



**MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**SICAK HADDELEMEDE TEMPCORE PROSESİ**

**BAHRİ İKİZ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Antakya/HATAY**

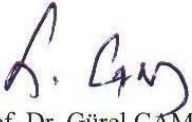
**HAZİRAN-2009**

**MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**


**SICAK HADDELEMEDE TEMPCORE PROSESİ**

**BAHRİ İKİZ**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Prof. Dr. Gürel ÇAM danışmanlığında hazırlanan bu tez 10/06/2009 tarihinde aşağıdaki juri üyeleri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

  
Prof. Dr. Gürel ÇAM  
Başkan

  
Prof. Dr. Semir ÖVER  
Üye

  
Yrd. Doç. Dr. Selçuk MISTIKOĞLU  
Üye

Bu tez Enstitümüz Makine Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

**Kod No:**

Prof. Dr. Bünyamin YILDIZ  
Enstitü Müdür V.

**Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	I
ABSTRACT .....	II
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	III
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	V
1. GİRİŞ .....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	2
2.1. Haddelemenin Tarihçesi .....	2
2.2. Haddelemenin Esası .....	3
2.3. Haddelemenin Sınıflandırılması .....	3
2.3.1. Soğuk Haddeleme .....	3
2.3.2. Sıcak Haddeleme .....	4
2.4. Hadde Tesislerinin Sınıflandırılması .....	5
2.4.1. Büyüklüklerine Göre .....	5
2.4.2. Hadde Mamülüne Göre .....	5
2.4.3. Çalışma Tarzına Göre .....	5
2.5. Haddehane Üretim Akışı .....	6
2.6. Plastik Şekil Verme İşlemlerinde Kullanılan Tav Fırınları .....	8
2.6.1. Tav Çukurları .....	9
2.6.2. Yeniden Isıtma Fırınları .....	11
2.6.2.1. Yığılma Tipi Fırınlarda .....	11
2.6.2.2. İtmeli Fırınlarda .....	11
2.6.2.3. Döner Hazneli Fırınlarda .....	12
2.6.2.4. Yürür Kirişli Ve Makaralı Hazneli Fırınlarda .....	12
2.6.2.5. Elektrik Enerjili Fırınlarda .....	12
2.6.3. Tavlama Ortamı .....	13
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	16
3.1. Tempcore Prosesi .....	16

3.1.2. Tempcore Ünitesinin Tanıtımı.....	20
3.1.3. Soğutma Düzenekleri.....	22
3.1.4. Soğutma Düzeleri (Nozullar).....	24
3.1.5. Su Toplama ve Geri Dönüş Sistemi.....	27
3.1.6. Kontrol Sistemleri.....	28
3.2. Tempcore İşleminin Temel Metalurjik Prensipleri.....	28
3.2.1. Tempcore Prosesinin İçerdiği Temel Metalürjik Kavramlar.....	29
3.2.1.1. Sertlik.....	29
3.2.1.3. Kaynaklanabilirlik.....	33
3.3. Martenzitik Dönüşüm ve Tempcore Çubuğunda Martenzitin Hacimsel Yüzdesi.....	35
3.4. Temperleme.....	38
3.5. Tempcore İşlemine Tabi Tutulmuş Nervürlü İnşaat Çeliklerinin Mekanik Özellikleri.....	41
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMALAR.....	44
4.1. Tempcore Prosesinde Gözlenen Mikroyapılar.....	45
4.1.1. Metalografik Çalışmalar.....	45
4.1.2. Mikrosertlik.....	45
4.2. Çekme Deneyi Sonuçları.....	49
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	51
KAYNAKLAR.....	53
TEŞEKKÜR.....	54
ÖZGEÇMİŞ.....	55

**ÖZET****SICAK HADDELEMEDE TEMPCORE PROSESİ**

Bu çalışmanın amacı, sıcak haddelemede tempcore prosesinin nihai mamül üzerine etkilerinin incelenmesi ve sistemin irdelenmesidir.

Bilindiği üzere klasik yöntemlerle üretilen nervürlü inşaat demirlerinde yüksek akma gerilmesi elde edilebilirken, süneklik ve kaynaklanabilirlik özellikleri oldukça sınırlı kalmaktadır. Çeliğin yüksek akma gerilmesine sahip olabilmesi için kimyasal kompozisyona eklenen karbon ve mangan gibi elementler, bahsi geçen süneklik ve kaynaklanabilirlik gibi özellikleri olumsuz etkilemektedir.

Yeni nesil üretim teknolojilerinden olan Tempcore Prosesi, haddelemenin son tezgahı olan ve nihai mamüle son formunu veren finish tezgahından çıkan inşaat demirinin çok kısa bir süre içerisinde su ile ani olarak soğutularak yüzeyden merkeze doğru belirli bir kalınlığa kadar martenzit yapı oluşumunun sağlanması ve çekirdekte mevcut olan yüksek ısı yardımıyla martenzit yapının temperlenmesi işlemidir. Bu çalışmada, Tempcore Prosesi ve bu prosesin üretilen inşaat demirlerinin mekanik özelliklerine etkileri incelenmiştir.

2009, 56 sayfa

**Anahtar Kelimeler:** Sıcak haddeleme, tempcore, akma gerilmesi, kaynaklanabilirlik, süneklik, martenzit, temperleme

**ABSTRACT****TEMPCORE PROCESS IN HOT ROLLING**

The purpose of this study is to investigate the effects of tempcore process on the end-product in rolling process and to analyse the system.

It is well known that while the structural steel bars produced by conventional Rolling exhibit high yield strength values their ductility and weldability are rather limited. The alloying elements, such as C and Mn, which are added to steel to increase the strength, result in diminishing of the ductility and weldability, if the carbon equivalent exceeds 0.5.

A new generation structural steel production method, namely 'Tempcore Process', involves a very short water quenching of the steel bar, the chemical composition of which is well-controlled, at the last finish rolling mill. In this process, martensite is formed in a layer up to a certain thickness and the martensite formed in the outer layer is tempered by the core of the steel bar, which is still hot after quenching. Thus, the steel bar exhibits a high strength on the surface as well as a high toughness in the core. In this study, the tempcore process and its effects on the mechanical properties of the steel bars produced are investigated.

2009, 56 pages

**Keywords:** Hot Rolling, tempcore, yield stress, weldability, ductility, martensite, temper

**SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**

$C_{eş}$	Karbon Eşdeğeri
HMK	Hacim Merkezli Kübik Yapı
HMT	Hacim Merkezli Tetragonal Yapı
$M_s$	Martenzit Dönüşüm Başlama Sıcaklığı
$M_f$	Martenzit Dönüşüm Bitiş Sıcaklığı
CCT	Sürekli Soğuma Dönüşüm Eğrileri
Mn	Mangan Elementi
C	Karbon Elementi
$\sigma_{aç}$	Çekirdeğin Akma Mukavemeti

**ÇİZELGELER DİZİNİ**

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 4.1. Kullanılan Malzemelerin Kimyasal Bileşimleri ve Karbon Eşdeğeri.....	44
Çizelge 4.2. Çekme Deneyi Sonuçları.....	49
Çizelge 4.3. Martenzit Yüzdesine Bağlı Olarak Mukavemetin Değişimi .....	50



## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1. Haddehane üretim akış şeması.....	7
Şekil 3.1. Tempcore yönteminin temel mekanizması.....	18
Şekil 3.2. Tempcore sistemi.....	21
Şekil 3.3. Tempcore prosesi sırasında oluşan fazlar.....	22
Şekil 3.4. Tipik soğutma düzeneği.....	23
Şekil 3.5. Radyal tip soğutma düzesi (Radyal nozul).....	24
Şekil 3.6. Teğetsel tip soğutma düzesi (Eksenel nozul).....	26
Şekil 3.7. Martenzit sertliğinin %C miktarına bağlı değişimi.....	29
Şekil 3.8. Çeliğin ani soğutulmasında yüzey-çekirdek durumu (CCT diyagramı).....	30
Şekil 3.9. N18mm çubukta mikrosertliğin yüzey-merkez arası uzaklıkla değişim.....	32
Şekil 3.10. Su verme sonrası Ø25 mm'lik bir çubukta sıcaklık dağılımı.....	37
Şekil 3.11. $P_m (T_r)$ bağıntısında çubuk çapının etkisi.....	39
Şekil 3.12. $P_m (T_r)$ bağıntısına başlangıç sıcaklığının ( $T_0$ ) etkisi.....	40
Şekil 4.1. Az ve normal su verilmiş tempcore çubuklarının kesit makrografları.....	46
Şekil 4.2. Ø20 mm tempcore çubuğunda tipik mikrosertlik eğrisi.....	47
Şekil 4.3. Tempcore prosesinde zamana bağlı mikroyapı-sıcaklık ilişkisi.....	48
Şekil 4.4. Tempcore prosesi ile üretilen nervürlü inşaat çubuğunun kesiti.....	48

## 1. GİRİŞ

Çelik en genel anlamda demirin karbonla düşük oranlarda yaptığı alaşımdır. Son yıllardaki gelişmelerle içindeki karbon oranı azaltılarak etkili elementlerle alaşımlandırılmış çeliklerin üretilmesi, çeliğin tanımında da değişimi sağlamıştır. Çelik, demirin çeşitli elementlerle yaptığı alaşımdır. (Kayalı ve ark., 2000).

Çeliğin ana bileşeni demir elementidir. Demir elementinin doğal kaynağı yeryüzünün çeşitli yerlerine dağılmış olan ve ekonomik oranda demir mineralleri içeren demir cevherleridir. İnsanoğlu ilk çeliği bu cevherlerden üretmiştir. Günümüzde de üretilen çeliğin 2/3 kadarı bu cevherlerden üretilmektedir.

Son yıllarda teknolojideki gelişmelere paralel olarak inşaat sektöründe kullanılan inşaat çeliklerinde yüksek akma gerilmelerinin yanı sıra süneklik ve kaynak edilebilirlik gibi özellikler istenmektedir. Geleneksel yöntemlerle üretilen inşaat çeliklerinde yüksek akma gerilmesi elde edilebilmesine rağmen süneklik ve kaynak edilebilirlik çok sınırlı kalmaktadır. Bu yöntemlerde yüksek akma gerilmesi elde edebilmek için yüksek karbon ve mangan kullanılmaktadır. Fakat, bu elementler sünekliği ve kaynak edilebilirlik özelliklerini ters yönde etkilemekte, akma gerilmesini yüksek tutmak isterken süneklik ve kaynak edilebilirliği ister istemez düşürmektedir. İnşaat çeliklerinde aranan bu üç özelliği aynı anda bulundurulabilmek için yeni bir yöntem olan 'Tempcore Prosesi' geliştirilmiştir (Emir ve ark., 1998).

Tempcore kelimesi temp (temperleme) ve core (merkez) kelimelerinin bileşiminden oluşmaktadır. Tempcore prosesi kısaca sıcak haddeleme sonrasında çeliğin hızla soğutulmasıyla dış kısmında belli bir derinliğe kadar oluşan martenzitik yapılı bölgenin iç kısmındaki ısı sayesinde temperlenmesinden oluşan işlemdir.

Bu çalışmada amaç; bir demir çelik fabrikasının haddehane ünitesinde sıcak haddelenen ve tempcore prosesiyle üretilen nervürlü inşaat çeliklerinin mekanik özelliklerine tempcore prosesinin etkilerinin incelenmesidir.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

### 2.1. Haddelemenin Tarihçesi

Hadde tekniği dört aşama üzerinde inşa edilmiştir. Önceleri soğuk olarak küçük parçalar el ile tahrik edilen bir işletme tertibatı ile basit olarak haddelenmekteydi.

16. asırda demirin elde edilmesinde kullanılan haddecilikte, tahrik gücü olarak su gücü kullanılmış ve sıcak haddeleme işi tecrübe edilmeye başlanmıştır. Böylelikle demir haddeleme tesislerinin ilk temelleri atılmaya başlanmış oldu. Burada merdaneler sadece önceden dövülen demir parçalarına nihai işleme yapmak için kullanılmaktaydı.

Üçüncü aşama İngiliz mucidi Walt'ın buhar makinasını bulması ve Puddel metodu ile demirin elde edilmesi olmuştur. Bu nedenle demirin işlenmesinin ilk vatani İngiltere denilebilir. Burada üretimin ağırlık noktasının ray demirinden oluştuğu görülür. Daha önceleri hadde tesisleri sadece demire ön bir şekil vermek için kullanılmıştır.

Dördüncü aşama ise; akma çeliğin bulunması ile başlamıştır. Bundan sonra haddecilik fazla gelişme kaydederek hususi hadde tesisleri ve yardımcı makinalar inşa edilerek daha iktisadi olarak çalışan büyük hamlelere geçilmiştir.

İlk hadde tesisinin kuruluş tarihi kesin olarak bilinmemektedir. Leonardo Da Vinci'de bu işle uğraşmıştır. Basit hadde tezgahı ilk eski haddecilik başlangıcı olarak kabul edilmektedir. 1550 senesinde Fransız Brulier, metal levhaları başarı ile haddeleyerek eşit ağırlıkta madeni paralar yapmıştır. Daha sonra Solamon De Caus demir ve bakırdan yapılmış merdaneler kullanarak, kalay ve kurşun levhalardan müzik aletleri yapmıştır. 1720 yılında John Hanburgy, saç imalatı için gerekli ilk hadde tesislerini kurmayı başarmıştır. Pik merdane imalinden bir müddet sonra çelik merdaneler yapılmaya başlanmıştır. Çeliğin kalitesi arttıkça, merdane kalitesi de en yüksek seviyeye çıkmıştır.

## 2.2. Haddelenin Esası

Metalik malzemeleri, eksenleri etrafında dönen iki silindir (merdane) arasından geçirerek yapılan plastik şekil verme işlemine haddeleme denir. Haddeleme, üretim hızı ve sürekliliği ile, işlemin ve ürünün kontrolünün kolay oluşu nedenleriyle en çok kullanılan plastik şekil verme yöntemidir. Günümüzde plastik deformasyon ile şekillendirilen bütün malzemelerin % 95 kadarı haddeleme ile şekillendirilmektedir.

Haddeleme esnasında merdaneler aynı hızla ve birbirine zıt yönde dönerler. Malzeme merdaneler arasından geçerken istenen şekli alır. Merdaneler arasındaki açıklık malzemenin giriş kalınlığından daha az olduğundan haddelenen malzemenin çıkış kalınlığında bir azalma olur. Malzemenin merdaneler arasından her geçişine paso denir. Haddeleme bir dolaylı basma mekanik işlemi olup, genellikle uygulanan tek kuvvet merdanelerle sağlanan radyal basınçtır.

Malzemenin deformasyonu, merdanelerin malzemeyi sıkıştırmasıyla sağlanan radyal basma gerilmeleri ve malzeme ile merdaneler arasında sürtünmeyle oluşan yüzey kayma gerilmeleriyle sağlanır. Sürtünme kuvvetleri aynı zamanda malzemenin merdaneler arasında ilerlemesini de sağlar. Bu işlemde haddelenen malzemenin kesiti küçülürken boyunda uzama ve genişliğinde de biraz artma meydana gelir. Buna yayılma adı verilir. Yayılmanın miktarı haddelenen malzemenin boyutlarına, uygulanan deformasyon oranına ve merdanelerin çapına bağlıdır.

## 2.3. Haddelenin Sınıflandırılması

### 2.3.1. Soğuk Haddeleme

Malzemenin yeniden kristalleşme sıcaklığının altında yapılan haddelemeye soğuk haddeleme denir. Soğuk haddeleme, sıcak haddelenmiş şeritlere nazaran daha iyi çap toleransı ve düzgün yüzeyli şerit imalatı için kullanılır. Soğuk haddeleme sonucunda meydana gelen yüzey sertliği (gerilme sertliği) mukavemeti arttırmak için kullanılabilir. Soğuk haddelenmiş levhalar ya sıcak haddelenmiş şeritlerden veya bakır alaşımları halinde direkt olarak dökümünden sonra soğuk haddelenir. Üç-beş tezgahlı

(arka arkaya) yüksek devirli dörtlü haddeler çelik, alüminyum ve bakır alaşımlarının soğuk haddelemesi için kullanılmaktadır.

