinası		Buehler İngiltere	/	Metasery	2000 2
Numune Taşlama Makinası		Breitlander Almanya	Pendulum	Taşlama	
Spektrometre	Nitrojen dahil 17 element analizi içerir.	ARL İsviçre	3460	Metal	Analiz
Bakalite Alma Presi	Otomatik elektrohidrolik pres	Buehler Mounting İngiltere	Simpliment	3 Press	
Metalurjik Mikroskop	2000 x büyütme	OLYMPUS PME 3-311	Metalurjik	Mikroskop	
Test Cihazı	Yükleme kapasitesi=100T	AİŞA Test Türkiye		Universal Cihazı	
Mikroskop	1000 x büyütme	OLYMPUS CH Japonya		Mikroskop	2
Sertlik Ölçme	Rockwell, Brinel, Vickers (15kg-150kg)	Mitutoya ATK-600 Japonya			
Yüzey Pürüzlülüğü	Pürüzlülük	Mitutoya SJ-201 Japonya			

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	:28.01.1959
Doğum yeri	:İstanbul
Lise	:Gölcük Barbaros Hayrettin Lisesi
Lisans	:İ.T.Ü. Kimya Metalurji Fakültesi Metalurji Bölümü
Yüksek lisans	:Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji Mühendisliği Ana Bilim Dalı Malzeme Programı

Çalıştığı kurumlar

1999-	Bamesa Çelik Sanayi ve Ticaret AŞ
1994-1999	Borçelik Çelik Sanayi AŞ
1987-1992	Parsan Çelik Parça ve Dövme Sanayi AŞ
1983-1987	Pankurt Isıl İşlem Sanayi ve Ticaret AŞ