### 2.3.2. Sıcak Haddeleme

Malzemenin yeniden kristalleşme sıcaklığının üzerinde yapılan haddelemeye sıcak haddeleme denir.

İlk sıcak işleme operasyonu bir çok çelik üretimi için blum milinde yapılır. Blum mili 60 cm.den 137 cm. çapına kadar ikili reversibl merdanedir.

Blum haddelemesi ilk defa ingot yapısını bozduğundan bu iş tekrarlanan ısıtmalarla az ve dikkatli yapılır. Blum haddelemesi için büyük bir alaşımlı çelik ingotun 25 defa haddeden geçmesi her zaman mümkün olan şeydir. İstenilen ebatta kütük üretmek için blumu daima üçlü veya devamlı kütük milinde tekrar tekrar haddelemek gerekmektedir. Kütük çeşitli tipteki bitirme haddelerde çubuklara hususi veya düz şekillere haddelenir. Makasla kesilen levhalar ikili, üçlü ve dörtlü haddelerde çapraz haddelenerek elde edilir ve sonra bütün kenarlarından kesilen ebatlara ayrılır.

Diğer bir genel levha haddeleme usulü üniversal haddedir. Bu tip haddede bir merdane iki yatay merdane ile diğeri ise dört dikey merdane ile ve kenar haddesi yapılabilecek şekilde montaj edilmiştir. Üniversal haddesi ingotu alarak direk olarak makaslanmaya ihtiyaç göstermeyen düzgün kenarlı levhalar haddeler. Bu haddeleme metodu ile ingot yalnızca uzunluğuna uzatıldığından zıt haddelemeye gerek yoktur. Devamlı haddehane 4 ile 6 kadar hazırlama tezgâhlarından ve 4 ile 8 kadar da finiş pasosunu ihtiva eden tezgâhlardan ibarettir. Geniş çapta ikili ezici hadde ile dilimi istenilen inceliğe yaymak için yayma haddesinden oluşmaktadır.

Dörtlü inceltme tezgâhları genellikle şeridin genişliğini kontrol etmek için dikine ağızlı haddelerle donatılır. Yüksek basınçlı su, haddede meydana gelen talaşları götürmek için şerit üzerine püskürtülür. Dörtlü haddede "finish haddesi" de kullanılır. Başlama sıcaklığı 1.170 °C bitirme sıcaklığı istenilen kristal büyüklüğü ve mekanik mukavemetlere göre 690 °C - 850 °C arasında değişir.

Alüminyum alaşımlarının haddelenmesi için dörtlü sıcak haddeler kullanılmış olmasına rağmen ikili ve üçlü haddeler bir çok sıcak hadde için kullanılır.

## **2.4. Hadde Tesislerinin Sınıflandırılması**

Hadde tesisleri büyüklüklerine, hadde mamulüne ve çalışma tarzına göre aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır.

### **2.4.1. Büyüklüklerine Göre**

a. Blok hadde tesisi

Yarı mamul haddeleyen tesislerdir. (Blum, slab ve kütük)

b. Orta ebad hadde tesisatı

Profil olarak 80'den yukarı, yuvarlak olarak ise 30'dan yukarı haddeleme yapan tesislerdir.

c. Ufak ebad hadde tesisleri

### **2.4.2. Hadde Mamulüne Göre**

1. Profil hadde tesisleri

2. Yuvarlak çubuk hadde tesisleri

3. Saç ve levha hadde tesisleri

4. Boru hadde tesisleri

5. Özel mamul hadde tesisleri (Bandaj, Ray, Travers gibi)

### **2.4.3. Çalışma Tarzına Göre**

1. İleri geri hadde tesisi (Blok hadde gibi)

2. Üniversal hadde tesisi

3. Açık sistem hadde tesisi

4. Açık ve kontinü hadde tesisi (yarı kontinü)

5. Tam kontinü hadde tesisleri.

## 2.5. Haddehane Üretim Akışı

Haddehaneye gelen çelik ağır ingot'tur. Bu haddelenerek slab veya blum elde edilir. Slab levha üretiminde kullanılan dikdörtgen kesitli yassı hadde ürünüdür. Blum ise küçük kenarı en az 140 mm olan dikdörtgen veya kare kesitli yassı üründür.

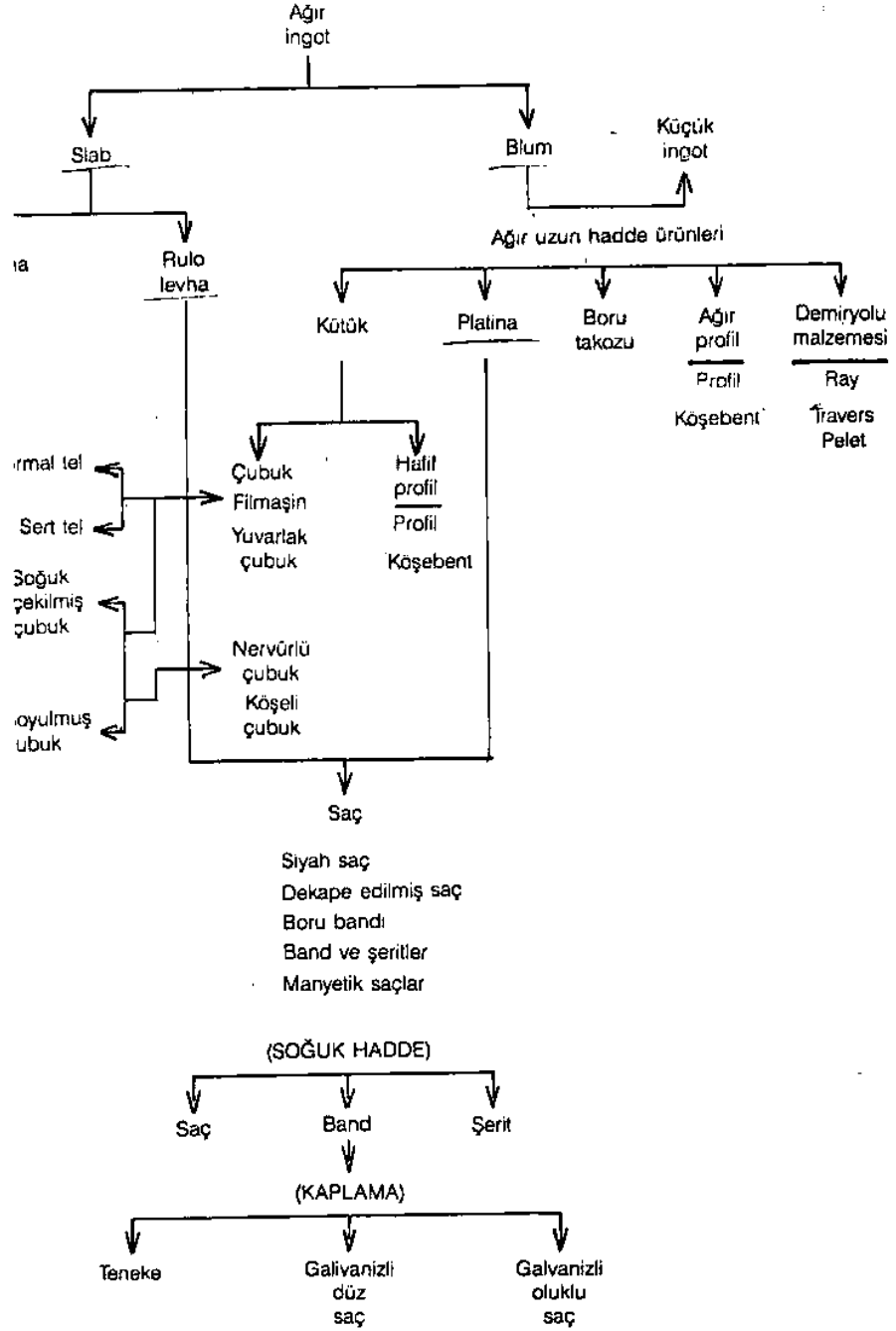
Slabın haddelenmesiyle levha ve rulo levha üretilir. Levhalar 4.75 mm'den kalın olan yassı ürünlerdir. Rulo levhalar 10 mm'den kalındır.

Blum veya küçük ingotların haddelenmesiyle kütük, platina, boru takozu, ağır profiller elde edilir. En çok 120 x 120 mm kesitli olan ürünlere kütük denir. Geniřliđi en çok 500-550 mm, kalınlığı en az 12 mm olan yassı ürünler platina'dır. Boru takozları, çelik çekme boru üretim tesislerinde kullanılan kare veya dairesel kesitli malzemelerdir. Yüksekliği veya uzun kenarları en az 80 mm olan her şekildeki profiller, köşebentler vb. ağır profillerdir.

Kütük işleyen haddehanelerde kütüklerin sıcak haddelenmesiyle çubuk ve hafif profiller elde edilir. Kangal şeklinde sarılan 5.5-6.35 mm çapındaki çubuklar filmaşındır. En çok 12 m boyunda kesilmiş 6-60 mm çapındaki çubuklara yuvarlak çubuk denir. Üzerinde yuvarlak çıkıntılar bulunan çubuklar nervürlü çubuklardır. Kısa kenarı 60 mm'nin altında olan dikdörtgen, kare veya altıgen kesitli çubuklara köşeli çubuklar denir. Yüksekliği veya uzun kenarı 80 mm'den küçük olan her şekildeki profiller veya köşebentler de hafif profilleri oluşturur.

Platina veya rulo levhaların sıcak olarak haddelenmesiyle sıcak saç elde edilmektedir. 508 mm'den geniş, 4.75 mm 'den ince olan yüzeyi temizlenmemiş düz veya rulo halindeki saçlara siyah saç denir. Yüzeyi temizlenenlere dekape denir. 63 mm'den geniş, 7 mm'den ince rulo halindeki yassı malzeme boru bandıdır. Band ve şeritler genişliği 508 mm'den az olan rulo halindeki malzemedir. Elektrik araçlarında kullanılan özel saçlara ise manyetik saç denir.

Soğuk haddelenmiş saç, band ve şeritler kalayla kaplandığında teneke elde edilir. Çinko ile kaplanmış saçlar galvanizli düz saç; bunların oluklandırılmışı ise galvanizli oluklu saçtır. Çelik çubuklar soğuk çekme tesislerinde, filmaşın de tel çekme tesislerinde küçültülür. Şekil 2.1'de haddehane üretim akışı verilmektedir.



Şekil 2.1. Haddehane üretim akış şeması



## 2.6. Plastik Şekil Verme İşlemlerinde Kullanılan Tav Fırınları

Bir malzemenin tavllanması en genel şekilde “malzemenin belirli bir sıcaklıkta bir süre tutulması” olarak tanımlanabilir. Tavlama işlemi genelde; sıcak işlem için malzemenin özelliklerini değiştirme, gerilme giderme, tane yapısını değiştirme veya malzemede farklı mikro yapının oluşumunu sağlamak gibi çeşitli amaçlarla yapılır. Sıcak işlem için tavlama veya çeşitli ısı işlemleri yapma amacıyla kullanılan fırınları farklı şekillerde sınıflandırmak mümkündür. Metalurjik işlemlerde kullanılan fırınlar genelde;

- a. Tav çukurları,
- b. Yeniden ısıtma fırınları,
- c. Isıl işlem fırınları

şeklinde sınıflandırılabilir.

Tav çukurları ve yeniden ısıtma fırınları, plastik şekil verme işlemlerinde malzeme istenen mukavemet ve sünekliği sağlarlar. Isıl işlem fırınları ile malzemeye uygulanacak çeşitli ısı işlemlerin yapılması amacıyla malzemenin ısıtılmasını sağlarlar. Fırınlar çalışma sıcaklığına dayanıklı malzemelerden yapılmaktadır. Bu fırınlar, belirli bir üretim hızında malzemeyi ısıtma ve düşünülen malzeme hacmi için elverişli şarj imkanı sağlamalıdır. Aynı zamanda malzemeyi homojen olarak ısıtabilecek şekilde yapılmalı ve ayrıca yanma kontrol sistemi içermesinin yanı sıra belirli sürelerde malzemeyi istenilen sıcaklıkta tutabilmelidirler. Ayrıca istenilen soğuma hızlarını sağlayacak şekilde yapılmalı ve fırın atmosferinin kontrolü gibi bazı özellikleri sağlayacak donanımı içermelidirler.

Fırına şarj edilen malzemeyi ve ısıyı içeren bölüm, refrakter malzemelerden yapılmalıdır. Fırın haznesi de refrakter veya metalik malzemelerden yapılabilir. Yüksek sıcaklık fırınlarında metalik kısımlar genellikle su soğutmalıdır. Fırın hazneleri, şarjın ısıtma sırasında sabit veya hareketli durumuna uygun olarak yapılmalıdır. Her üç tip fırın için birbirinden farklı birçok dizayn şekli vardır. En çok kullanılan fırın dizaynları şunlardır;

### 2.6.1. Tav Çukurları

Büyük metalik kütleler olan ingotların tavlanması için tav çukuru denilen fırınlar kullanılır. Tav çukurlarında, ingotlar yüzeylerinde aşırı bir ısınma meydana gelmeden üniform olarak istenilen sıcaklığa ısıtılır ve ısıtma işlemi otomatik olarak kontrol edilir. Tav çukurları ısıtmanın yanı sıra ingotların mikro yapısının homojenleşmesini de sağlarlar. Genellikle çelik ingotların ısıtılmasında kullanılan tav çukurlarında ısıtma sıcaklığı çeliğin cinsine, ingot boyutuna ve haddehanenin özelliklerine bağlı olarak 1180°C ile 1340°C arasında değişir. Çok sayıda paso verilen düşük hızlı haddelerde ingotların daha fazla ısıtılması gerekir.

Tav çukurları esas olarak kare, dikdörtgen veya daire şeklinde derin fırınlar olup ingotlar bu fırınlara üst kısmından şarj edilir. Çukurlar, üstten kapalıdır. Tav çukurları batarya şeklinde slab veya kütük haddesine yakın olacak şekilde yerleştirilmişlerdir. Tav çukurlarının üstü genellikle yer seviyesinden yukarıdadır. Tav çukurlarının bulunduğu binada çelikhanedan gelen ingotları sıyırmak, çukurlara şarj etmek ve tavlama işlemi için ingotları haddeye verilmek üzere çukurdan çıkarmak için bir vinç sistemi bulunur.

Tav çukurları genellikle grup olarak inşa edilirler. Dört çukur bir batarya olarak isimlendirilir. Tav çukurları grubunun ortak bir bacası ve ortak bir kontrol tablası vardır. Çeşitli tav çukuru dizaynı vardır. Her dizaynın da kendine özgü ısıtma karakteristiği vardır. Demir-çelik tesislerindeki tav çukurlarında gaz yakıt olarak yüksek fırın gazı, kok gazı veya bunların karışımı kullanılır. Gerekirse bu gaz yakıtlar sıvı yakıtla takviye edilir.

Bugün en fazla kullanılan iki tip tav çukuru vardır. Rejeneratif tip tav çukurlarının her iki tarafında fırına verilen hava ve gazı ısıtmak için iki rejeneratör bulunur. Çukurun bir tarafındaki rejeneratörlerden verilen gaz ve hava çukuru girdiğinde yanar, ingotları ısıtarak diğer taraftaki rejeneratörlerden geçer ve bunları da ısıtarak bacaya gider. Bir müddet sonra gaz ve hava akımının yönü değiştirilir.

Rejeneratif tip çukurlarında gaz akımı yatay olup bu tip çukurların en büyük mahzuru gaz akımının yönüne göre ingotların yüzeyleri farklı ısındığından üniform bir ısıtma elde edilmemesidir. Bu sebepten bu tip tav çukurların yerine yeni tesislerde daha

iyi bir ısıtma ve işletme kolaylığı sağlayan reküperatif tav çukurları inşa edilmektedir. Reküperatif tipte gaz akımı dikeydir.

Bu reküperatif tav çukurunda gaz ve reküperatörden geçerek ısınan hava, çukurun üst kısmındaki bir yakıcı (brülör) vasıtasıyla çukura verilir. Yanan gazlar ingotların etrafında dolaştıktan sonra çukurun alt tarafındaki kanallardan çıkarak reküperatörü ısıtır ve bacaya gider. Batarya şeklinde inşa edilen bu tip tav çukurları bugün yaygın olarak kullanılmaktadır.

Tav çukurlarının diğer bir tipi olan üstten çift yönlü ateşlemelilerde, yakıt ingotların üzerinde yanma boşluğunda karşılıklı yönlerden ateşlenmektedir. İngotlar arasında ısıyı homojen olarak dağıtabilmek için uzun alevli yakıcılar kullanılmaktadır. Gazların akışı tek yönlü ateşlemeli tav çukurlarında olduğu gibi dikeydir.

Diğer bir tip reküperatörlü tav çukuru ise tabanın merkezinden ateşlenen tav çukurudur. Bu tav çukurları kare şeklindedir. Yakıt ve çukurun her iki tarafında bulunan reküperatörlerde ısının hava tabanın merkezinde bulunan bir yakıcıdan çukura verilir. Bunlardan başka yuvarlak, her iki taraftan birden ateşlenen ve elektrikle ısıtılan özel tav çukurları da vardır.

İngotların tav çukuruna şarj edildiği andaki sıcaklığına bağlı olarak tavlama süresi değişir. Modern uygulamada ingotlar tav çukuruna sıcak olarak şarj edilmektedir. Şarj edilen ingotların yüzey sıcaklıkları 400 °C'in üzerinde ise buna "sıcak şarj", 400°C'dan az ise "soğuk şarj" denir. Normal olarak demir-çelik tesislerinde çelikhaneden gelen ingotların % 90'ı tav çukurlarına 800-850 °C'da şarj edilir. Sıcak şarj edilen karbonlu çelik ingotlar için ısıtma süresi, ingotların dökümünün bitiminden tav çukurlarına şarjına kadar geçen zamanın yaklaşık olarak 1,5 katıdır. Soğuk ingotları ısıtmak genel olarak 8-12 saat sürer. Bununla beraber, çok büyük ingotlar veya bazı özel çelikler daha uzun bir tav süresi gerektirir.

Isıtmada izlenen metot ingotların şarj sıcaklığına ve çeliğin kimyasal bileşimi ile değişen ısı iletkenliğine ve plastikliğine bağlıdır. Otomatik olarak kontrol edilen modern tav çukurlarında adi karbonlu çeliklerin ısıtılmasında kontrol tablası ingotların tavlanaacağı sıcaklığa ayarlanır. Isıtma işleminin başında çukur maksimum gaz ile ateşlenir. Bu ilk ısıtma esnasında ingot yüzeyi istenilen sıcaklığa erişir. İngotun yüzeyinin sıcaklığının artırmadan iç kısmının da aynı sıcaklığa erişmesi için bundan sonra çukura verilen gaz miktarı yavaş yavaş azaltılır. İngotun her tarafı yaklaşık aynı

sıcaklığa erişince sarf edilen gaz miktarı minimuma iner. Bu minimum gaz sarfıyatı, ingotun aynı sıcaklıkta kalması ve çukurdan ısı kayıplarının karşılanması için yeterlidir. Gaz akımı yarım veya bir saat kadar bu düşük seviyede kaldıktan sonra ingotlar çukurdan alınarak haddeye verilir. İngotların tav sıcaklığında tutulduğu bu süreye bekletme süresi denir.

### **2.6.2. Yeniden Isıtma Fırınları**

Bu fırın tiplerinin başlıcaları;

Yığılım tipi, sürekli fırınlar (itmeli, döner hazneli, yürür kirişli veya makaralı hazneli fırınlar) ve elektrik enerjili fırınlardır.

#### **2.6.2.1. Yığılım Tipi Fırınlr**

Bu fırınlar yeniden ısıtma fırınlarının en eski tipte olanıdır. Fırına şarj edilen malzemeler fırın haznesinde istenilen sıcaklığa ısıtılana kadar yeri değıştirilmeksizin kalır. Yığılım fırınlarında ateşleme için sıvı veya gaz yakıt kullanılmakta, yanma için ise ön ısıtılmış veya soğuk hava kullanılmaktadır. Bu fırınların da rejeneratif ve reküperatif tipleri bulunmaktadır.

#### **2.6.2.2. İtmeli Fırınlr**

İtmeli fırınlar sürekli fırınların bir tipidir. Burada fırına şarj edilen malzeme istenilen sıcaklığa ısıtılırken fırın boyunca hareket halindedir. İlk yapılan itmeli fırınlar ufak kütükleri tavlama için dizayn edilmiş olup, bu fırınlarda kütüklerin fırın boyunca hareketini kolaylaştırmak için hazne eğimli yapılmıştır. Şarjın boşaldığı kısımdaki yakıcılar tarafından fırına verilen yakıt ve havanın yanmasıyla sağlanan sıcak gazlar kütükleri üst yüzeylerinden ısıtır. Fırının yanma haznesine göre diğer ucunda bulunan iticilerle fırına şarj edilen kütükler yanma haznesine doğru itilir. Fırında malzeme akışı ile gaz akışı birbirine ters yönde hareket etmektedir. Modern itmeli tip sürekli fırınlar ilk yapılanlardan birçok farklılıklar göstermesine rağmen bugün eski tipteki itmeli fırınlar da yaygın olarak kullanılmaktadır. Yeni yapılan modern itmeli fırınlar 25-30 m

hazneli olup, üst ve taban ateşlemeli ön ısıtma, ısıtma ve tavlama zonları içermektedir. Reküperatörlerde hava ısıtılarak verilmektedir.

Sürekli itmeli fırınlarda ısıtılacak kütük veya slab şeklindeki bir malzeme fırına bir uçtaki şarj kapısından iticiler vasıtasıyla şarj edildiğinde, fırının hazne kısmında istenilen sıcaklığa ulaşmış olan bir malzeme fırının boşaltma kapısından çıkıp, hadde tezgâhına gitmektedir.

### **2.6.2.3. Döner Hazneli Fırınlr**

Bu tip fırınlar genellikle kısa kütük ve takozları veya küçük parçaları dövme sıcaklığına ısıtmada kullanılır. Bu fırınlarda hazne bölümü dönerken dış kısımlar ve çatı sabit durumdadır. Bu tipteki büyük fırınlarda hazne üstünde iç ve dış duvarlarda yakıcılar vardır. Bu tipteki küçük fırınlar ısıtma işlemleri için de kullanılmaktadır.

### **2.6.2.4. Yürür Kirişli Ve Makaralı Hazneli Fırınlr**

Bu tür fırınlarda fırına şarj edilen malzemenin fırın içinde akışı sürekli olarak dönen kirişlerle veya makaralarla sağlanmaktadır. Bu fırınlarda da itmeli tipteki sürekli fırınlarda olduğu gibi malzeme fırına bir uçtan şarj edilmekte, diğer uçtan tavllanmış olarak çıkmaktadır. Kirişler hidrolik veya mekanik sistemle hareketlidir. Yakıcılar genellikle yan duvarların üst veya alt kısımlarında karşılıklı olarak yerleştirilmiştir. Fırın çatısına da yakıcılar yerleştirilebilir.

### **2.6.2.5. Elektrik Enerjili Fırınlr**

Elektrik enerjisi ısıtma işlemlerinde en iyi yakıt olmasına karşılık pahalı olması nedeniyle uygulamada tercih edilmemektedir. Elektrik enerjili fırınlardan rezistanslı fırınlar genellikle küçük parçaların ısıtma işlemlerinde kullanılmaktadır. Elektrik enerjili fırınlar plastik şekil verme işlemlerinden yalnızca dövme ve şekilli kesme işlemlerinde kullanılmaktadır. Bu uygulamada parçaların elektrik enerjisi ile ısıtılmasında başlıca iki metot kullanılır.

Bunlar:

a. Isıtılacak parça direnç vazifesi görür. Parçaya elektrik akımı verilince, elektrik enerjisi ısı enerjisine dönüşerek malzeme istenilen sıcaklığa ısıtılır. Bu metot ile ısıtma üniform kesitli parçalara uygulanabilmektedir.

b. Endüksiyonla ısıtma: Bu yöntem bugün en fazla kullanılan elektrik enerjili ısıtma şeklidir. Isıtma hızı çok yüksektir ve değişik kesit alanına sahip parçalara uygulanabilmektedir. Endüksiyonla ısıtmada parçayı bölgesel ısıtmak mümkündür. Isıtılan bölgede istenilen plastik şekil verme işlemi yapılır. Günümüzde endüksiyonla ısıtma endüstride ısıtma işlemleri için de yaygın olarak kullanılmaktadır.

### 2.6.3. Tavlama Ortamı

Plastik şekil verme işlemlerinde sıcak işlem için en uygun sıcaklık, işlemde uygulanacak deformasyon oranına, deformasyon hızı ve şartları ile işlem sonunda üründen beklenen mekanik özelliklere bağlı olarak seçilir. Sıcak işlem için malzemenin tavlama sırasında önemli bir husus da oksitlenmedir. Tavlama ortamı koruyucu bir atmosfer veya vakum kullanmak genelde hem pratik olmayıp, hem de pahalı olduğundan gerekmedikçe uygulanmamaktadır. Genellikle hava atmosferinde yapılan tavlama işlemlerinde de malzemenin yüzeyi oksitlenmektedir. Malzeme yüzeyinde oluşan oksit tabakasına uygulamada tufal denilmektedir. Tufallaşma yani oksitlenme bir malzeme kaybıdır. Bu kayıp, çelikte % 1-3 oranındadır. Bu kaybı önlemek gerekir, fakat bu önleme işlemi ekonomik değilse avantajlı olmayabilir. Tufallaşmaya etki eden faktörler şunlardır:

- a. Sıcaklık,
- b. Isıtma ortamı,
- c. Isıtma süresi,
- d. Malzemenin cinsi ve bileşimi,
- e. Parçanın boyutu ve şekli. ( Anonim, 1998 )

Sıcaklığın artması ile tufallaşma artar, örneğin, karbon çeliklerinde 900°C'daki tufallaşma hızını 1 kabul edersek 1000 °C'da 2, 1100°C'da 3.5, 1300 °C'da 7 olacaktır. 1300 °C'dan sonra tufal oluşum hızı çok yüksektir.

Isıtma sürecinin de tufal miktarına etkisi fazladır. Yüksek sıcaklıkta ve diğer eşit şartlar altında daha uzun ısıtma sürelerinde tufallaşma kaybı artar. Isıtma süresi olarak bütün parçanın istenilen sıcaklığa homojen olarak erişebilmesi için gerekli en kısa zaman alınmalıdır.

Isıtma ortamı yani fırın atmosferi oksitleyici ise tufal kaybı fazla, redükleyici ise çok az olur. Redükleyici ortamda yakıt kullanımı fazla, yanma randımanı düşüktür. Uygulamada genellikle yakıtı tam yakacak hava miktarının biraz üzerinde hava verilir. Bu sebeple genellikle fırın gazları oksitleyicidir. Fırın içinde yanma ürünleri nötr atmosfer (N<sub>2</sub>) oluşturamazlar, redükleyici atmosfer için gerekli olan CO ve H<sub>2</sub> gazları ise yok denecek derecededir. Yakıtın cinsi de çok önemlidir. Sıvı ve gaz yakıtlarda havanın ayarlanması mümkündür, katı yakıtta bu zordur. Yanma için verilen havanın gereğinden fazla olması oksitleyici fırın atmosferi oluşturur. En iyi yakıt ve hava miktarı karışımı gaz yakıtlarla sağlanır.

Malzemenin cinsi ve kimyasal bileşimi tufal oluşumuna etki eden önemli faktörlerdir. Örneğin, çeliklerde alüminyum, krom, silisyum, volfram ve bakır elementleri yüzeyde oksitlenmeyi azalttığından tufallaşmayı azaltır. Bu sebeple bütün alaşımlı çelikler, karbon çeliklerinden daha az oksidasyona uğrarlar.

Parçanın şekli de oksitlenmeyi etkiler. Kompleks şekilli parçalarda yüzey alanı fazla olduğundan tufal kaybı fazla olacaktır. Küçük boyutlu ve işlenmiş parçalarda tufal oluşumu hiç istenmez, çünkü tufal oluşumu parça boyutlarının küçülmesine sebep olur. Fırın atmosferine bağlı olarak çeliklerde görülen bir olay da dekarbürizasyon yani karbon yanmasıdır. Çelikteki karbon miktarı arttıkça, tavlama sırasında yüzeydeki karbon yanması artar. Alaşımlı çeliklerde oksijene ilgisi fazla olan alaşım elementlerinin yanması da söz konusudur. Tavlama sırasında oksidasyon ve dekarbürizasyon olayları birlikte olur, önce dekarbürizasyon sonra oksidasyon olayı başlamaktadır. Dekarbürizasyonu veya alaşım elementlerinin yanmasını önlemek için nötr atmosferde çalışmak ya da parçaların fırın atmosferinden izolasyonu gerekir. Tavlama sırasında sıcaklık çok yüksek ise veya sıcaklık normal, süre çok uzun ise aşırı tane büyümesi meydana gelir. Bu durumda süneklik azalır. Yanma, genellikle yüksek

sıcaklıklarda uzun süre oksitleyici ortamda tavlanan malzemelerde görülen bir olaydır. Tavlama sırasında oksitleyici fırın atmosferinden malzemenin içine oksijen yayılır. Yüksek sıcaklık sebebi ile büyümüş olan tanelerin sınırları da oksitlenir. Böylece tane sınırlarında ince bir oksit filmi teşekkül eder. Bu durumda malzemeyi şekillendirmek çok zor, hatta imkânsızdır. Yanmış malzemeyi düzeltmek mümkün değildir, bu malzeme ancak hurda olarak kullanılabilir.

Tavlama sırasında kullanılan yakıttaki kükürt miktarı da önemlidir. Kükürt miktarı fazla olan yakıtlar kullanıldığında kükürt yayınma yoluyla malzemeye girmekte ve bazı malzemelerde problem olmaktadır. Örneğin, çeliğe kükürdün yayınması ile demir sülfür oluşmaktadır. Demir sülfürün ergime sıcaklığı düşük olup yüksek deformasyon sıcaklıklarında yapılan plastik şekillendirme sırasında sıcak yırtılmalara sebep olmaktadır. Bu sebeple yakıttaki kükürt oranının çok düşük olması gerekir. Çeliklere kükürt yayınımı sıvı yakıtlar kullanıldığında daha çok görülür.

Tavlama işlemlerinde ısıtma hızı da önemli bir faktördür. Malzemenin ısı yayınma katsayısına bağlı olarak homojen ısınma süresi değişir. Isı iletim katsayısı düşük olan alaşımlı çelik gibi malzemelerde ısıtma hızı yüksek ise yüzey ve iç bölgelerin sıcaklıkları farklı olacağından oluşan termal gerilmeler malzemenin çatlamasına sebep olabilir. Bu sebeple böyle malzemelerde ısıtma hızı düşük olmalıdır. Büyük kesitli malzemeler ve alaşımlı çelikler genellikle kademeli ısıtılır. Alaşımlı çelikler için ön ısıtma sıcaklığı 900°C civarındadır.

Sonuç olarak uygun bir tavlama yapmak için aşağıda da belirtilen şartlar sağlanmalıdır.

- a. Atmosfer kontrollü fırınlar kullanmak,
- b. Fırın sıcaklığını ölçerek kontrol etmek,
- c. Sıcaklık bütün kesitte aynı olacak şekilde bir ısıtma hızı kullanmak,
- d. Oksitlenme (tufallaşma) kaybı ve yakıt sarfiyatı en az olacak şekilde tavlama,
- e. Kullanılacak yakıtı amaca uygun seçmek,
- f. Homojen sıcaklık için gerekli en kısa zamanda tavlama. (Anonim, 1998)



### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Tempcore Prosesi

Tempcore yöntemi, son hadde tezgâhından çıkan nervürlü inşaat çeliğinin yüzeyine su verme ve bunu takip eden çubuğun merkezindeki sıcaklıkla kendi kendini temperlemesi işlemidir. (Kodal, 2003)

Tempcore yöntemine tabi tutulan çubuk, bu özel ısıl işlem çevriminde üç kademededen geçmek zorunluluğundadır. Bunlar;

1.Kademe; Son hadde tezgâhını terk eden çubuğa hızlandırılmış su verme ile soğutma operasyonu uygulamasıdır.

2.Kademe; Hızlı soğutma alanından ayrılan malzeme, soğutma platformuna kadar olan bu kademe içinde ortam havasıyla karşı karşıya kalır. Bu kademe süresince iç kısımdaki ısı soğuyan yüzeyin ısınmasına neden olur.

3.Kademe; Soğutma platformu üzerinde duran çubuğun ortam sıcaklığına soğumasını içerir.

Bu yöntem süresince, 1. kademe malzemenin hızlı soğutulmasıyla yüzeyde belirli bir kalınlıkta martenzitik bir kabuk oluşur. Soğutma tesisinin soğutma verimliliği, malzeme yüzeyinin belirli bir derinliğe kadar olan kısmının soğuma hızının kritik martenzitik soğutma hızından yüksek olmasını sağlamaya uygun olmalıdır. Bu kademe süresi, istenen martenzitik kabuk derinliğine bağlıdır. 2. kademe havanın ısı transfer katsayısının küçük, malzeme kesintideki ısı farklılığının büyük olmasından dolayı malzemenin çekirdeği yüzey kabuğunun yeniden ısınmasını sağlar. Yüzeyin ulaştığı maksimum sıcaklığa temperleme sıcaklığı denir. Bu surette martenzitik kabuk temperlenerek aşağıda belirtildiği gibi uygun toklukta yüksek akma mukavemetli malzeme elde edilir.

Konvansiyonel olarak, malzemenin yüzey sıcaklığı maksimum değere ulaştığında 2. kademenin tamamlandığı kabul edilir. 2. kademenin süresi, büyük oranda malzeme çapına ve 1. kademedeki soğutma şartlarına bağlıdır. 2. kademe çekirdek östenitik olarak kalırken, yüzeydeki östenit beynite dönüşür. Diğer taraftan; temperlenen martenzitik yüzey kabuğunun hemen altındaki östenit soğutma şartlarına

ve çelik kompozisyonuna bağlı olarak beynite dönüşebilir. 3. kademedede, kalan östenit yarı izotermal transformasyona tabi kalır. Bu dönüşüm sonucu ferrit-perlit veya ferrit-perlit ve beynit karışımı olup, çeşitli faktörlere bağlıdır. Bunlar;

- Çelik kompozisyonu,
- Çubuk çapı,
- Son haddeden çıkan malzemenin çıkış sıcaklığı.
- 1. kademedeki soğutma verimliliği ve sürecidir. (Emir ve ark., 1998)

Fiziksel olayları içine alan Tempcore işleminin yukarıda ifade edilen üç kademesi, üç kategori içinde sınıflandırılabilir. Bunlar;

- a) Çubuğun yüzeyi ve çevresi arasındaki ısı değişimleri
- b) Çubuk içindeki ısı değişimleri
- c) Metalurjik olaylardır. (Emir ve ark., 1998)

### 3.1.1. Tempcore Yönteminin Temel Mekanizmaları

Tempcore sertleşmesinin temel mekanizmaları ile bu mekanizmalar arasındaki ilişki Şekil 3.1' de şematik olarak gösterilmiştir. Karmaşık olay üç bölüm içinde izah edilmiştir; yüzey ısı değişimleri, ısı kondüksiyonu ve fiziksel metalürji (şekildeki dikey kesitli çizgiler) şeklin en üstünde, daireler içinde prosesin ana parametreleri belirtilmektedir. Sonrasında, hadde operatörünün kontrolündeki bağımsız kontrol değişkenleri olarak bunlardan sadece üçü dikkate alınabilir. Bunlar;

- Su debisi,
- Su verme süresi,
- Finish sıcaklığıdır.



Tempcore işlemine tabi tutulmuş çubuklarda; mikroyapı ve özellikler çubuğun merkezine doğru sürekli değişir. Bununla birlikte, tempcore çubuklarını iki ayrı parçadan meydana geldiğini düşünmek (sert ve mukavim boru ile içine geçirilmiş yumuşak bir mil gibi) uygun bir yaklaşımdır. Kolaylık olması yönünden; martenzit veya temperlenmiş martenzit bir yüzey kabuğu ile ferrit ve perlitten oluşan çekirdek diye adlandırılabilir. Tempcore çubuğunun baştan sona (boyca) makroskopik özellikleri bilhassa gerilme özellikleri şu üç faktöre bağlıdır;

- \* Martenzitin hacim yüzdesi,
- \* Martenzitin gerilme özellikleri,
- \* Çekirdeğin (ferrit-perlit) gerilme özellikleridir. (Karhan, 1993)

Martenzitin hacimsel yüzdesi, martenzit dönüşümün başlangıç sıcaklığına, çeliğin kompozisyonuna ve soğutma ünitesini terk eden çubuğun enine keskindeki sıcaklık alanına bağlıdır. Martenzit kabuğun kalınlık limiti çubukla aynı eksenli dairesel bir silindire benzer ve bunun için minimum sıcaklık  $M_s$  sıcaklığına eşittir. Martenzit kabuğun gerilme özellikleri kimyasal kompozisyona, soğutma kademesindeki termal alana ve temperleme sıcaklığına bağlıdır. Bu temperleme sıcaklığı, tempcore soğutma ünitesini terk eden çubuğun enine kesitindeki termal alanın bir fonksiyonudur. Çekirdeğin mekanik özellikleri ise iki grup parametreye bağlıdır;

- Kimyasal kompozisyon,
- Soğutma süresince soğutma şartları ve izleyen soğutma kademeleridir.

Yukarıdaki açıklamalardan çıkan sonuç, verilen bir kimyasal kompozisyon için çubuğun mekanik özelliklerini etkileyen ana faktör, soğutma kademesinde oluşan termal alandır.

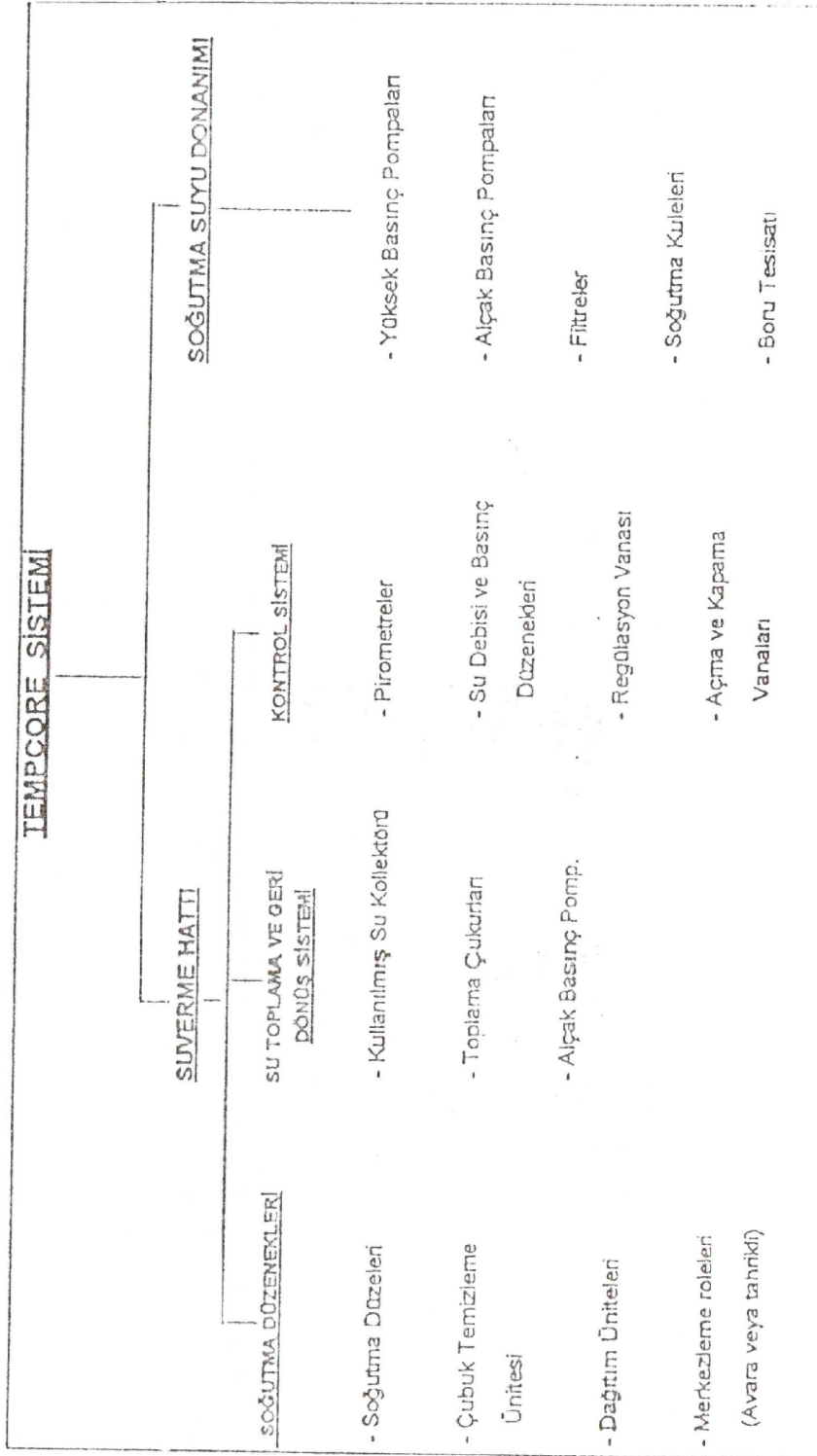
Verilen bir çubuk çapı için, su verme ünitesine giren çubuğun sıcaklığının değişimiyle, su verme kademesinin süresi ( $t_s$ ) ve çubuk yüzeyi ile soğutma suyu arasındaki ısı transfer katsayısıyla tarif edilebilir. Isı transfer sabiti, Tempcore prosesinin anahtar faktörü olup, çubuğun yüzey sıcaklığının bir fonksiyonu olarak tarif

edilir. Fonksiyon esas olarak, soğutma ünitesinin dizaynına ve soğutma suyu debisi ile sıcaklığına bağlıdır.

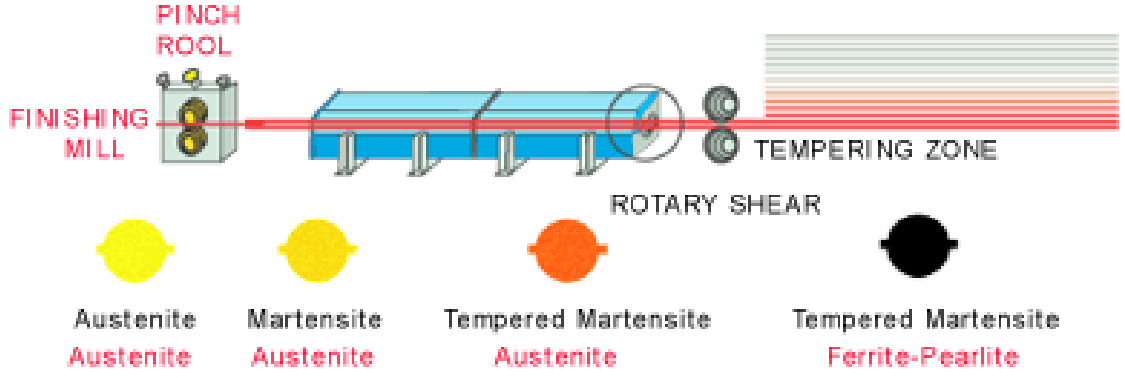
### **3.1.2. Tempcore Ünitesinin Tanıtımı**

Tempcore işlemiyle soğutulan çubuklar için kullanılan ünitenin genel tanıtımı bu bölümde anlatılacaktır. Tipik bir tempcore soğutma sistemi (Şekil 3.2), su verme hattı ve soğutma suyu temin devresinden oluşmaktadır. Su verme hattı, soğutma düzeneklerini, su dağıtımı ve geri dönüş sistemini ve kontrol sistemlerini içerir.

Tempcore prosesi esnasında oluşan fazların hangi aşamalarda oluştuğu şematik olarak Şekil 3.3'de gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Tempcore sistemi



Şekil 3.3. Tempcore prosesi sırasında oluşan fazlar (Anonymous, 1990)

### 3.1.3. Soğutma Düzenekleri

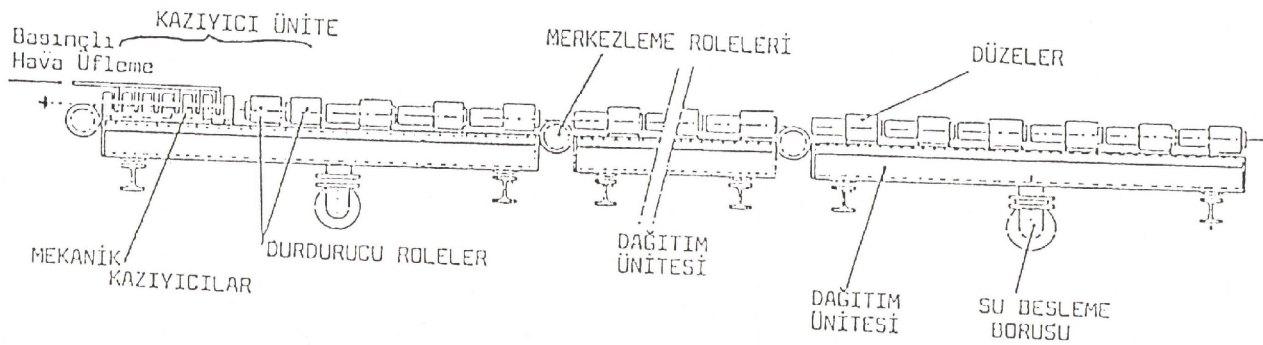
Soğutma düzeneklerinin ana parçaları "soğutma düzeleri" dir. Su verilmiş olan çubuk soğutma düzeleri içinden geçerken su ile temas halindedir. Soğutma etkisi, soğutma suyuna bağlı olan parametreler kadar, esas soğutma düzesinin geometrik ve hidrolik karakteristiklerine bağlıdır. Tipik bir soğutma düzeneği Şekil 3.4'te gösterilmektedir.

Soğutma düzenlerinde, soğutma düzelerinden arta kalan parçalar aksesuarlar olarak nitelendirilir.

Aksesuarlar;

- Sırlanmış haldeki soğutma düzelerini taşıyan ve onları su ile besleyen dağıtım üniteleri. (Dağıtım üniteleri soğurma düzelerinin sayısına, tipine ve mevcut lokal şartlarına bağlıdır).
- Dağıtım ünitelerinin arasına yerleştirilmiş olan merkezleme (veya kılavuz) röleleri; bu röleler iki fonksiyona sahiptirler.

- 1- Çubuğun geçişi anında çubuğun soğutma düzelerinin ekseninde olmasını sağlamak ve çubuğun çevresini saran suyla yüzeyin homojen temasını temin etmek.
  - 2- Çubuğa soğutma hattı tarafından uygulanan frenleme kuvvetini minimize etmektir. Bazı hallerde, merkezleme röleleri avare olabildiği gibi elektrik ve hidrolik motorlar veya su türbinleriyle tahrik edilirler.
- Durdurucu üniteler su verme hattının sonundaki soğutma düzesinden sonra yerleştirilmiş olan, ters yönde su akışını temin eden durdurucu düzeleri, mekanik kazıyıcıları ve basınçlı hava ünitesini ihtiva ederler. Durdurucu ünitelerin görevi; suyun çubuğun geçişi yönündeki akışını durdurmak ve çubuğu takip etmesini önlemektir. Suyun çubuğu takip etmesi halinde, su verme süresinin istenenin üstüne çıkması çubuğun boyca mekanik mukavemet homojenliğinin bozulmasına neden olur. Mekanik kazıyıcı ve basınçlı hava üfleme ünitelerinin görevi ise; çubuk üstündeki tufal ve benzeri artıkları temizlemek ve çekirdeğin ısı dağılımının kabukta homojenliğini sağlamaktır.



Şekil 3.4. Tipik soğutma düzeneği



### 3.1.4. Soğutma Düzeleri (Nozullar)

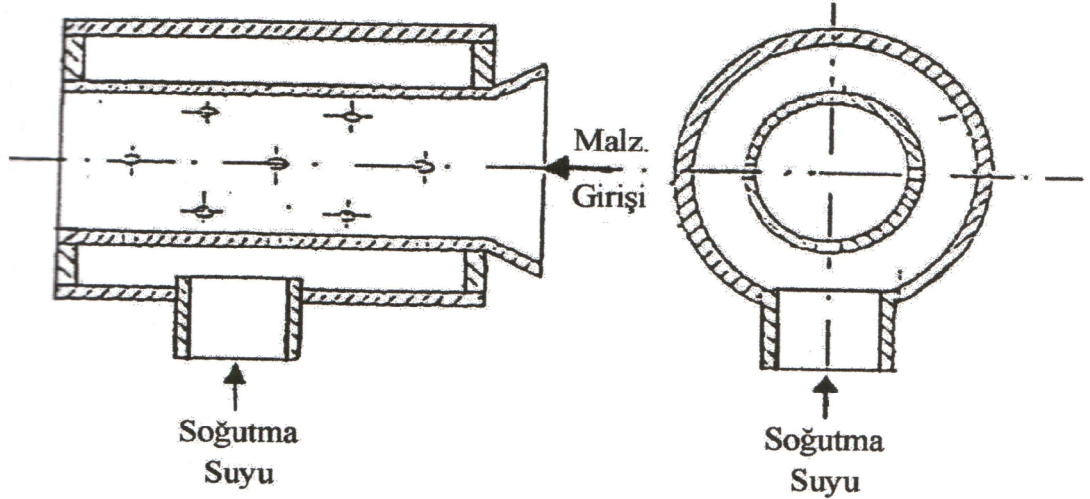
Tempcore su verme işlemi için geliştirilmiş soğutma düzeleri iki tiptir. Bunlar,

\* Radyal tip düzeler ve

\*Teğetsel tip düzelerdir.

Bir soğutma düzesi üç ana parçadan oluşur. Bu parçalar enjektör, karşıt akışlı soğutma borusu ve aynı yön akışlı soğutma borusudur. (Karşıt ve aynı yön akış terimlerinde çubuğun hareket yönü dikkate alınmıştır)

Radyal tip düzelerde enjektör ortak merkezli iç içe iki borudan oluşur (Şekil 3.5). Soğutma suyu iki borunun arasındaki boşluğa dolar. İçteki boru radyal olarak çevresinden deliklere sahiptir. Deliklerin çapı, sayısı ve yerleşimi sayısız laboratuvar ve endüstriyel deneyler sonucunda belirlenebilmiştir. Çubuk soğutma için ne karşıt akışlı soğutma borusu ne de aynı yön akışlı boru, radyal tip düzede kullanılır. Radyal tip düzeler, sadece özel durumlarda (çok düşük su basınçlarında) kullanılmaktadır.



Şekil 3.5. Radyal tip soğutma düzesi (Radyal nozul)

Teğetsel tip soğutma düzelerinde enjektörler; Şekil 3.6'da şematik olarak görüldüğü gibi dizayn edilmişlerdir. Soğutma suyu, aynı koniklikteki iki yüzeyin

eksenel olarak birbirinden uzaklaşmasıyla oluşan (e) genişliğindeki bir boşluktan gönderilir. Koniklerin relatif eksenel hareketi olarak verilir.

$$(e/\sin \alpha) \quad (3.1)$$

Koninin tepe açısı ( $2\alpha$ )'dır.

Enjektörlerin iç çapları suyun belirli bir hazne içinde toplandıktan sonra (e) aralığından kesiksiz akışını temin etmek için, karşıt akışlı ve aynı yön akışlı boruların iç çaplarından bir miktar büyük yapılmıştır.

Prensip olarak; düzenin soğutma karakteristiğini belirten ana parametreler (e, a, D) ile karşıt akışlı ve aynı yön akışlı soğutma borularının ( $X_k$ ,  $X_a$ ) boylarıdır.

Burada:

e: Konik iki yüzey arasındaki açıklık (mm)

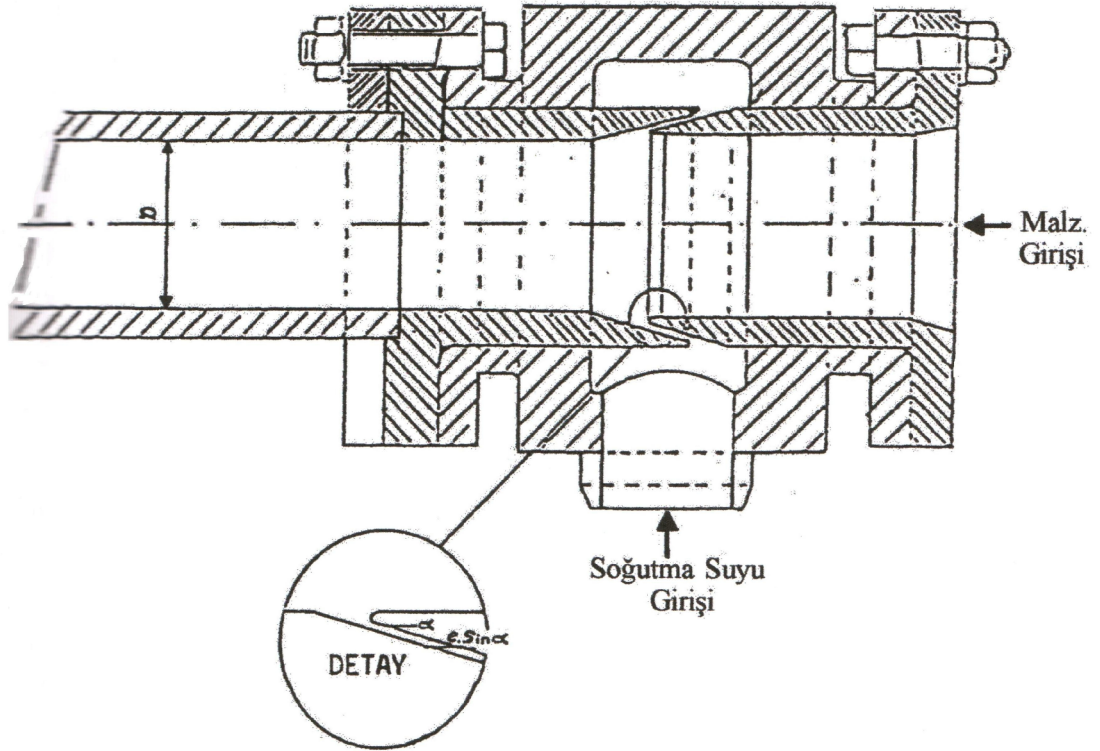
$\alpha$ : Koniklik açısı ( $^\circ$ )

D: Karşıt ve aynı yön akışlı boruların iç çapları (mm)

$X_k$ : Karşıt akışlı soğutma borusu boyu (mm)

$X_a$ : Aynı yön akışlı soğutma borusu boyunu (mm)

ifade etmektedir.



Şekil 3.6. Teğetsel tip soğutma düzesi (Eksenel nozul) (Anonim, 1998)

Bir tempcore su soğutma düzeneği aşağıdaki parametrelerle karakterize edilir.

1. Hidrolik parametreler:

- Soğutma düzesinin girişinde basıncın fonksiyonu olarak, her birim uzunluktaki su debisi ( $m^3 / \text{saat} \times m$ )
- Hidrolik verim (soğutmada kullanılan enjekte edilmiş suyun etkinliği),

olarak tanımlanır.

2. Geometrik parametreler:

Bu parametrede bilhassa "doldurma sabitesi" denilen karakteristik önemlidir.

Doldurma sabiti;

Doldurma sabiti;

$$(\dot{I}D) = d/D^2 \quad (3.2)$$

olarak tanımlanır.

Burada:

d: Çubuk çapı (mm)

D: Aynı yön akışlı boru iç çapıdır (mm).

### 3. Mekanik parametreler:

Çubuğa su tarafından uygulanan sürüklenme kuvveti. Bu kuvvet pozitif veya negatif olabilir. Pozitif olursa çubuk akış yönünde sürüklenebilir. Negatif olursa, çubuk frenlenebilir ve arka ucu son haddeden kurtulduğu anda ünitenin içinde kalabileceği gibi çubuk geçiş anında geriye doğru yığılma yapabilir (son hadde çıkışına). Bu frenleme kuvvetini yenebilmek için tempcore ünitesi çıkışına sürücü role konur. Böylece frenleme kuvveti yenilebilir.

Soğutma düzeneği içinde çubuğun kararlılığı ve su almış çubukların düzgünlüğü. Soğutma düzesi içinde çubuğun, tam merkezlenmemiş olması. Neticede homojen su almamış çubuk düzeneğin çıkışında boyca düzgünlüğünü kaybedebilir. (Özsoyeller, 1993)

Pratikte, soğutma düzenekleri iki önemli parametre ile açıklanırlar:

1. "Termal Verim" soğutma suyunun birim hacmiyle taşınan ısı miktarıdır.
2. "Ortalama soğutma gücü" çubuğun yüzeyine geçen ısı akış yoğunluğunun ortalama değeridir.

#### **3.1.5. Su Toplama ve Geri Dönüş Sistemi**

Bu sistem, tempcore düzeneğinde kullanılan suyu bir kollektör vasıtasıyla toplamak ve kanallarla tufal çukuruna göndermek üzere kurulmuştur. Tufal çukurları yardımıyla tufalın çökmesi sağlanır. Çukurlar sonrasına alçak basınç pompaları konmuş olup, bu pompalar çukurdaki suyu soğutma kulelerine devamında da havuzlara göndermek üzere kullanılır.

### 3.1.6. Kontrol Sistemleri

Kontrol sistemlerinde;

Pirometreler: Çubuğun tempcore ünitesine giriş ve çıkış sıcaklıkları ile soğutma platformuna yakın bir yerde temperleme sıcaklığının tespitinde kullanılır.

Su Debisi ve Basınç Ölçme Düzenekleri: Tempcore ünitesine verilen suyun debi ve basıncını kontrol için kullanılır.

Popülasyon ve Açma-Kapama Vanaları: Regülasyon vanası su basıncını ayarlamak, açma-kapama vanaları ile çalışır haldeki su pompalarını devre dışı bırakmamak için kullanılır.

Bunların otomatik olması uygundur.

Soğutma Suyu Donanımları:

- Yüksek Basınç Pompaları: Bu pompalar tempcore ünitesi için gerekli debi ve basınçtaki soğutma suyunu üniteye göndermede kullanılırlar.
- Alçak Basınç Pompaları: Tempcore ünitesinden ısınarak gelen havuzda dinlendirilmiş suyu soğutma kulelerine göndermede kullanılırlar.
- Filtreler: Tempcore ünitesinden gelen tufal v.b. katı partikülleri temizlemede kullanılırlar.
- Soğutma Kuleleri: Üniteye ısınarak dönen suyu tekrar soğutmak üzere kullanılırlar. Soğutma suyunun üniteye maksimum 35°C de gönderilmesi yapılan deneysel çalışmalarda tespit edilmiştir. (Kodal, 2003)

### 3.2. Tempcore İşleminin Temel Metalurjik Prensipleri

Burada, tempcore prosesini metalurjik olarak incelenmesi ve malzeme üzerine mekanik etkilerinden bahsedilecektir.

### 3.2.1. Tempcore Prosesinin İÇerdiği Temel Metalürjik Kavramlar

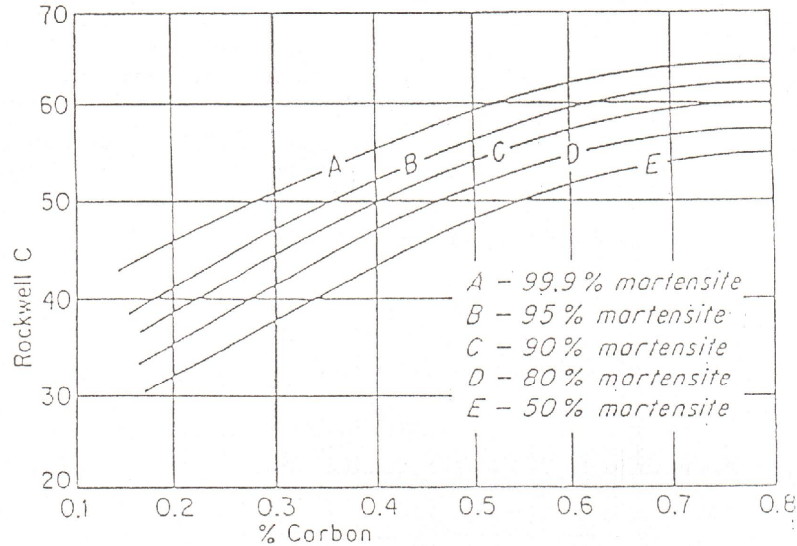
#### 3.2.1.1. Sertlik

Sertlik çeliğin, plastik deformasyona gösterdiği dirençtir. Çeliğin sertliği arttıkça mukavemeti de artar.

Tempcore prosesinin temeli, çelik yüzeyinin su verme yöntemiyle sertleştirilmesi prensibine dayanır. Hızlandırılmış su verme ünitesine girmeden önce, finish pasosunu terk eden yaklaşık 1000°C deki çeliğin mikro yapısı %100 östenitten oluşmaktadır. Su verme sırasında, çubuğun Martenzit başlangıç sıcaklığı altına düşen yüzey kısmı östenit fazından martenzit fazına dönüşür. Yavaş soğuyan merkez ise östenit fazından ferritik-perlitik bir mikro yapıya dönüşür.

Martenzit çeliğin en sert fazıdır. Çeliğin sertleşmesi istendiğinde:

1. Martenzitin sertlik değerinin mümkün olduğunca yüksek olması istenir. Mikro yapının, %100 martenzitten oluştuğu varsayılırsa, su verme sonrasında oluşan mikro yapının sertliği sadece çeliğin %C içeriğine bağlıdır.



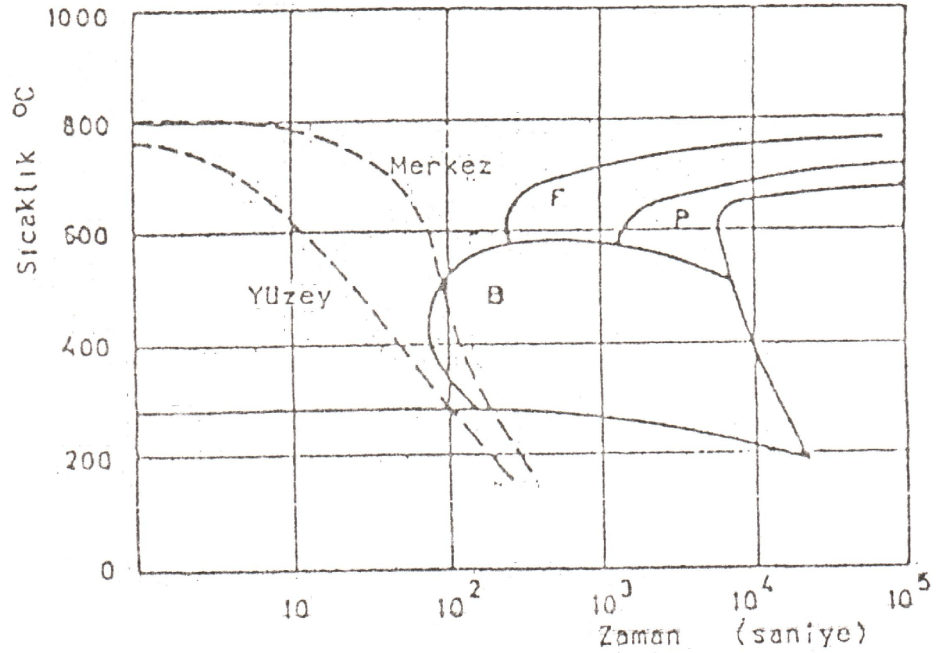
Şekil 3.7. Martenzit sertliğinin %C miktarına bağlı değişimi

2. Mikro yapıda martenzit yüzdesinin yüksek olması gereklidir. Östenit-Martenzit dönüşümünün oranı; çeliğin kompozisyonuna, östenit tane büyüklüğüne, soğutma hızına ve dolayısıyla parçanın büyüklüğüne bağlıdır.

Bu konunun ve daha sonra açıklanacak olan sertleşebilirlik kavramının anlaşılabilmesi için "Sürekli Soğuma Süresince Dönüşüm Eğrileri" (CCT eğrileri)'nin açıklanması faydalı olacaktır. Bu eğrilere, Tempcore prosesinin yorumlanması ve uygulanması konularında da oldukça sık olarak başvurulacaktır.

➤ Sürekli Soğuma Süresince Dönüşüm Eğrilerinin Yorumlanması (CCT eğrileri):

Su verme sırasında martenzit oluşabilmesi için, soğuma eğrisinin CCT diyagramının burun bölgesini kesmeden  $M_s$  (martenzit dönüşümü başlama sıcaklığı) sıcaklığının altına inmesi gereklidir. Martenzit dönüşümünün tamamlanabilmesi için ise soğuma eğrisinin  $M_f$  (martenzit dönüşümü bitiş sıcaklığı) sıcaklığına inmesi gereklidir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Çeliğin ani soğutulmasında yüzey-çekirdek durumu (CCT diyagramı)

Tempcore prosesinde su verme sırasında, dairesel kesitli çubukta şiddetli soğutmaya maruz kalan yüzey bölgesi hızla soğumakta ve martenzite dönüşmektedir. Ancak merkez daha yavaş soğuduğundan ferritik-perlitik mikro yapıya sahip olacaktır.

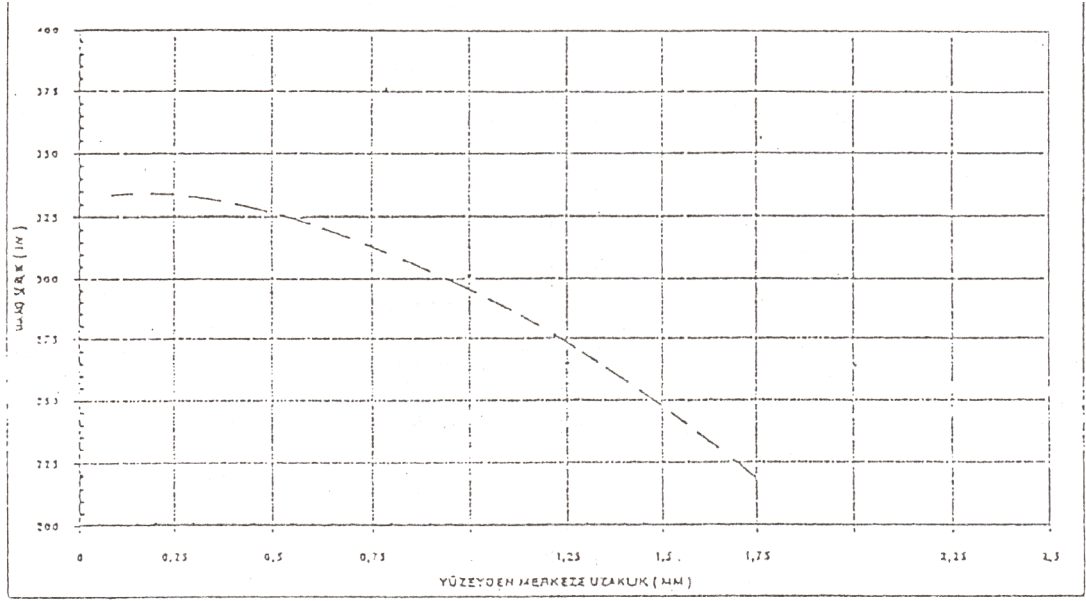
Su verilen çubuğun, yüzeyinden belirli bir derinliğine kadar martenzitik yapı oluşmaktadır. Oluşan martenzitin kalınlığı, su verme şiddeti, süresi ve kimyasal kompozisyona bağlıdır.

Belirli bir kalınlıkta olan martenzitik bölgenin sertliği, yüzeyden yani minimum sıcaklığa erişilen noktadan, bölgenin bitiş noktasına yaklaşıldıkça azalır. Martenzitik bölgenin son bulunduğu bölge soğuma sırasında  $M_s$  sıcaklığına ulaşamayan derinliktir. Soğuma sırasında, yüzeyden martenzitik bölge bitiş noktasına doğru gidildikçe sıcaklık yükselmektedir.  $M_f$  sıcaklığına ulaşan yüzey bölgesinde %100 martenzit oluşmaktadır. Ancak, derinlere inildikçe, östenit-martenzit dönüşümü,  $M_f$  sıcaklığına ulaşamamasından dolayı tamamlanamamaktadır. Bunun sonucunda, kabuk bölgesinde yüzeyden içeriye doğru martenzit yüzdesi düşer, beynit ise artar. Bu ise sertliğin düşmesi anlamına gelir (Şekil 3.9).

Çelikte karbon ve manganın artması  $M_s$  ve  $M_f$  sıcaklığını düşürür. Bunun sonucunda martenzitik bölgenin sertliği düşer. Ancak karbon oranındaki artış ise oluşan martenzitin sertliğini arttırmaktadır.  $M_s$  sıcaklığı pratik olarak aşağıdaki formülle hesaplanabilir. (Kodal, 2003)

$$M_s (\text{°C}) = -361 (\%C) - 39 (\%Mn) + 500 \quad (3.3)$$





Şekil 3.9. N18 mm çubukta mikrosertliğin yüzey-merkez arası uzaklıkla değişimi

### 3.2.1.2. Sertleşebilirlik

Çeliğin sertleşebilirliği, yüzeyde elde edilebilecek en yüksek sertlik değeri değildir. Sertleşebilirlik, belirli bir sertlik değerinin belli bir derinliğe kadar garanti edilebilmesidir.

Çeliğin sertleşebilirliğini belirleyen iki etmen vardır. Bunlar:

a) Çeliğin Kimyasal Bileşimi: Kimyasal bileşim, daha belirgin olarak östenitleme sıcaklığındaki östenitin bileşimi olarak tanımlanmalıdır. Çünkü, karbür, nitrür vb. bileşikler oluştuğunda, östenitleme işlemi bunları çözündüremez ise östenit, çeliğin oda sıcaklığındaki bileşiminden farklı bir bileşime sahip olur ve bunun sonucunda da farklı sertleşebilirlik değerleri elde edilir. Fakat, östenitleme işlemi gerektiği gibi yapıldığında (homojen tavlama) pratik uygulamalar için sertleşebilirlik çeliğin oda sıcaklığındaki bileşimi ile belirlenir.

Sertleşebilirliği etkileyen önemli elementlerden birisi çeliğin bileşimindeki karbondur. Karbon arttıkça belirli oranda sertleşebilirlik de artar. Fakat, bunun yanı sıra tokluk düşer. Sertleşebilirliği asıl etkileyen çeliğin bileşimindeki alaşım elementleridir. Alaşım elementlerinin en önemli kullanım amacı sertleşebilirliği arttırmaktır. Gerek karbon gerekse alaşımli çeliklerde kullanılan alaşım elementleri eş ısı dönüşüm eğrilerini sıcaklık ekseninden uzaklaştırırlar. Bunun sonucunda daha yavaş soğuma hızlarında martenzit dönüşümü oluşabilir ve çelik daha kolay sertleştirilebilir.

Bileşimleri ve buna bağlı olarak türleri farklı çeliklerin, sertleşebilirlik özellikleri de farklı olacaktır. Ekonomik olarak sertleşebilirliği arttıran elementler Mn, Cr ve Mo'dir.

#### b) Östenit Tane Büyüklüğü

Östenit tane büyüklüğü arttıkça, sertleşebilirlik düşer. Haddeleme öncesinde, kütükler aşırı tavlaniırsa, tane irileşmesi oluşacaktır. Bu ise su verme sırasında sertleşebilirliği azaltacak ve martenzit bölgenin daha ince olmasına ve sonuç olarak da düşük mukavemetli çubuk üretimine sebep olacaktır.

Homojen yapılmayan tavlama aynı şekilde istikrarsız mukavemet dalgalanmalarına yol açacaktır.

Tavlama sırasında yüzey dekarbürizasyonunun oluşması ise karbon yüzdesini düşüreceğinden, sertleşebilirlik ve oluşturulacak martenzitin sertliğini düşürür.

Tav sıcaklığının yüksek olması, aynı zamanda soğuma sırasında oluşan sıcaklık profilini de değiştirir ve oluşan martenzit bölge daha ince olur.

Tav sıcaklığının yüksek olmasının bir dezavantajı da, su verme sonrasında temperleme sıcaklığının daha yüksek olması nedeniyle martenzit sertliğinin düşmesi ve mukavemetin buna bağlı olarak azalmasıdır.

#### 3.2.1.3. Kaynaklanabilirlik

Kaynaklanabilirlik özelliği göreceli bir kavramdır. Her çelik uygun kaynaklama yöntemi ile kaynaklanabilir. Ancak, bir çelik kaynaklanabilir denildiğinde, o çeliğin kaynağının, özel yöntem ve önlemler gerektirmeksizin ve kaynakçılık hakkında çok

az deneyimi olan kişilerce dahi güvenle ve problemsiz olarak yapılabileceği anlaşılır.

Çeliğin sertleşebilirlik özellikleri arttıkça, kaynaklanabilirliği düşer. Karbon ile alaşım elementlerinin yüksekliği, soğuma sırasında martenzit oluşumuna yol açtığından kaynaklı bölgede kırılabilirliği artırır, çatlama yapar. Bu tür kaynaklama sorunları, kaynaklanacak çeliğe bir ön ısıtma ve ard ısıtma uygulanarak önlenir. Genellikle, karbon bileşeni % 0.030 değerinin üzerinde olan çeliklere, kaynaklama öncesi ve sonrası ısıtma uygulanmalıdır.

Kaynaklanabilirlik özelliği, beton çeliklerinde aranan en önemli özelliklerdendir. Genelde, inşaatlarda kullanılan çeliklerin sadece %3 'üne (hasırlar hariç) kaynaklama işlemi uygulanmasına rağmen, kaynaklanabilir çelik tercih edilmektedir. Bunun sebebi kaynaklanabilir olan çeliğin, kaynaklanabilirliğinin yanı sıra bir dizi avantajı da beraberinde getirmesidir. Bu avantajlardan en önemlisi düşük karbon içeriğinin sunduğu süneklik yani rahatlıkla eğilip bükülebilirlik özelliğidir. Bu nedenle, piyasalarda kaynaklanabilir çeliğin daha kaliteli olduğu kanısı hakimdir ve tercih edilmektedir.

Tempcore prosesi kaynaklanabilir nervürlü beton çeliği üretiminde kullanılan en yaygın yöntemdir. Modern beton çeliği standartlarında, karbon oranı genellikle maksimum %0.25 ile sınırlandırılmıştır. Kaynaklanabilirlik ise "Karbon Eşdeğeri" olarak anılan bir kriter ile garanti altına alınmıştır. Örneğin TS 708 1996 Standardında kaynaklanabilirlik garantisi olan IV-a kalitesi için "Karbon Eşdeğeri" maksimum 0.50 olarak sınırlandırılmıştır.

$$C_{E\dot{S}} = C + Mn/6 + (Cr+Mo+V)/5 + (Ni+Cu)/15 \quad (3.4)$$

Dikkat edilirse, karbon eşdeğerinin özellikle, sertleşebilirliği arttıran elementlerin ve karbonun, kaynaklanabilirlik üzerindeki etki seviyeleri dikkate alınarak hazırlanan bir formülasyon olduğu görülecektir.

### 3.3. Martenzitik Dönüşüm ve Tempcore Çubuğunda Martenzitin Hacimsel Yüzdesi

Martenzit önceleri sadece çeliklerin ani soğutulması neticesinde meydana gelen faza verilen ad olarak kullanılıyordu. Bugün martenzitik dönüşümlerin demir olmayan metallerde de olduğu bilinmektedir. Çeliklerde martenzit hacim merkezli tetragonal kristal yapıya sahip yarı dengeli bir fazdır. Hacim merkezli kübik (HMK) “ $\alpha$ ”nın C ile aşırı doymuş hali olarak da kabul edilir.

Martenzitik reaksiyonlarda da çekirdeklenme ve büyüme söz konusudur. Çekirdeklenme için aşılması gereken enerji bariyeri yüksektir. Bu nedenle çeliği, martenzitik reaksiyon için dengeli dönüşüm sıcaklığının ( $M_s$ ) çok çok altına ani olarak soğutmak gerekir.

Çeliklerdeki martenzitik dönüşümde,  $\gamma$  bölgesindeki bir çelik Yüzey merkezli kübik (YMK) kristal yapısındadır ve çelikteki karbonun tümünü katı eriyikte çözünmüş olarak bulundurur. Ani olarak  $M_s$  sıcaklığının altına soğutulduğunda  $\gamma$ 'da çözünmüş C kristal kafesini terkedip karbür yapamadığı için  $\gamma$  kristal kafesindeki yerinde hapsolup kalır.

Bu sıcaklıkta HMK- $\alpha$  yapısına sahip olması gereken demir, C atomlarının kafeste hapsolması nedeniyle kristal parametreleri değiştiğinde hacim merkezli tetragonal bir yapı gösterir. Demek ki hacim merkezli tetragonal kristal yapıya sahip martenzit karbonca aşırı doymuş  $\alpha$  -fazı olarak görülebilir. Martenzit sertliğin sebepleri:

- Küçük tane boyutu,
- Çok miktarda katı eriyikte çözünmüş C,
- İç gerilmeler,
- Kristal yapıda kusurların çokluğu,

olmaktadır. Bu nedenlerle martenzit oldukça kırılğan, gevrek bir yapıya sahiptir. Gevrekliği gidermek için malzemenin temperlenmesi gerekir.

Martenzitik dönüşümün başlama sıcaklığı ( $M_s$ ) çeliğin kimyasal kompozisyonunun bir fonksiyonudur ve aşağıdaki bağıntıyla verilmektedir.

$$M_s = -351 (\%C) - 39 (\%Mn) + 500 \quad (3.5)$$

Burada;

$M_s$  : Martenzit dönüşüm başlangıç sıcaklığı ( °C ),

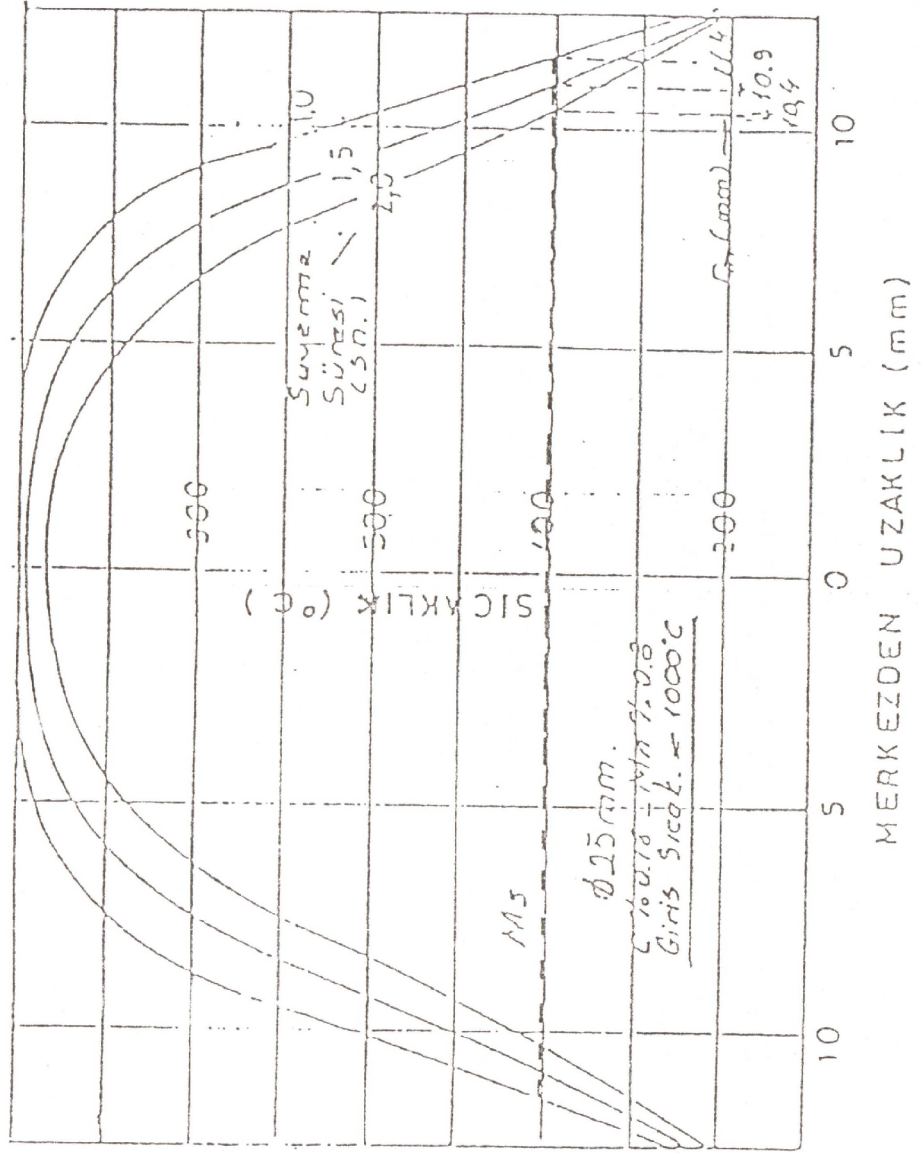
% C : Karbon yüzde miktarı,

% Mn : Manganın yüzde miktarı,

olarak ifade edilmektedir.

Tempcore ısııl işlemine tabi tutulmuş 0.25 mm çapında nervürlü çubuğun su verme sonrasında kesitindeki sıcaklık dağılımı Şekil 3.10'da 1, 1.5 ve 2 sn su verme sürelerine bağlı olarak gösterilmiştir.

Şekil 3.10'da üç ayrı su verme süresinden herbiri için martenzit kabuğun yarıçapı ( $F_m$ ) değerleri dikkate alındığında sırasıyla  $P_m = \%30.8$ ,  $\%24.3$ ,  $\%16.8$  değerleri 2.0, 1.5 ve 1.0 sn su verme sürelerinde elde edilmiştir. Bir tempcore soğutma düzeneği için, birim boydaki su debisi, su sıcaklığı ve sabit bir kimyasal kompozisyonda martenzit yüzdesi, su verme zamanı, çubuk çapı ve soğutma düzeneği içine çubuğun giriş sıcaklığına bağlıdır.



Şekil 3.10. Su verme sonrası Ø25 mm.'lik bir çubukta sıcaklık dağılımı

### 3.4. Temperleme

Su verilmiş bir çelikte elde edilen martenzit sert ve kırılğan olduğundan 650°C'nin altındaki sıcaklıklarda çelik belirli süre beletilerek sertlik bir miktar azaltılıp tokluk artırılır. Bu işleme temperleme (menevişleme) denir.

Temperlemede belirli mekanik özellikleri elde etmek için, belirli bir sıcaklıktaki çeliğin belirli bir süre bekletilmesi gerekir. Temperleme sıcaklığı ile zaman arasında şu şekilde bir bağıntı vardır (Holloman ve Yaffe bağıntısı).

$$F = T(C + \log t)10^3 \quad (3.6)$$

Burada;

P : Ele alınan özellik (sertlik),

T : Sıcaklık ( °K )

t : Zaman (saat)

C : Malzemeye bağlı bir sabit

dir.

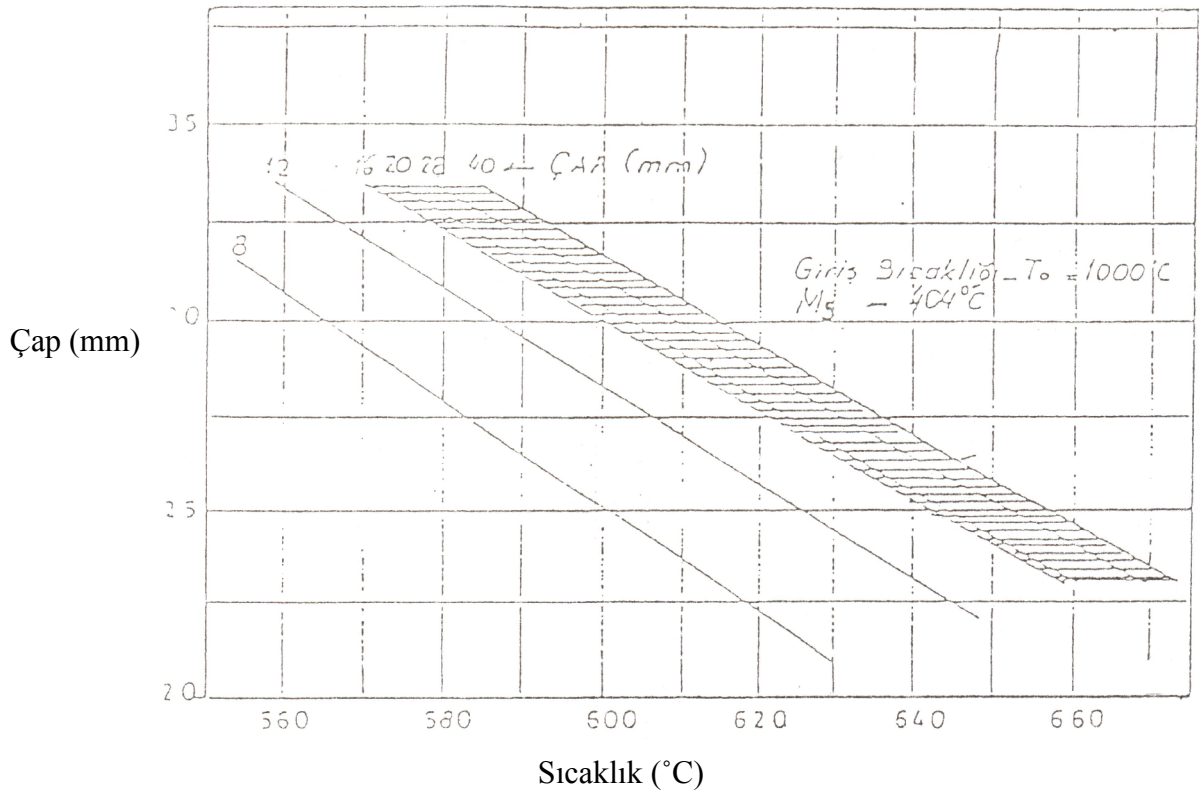
Bu denklem temperleme sıcaklığındaki küçük bir azaltma için, temperleme zamanında büyük bir artışın gerekliliğini göstermektedir.

Temperlemede dikkat edilecek bir husus vardır. Belirli sıcaklık aralıklarında çelik temperlendiğinde aşırı olarak çeliğin gevrekleşip kırılğanlaştığı görülür. 350°-550°C arasında görülen bu gevrekleşme hadisesi Sb, Sn, P, As gibi elementlerin tane sınırlarına segregasyonu nedeniyle oluşur. Bir çelik için bu gevrekleşme aralığı tespit edilir ve bu aralıkta temperlemeden kaçınılır. Bu tedavisi mümkün bir kusurdur, eğer gevrekleşen bir çelik tekrar gevreklik bölgesi dışında bir sıcaklıkta temperlenirse, gevreklik kaybolur. Ayrıca çeliğe belirli kompozisyon sınırları arasında kalmak şartıyla ilave edilen Mo, Ti, Nb gibi elementler temper gevrekliğini azaltır.

Tempcore yönteminde temperleme sıcaklığının kendi kendini temperleme süresince çubuğun yüzeyinin kazandığı maksimum sıcaklık olduğu daha önce belirtilmiştir. Bu parametre ( $T_r$ ) iki nedenden dolayı önemlidir. Bunlar;

1. Martenzitik yüzey kabuğunun minimum temperleme sıcaklığına tekabül eder.
2. Direkt olarak bir radyasyon pirometresiyle ölçülebilir ve prosesin kontrolü için kullanılır.

$(T_r)$  ve  $(P_m)$ , tempcore işlemine tabi tutulmuş çubuğun mekanik özelliklerinin ana kontrol parametreleri olup bunların arasındaki bağıntı Şekil 3.11'de gösterilmiştir. " $P_m - T_r$ " bağıntısı lineer olup, eğimi  $(dP_m / dT_r)$  çubuk çapına bağlı değildir.

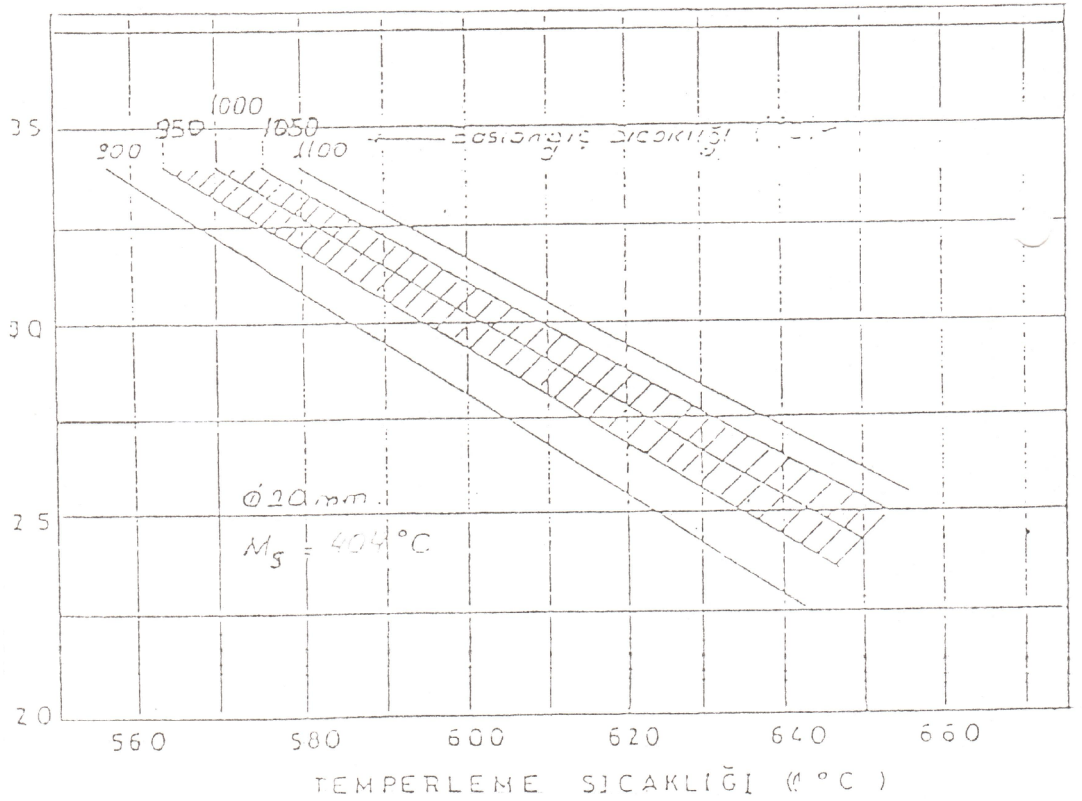


Şekil 3.11.  $P_m(T_r)$  bağıntısında çubuk çapının etkisi



“ $P_m-T_r$ ” bağıntısı üzerine başlangıç sıcaklığının etkisi Şekil 3.12’de gösterilmiştir. Pratikte ve normal işlem şartları için, aynı çaplardaki finish sıcaklığının değişimi  $\pm 50^\circ\text{C}$ ’yi geçmemektedir. Pratikte bu sıcaklık  $1000^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$  ölçülmüştür. Bu nedenle “ $P_m-T_r$ ” bağıntısına başlangıç sıcaklığının ( $T_0$ ) etkisi pratikte ihmal edilebilir.

Şekil 3.12’de görüldüğü gibi başlangıç sıcaklığının değişimi “ $P_m-T_r$ ” eğrisinin eğimini ( $dP_m / dT_r$ ) değiştirmektedir. Yukarıdaki analizlerden şu sonuç çıkarılabilir.  $d$  ve  $T_0$ ’ın her ikisi de bir  $P_m(T_r)$  bağıntısına benzer ve prosesin kontrolü için kullanılabilir.



Şekil 3.12  $P_m(T_r)$  bağıntısına başlangıç sıcaklığının ( $T_0$ ) etkisi

### 3.5. Tempcore İşlemine Tabi Tutulmuş Nervürlü İnşaat Çeliklerinin Mekanik Özellikleri

Tempcore işlemine tabi tutulmuş bir nervürlü inşaat çeliğinin akma mukavemetinin teorik olarak hesaplamasında şöyle bir yöntem izlenebilir. Çubuğun enine kesitinin ikiye ayrıldığı ve silindirik bir kabuk ile çekirdekten oluştuğu düşünülür. Bu düşünce içinde, kabuğun akma mukavemeti (martenzitik kısmın akma mukavemeti)  $\sigma_{am}$ , çekirdeğin akma mukavemeti  $\sigma_{aç}$  diye adlandırılmıştır.

$\sigma_{am}$  değerinin hesaplanmasında aşağıdaki bağıntı, pratik kullanımlar için yeterli doğrulukta sonuçlar vermiştir. Martenzit kabuğun akma gerilimi:

$$\sigma_{am} = -1.75T_r + 1781.5 \quad (3.7)$$

Burada;

$T_r$  : Temperleme Sıcaklığı ( °C )

$\sigma_{am}$  : Martenzit Kabuğun Akma Gerilimi ( MPa )

anlamına gelmektedir.

Temperlenmiş martenzitin özellikleri yalnızca kompozisyonuna ve temperleme sıcaklığına bağlıdır. Teorik olarak verilen bir temperleme sıcaklığı için alaşımsız çeliklerde martenzitin akma mukavemeti mangan miktarına bağlı olup, karbon miktarının karekökünün lineer bir fonksiyonudur. Pratik uygulamalarda, normal kompozisyon aralığında C ve Mn'nin etkisi gözardı edilebilir.

$\sigma_{aç}$  (çekirdeğin akma mukavemetinin) hesaplanmasında ise  $\sigma_{aç}$  ( $T_ç$ ) çekirdeğin sıcaklığı ve kompozisyon arasındaki bağıntıyı açıklamak için şöyle bir deneysel çalışma yapılmıştır. Değişik ( $T_ç$ ) sıcaklıklarındaki çubuklar kurşun banyosu içinde ostenitleme ve su verme işlemine tabi tutulmuş ve yapılan regregasyon analizi aşağıdaki formülü ortaya çıkarmıştır.

$$\sigma_{aç} = -0,406T_ç + 357 (\%C) + 38,7 (\%Mn) + 495 \quad (3.8)$$

Burada:

$T_ç$  : Çekirdeğin sıcaklığı ( °C ),

- %C : Karbon miktarı (%),  
 %Mn : Mangan miktarı (%),  
 $\sigma_{a\check{c}}$  : Çekirdeğin akma mukavemeti (MPa),

olarak tanımlanmıştır.

Buradan, çubuğun (sonuç) nihai akma mukavemetine karar verilirken  $\sigma_{am}$  ile  $\sigma_{a\check{c}}$  kombinasyonu için bir yol aranmıştır. Bunun için de şu iki basitleştirme dikkate alınmıştır:

1. Akma mukavemetlerinin toplanabilirliği,
2. Çubuktaki özelliklerin değişiminin ihmal edilebilirliği ve sadece iki bölgenin varlığının kabulü.

Bu basitleştirmeler sonucunda, yüzey kabuğu (martenzit kabuk)  $\sigma_{am}$  akma mukavemetine sahiptir ve  $P_m$  yüzde hacmini işgal etmektedir. Çekirdek ise  $\sigma_{a\check{c}}$  akma mukavemetine sahip olup  $(1 - P_m)$  yüzde hacmini işgal etmektedir. Bu şartlarda çubuğun sonuç akma mukavemeti:

$$\sigma_a = P_m \sigma_{am} + (1 - P_m) \sigma_{a\check{c}} \quad (3.9)$$

olacaktır. Burada,

- $\sigma_a$  : Çubuğun toplam akma mukavemeti (MPa)  
 $P_m$  : Martensit kabuğun hacim yüzdesi (%)  
 $\sigma_{am}$  : Martenzit kabuğun akma mukavemeti (MPa)  
 $(1 - P_m)$  : Çekirdeğin hacim yüzdesi (%)  
 $\sigma_{a\check{c}}$  : Çekirdeğin akma mukavemetidir (MPa).

Sonuç olarak tempcore yöntemi aşağıdaki bağıntılarla anlatılır.

$$P_m = f(t, d, T_o, M_s) \quad (3.10)$$

$$T_r = f(t, d, T_0) \quad (3.11)$$

$$M_s = -351 (\%C) - 39 (\%Mn) + 500 \quad (3.12)$$

$$\sigma_{a\zeta} = -0.406 T_r + 357 (\%C) + 38.7 (\%Mn) + 495 \quad (3.13)$$

$$\sigma_{am} = -1.75 T_r + 1781.5 \quad (3.14)$$

$$\sigma_a = P_m (\sigma_{am} - \sigma_{a\zeta}) + \sigma_{a\zeta} \quad (3.15)$$

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMALAR

Deneysel çalışmalar, sıcak haddelemede tempcore prosesinin farklı çaplardaki inşaat çeliklerinin mekanik özelliklerine etkisinin belirlenmesini kapsamaktadır. Bu çalışmada bir demir çelik fabrikasının haddehane ünitesinde tempcore prosesi ile üretilen çeşitli çaplardaki ( Ø12, 16, 20, 22, 25, 32 mm) inşaat çelikleri kullanılmıştır.

Bu malzemelere ait kimyasal bileşim ve karbon eşdeğeri ( $C_{eş}$ ) Çizelge 4.1' de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimleri ve karbon eşdeğeri

Malzeme Çapı mm	Kimyasal Bileşim (%)											$C_{eş}$
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	V	Ni	Cu	Al	
Ø 12	.18	.70	.25	.01	.03	.15	.02	Yok	.14	.35	.003	.363
Ø 16	.17	.69	.19	.01	.04	.13	.02		.13	.40	.003	.350
Ø 20	.17	.68	.21	.01	.03	.10	.02		.12	.44	.003	.344
Ø 22	.18	.76	.18	.03	.04	.17	.02		.12	.29	.003	.372
Ø 25	.16	.68	.25	.01	.05	.17	.02		.20	.74	.003	.362
Ø 32	.24	.82	.19	.01	.05	.08	.01		.11	.38	.003	.429

## 4.1. Tempcore Prosesinde Gözlenen Mikroyapılar

### 4.1.1. Metalografik Çalışmalar

Tempcore nervürlü çubuklarının dikey kesitinde sık karşılaşılan iki önemli makrografik görünümü Şekil 4.1’de görülmektedir.

Su verilmiş çubuklar için sadece iki bölge ayırt edilmektedir; dışta temperlenmiş martenzit kabuk ve ferrit ile perlitten oluşan çekirdek.

Tempcore çubuklarının dikey kesitinin normal görünümü “üç kabuklu yapı”dır. Üç kabuk yüzeyden merkeze doğru temperlenmiş martenzit, beynit ve ferrit-perlitten oluşur. Diğer tüm parametreler sabit olmak kaydıyla, martenzit ve beynit kabukların kalınlığı artan su verme süresiyle artar.

Ekstrem hallerde, normal olarak pratikte tavsiye edilmeyen beynit kabuk merkezde bile oluşabilir.

### 4.1.2. Mikrosertlik

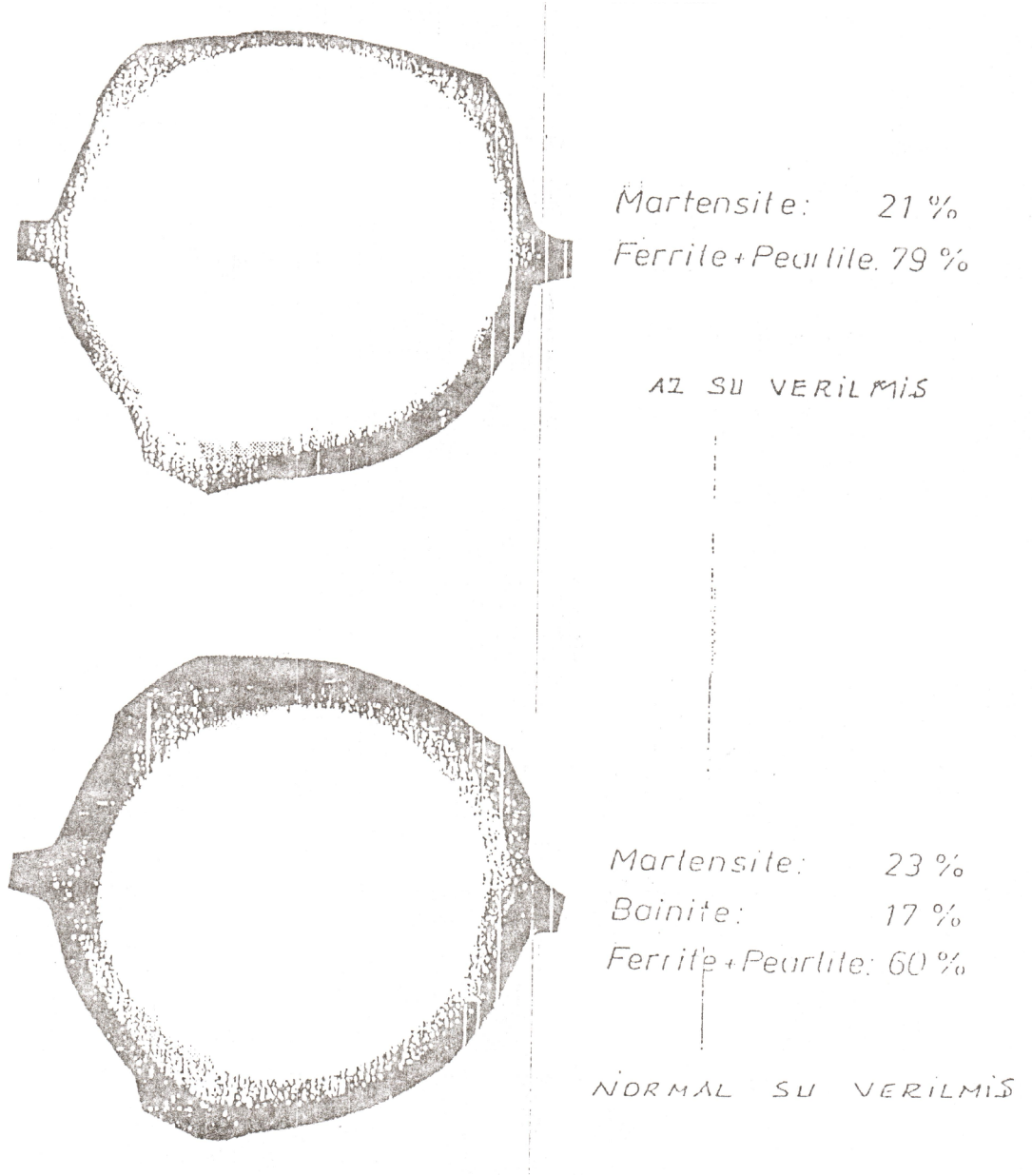
Şekil 4.2.’de endüstriyel olarak işleme tabi tutulmuş Ø20 mm çapında bir tempcore nervürlü çubuğunda ölçülmüş tipik bir mikrosertlik eğrisini göstermektedir. Şekil 4.2’de şu görülmektedir; eğri hemen hemen simetriktir ve sertlik değişimi yüzeyden merkeze süreklidir.

Azalan su verme zamanı, yani artan temperleme sıcaklığı mikrosertlikte şu değişimi ortaya çıkartır:

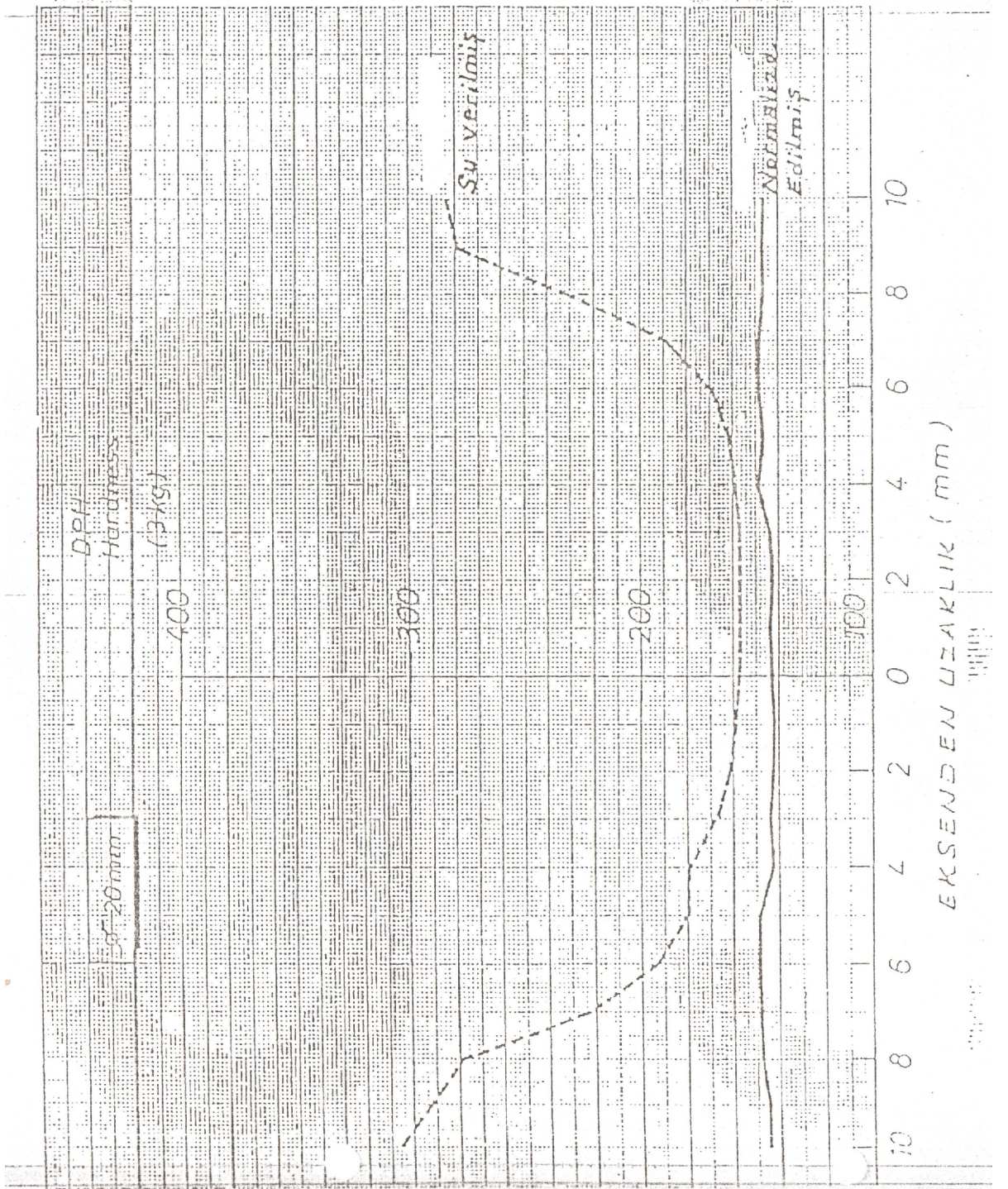
- Çekirdek sertliği dönüşüm sıcaklığındaki bir artış sonucunda azalır,
- Yüzey sertliği, martenzitin temperleme sıcaklığındaki bir artış sonucunda azalır.

Tempcore prosesinde zamana bağlı mikroyapı-sıcaklık ilişkisi Şekil 4.3’te gösterilmektedir. Bazı durumlarda, sertlik profili çubuğun yüzeyine yakın yavaş bir

düşüş gösterir. Bu tav fırınında yüzey dekarbürizasyonuna atfedilir. Şekil 4.4'te tempcore prosesi ile üretilmiş nervürlü inşaat çubuğunun kesit resmi verilmektedir.

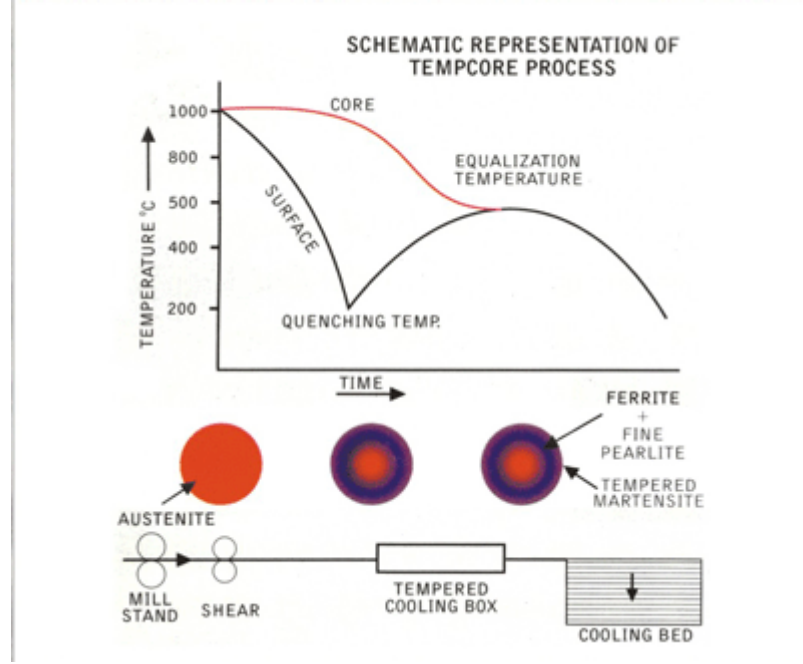


Şekil 4.1. Az ve normal su verilmiş tempcore çubuklarının kesit makrografları

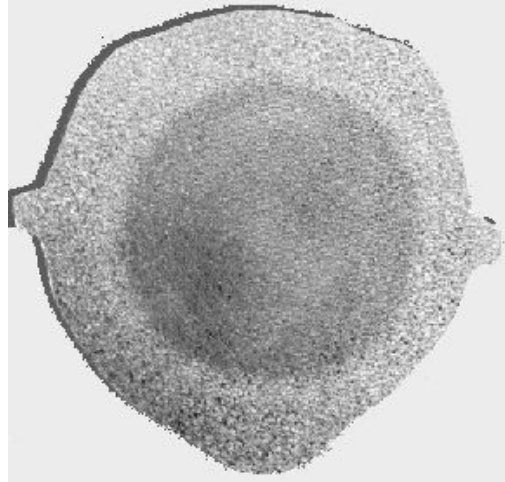


Şekil 4.2. Ø20 mm tempcore çubuğunda tipik mikrosertlik eğrisi





Şekil 4.3. Tempcore prosesinde zamana bağlı mikroyapı-sıcaklık ilişkisi



Şekil 4.4. Tempcore prosesi ile üretilen nervürlü inşaat çubuğunun kesiti

#### 4.2. Çekme Deneyi Sonuçları

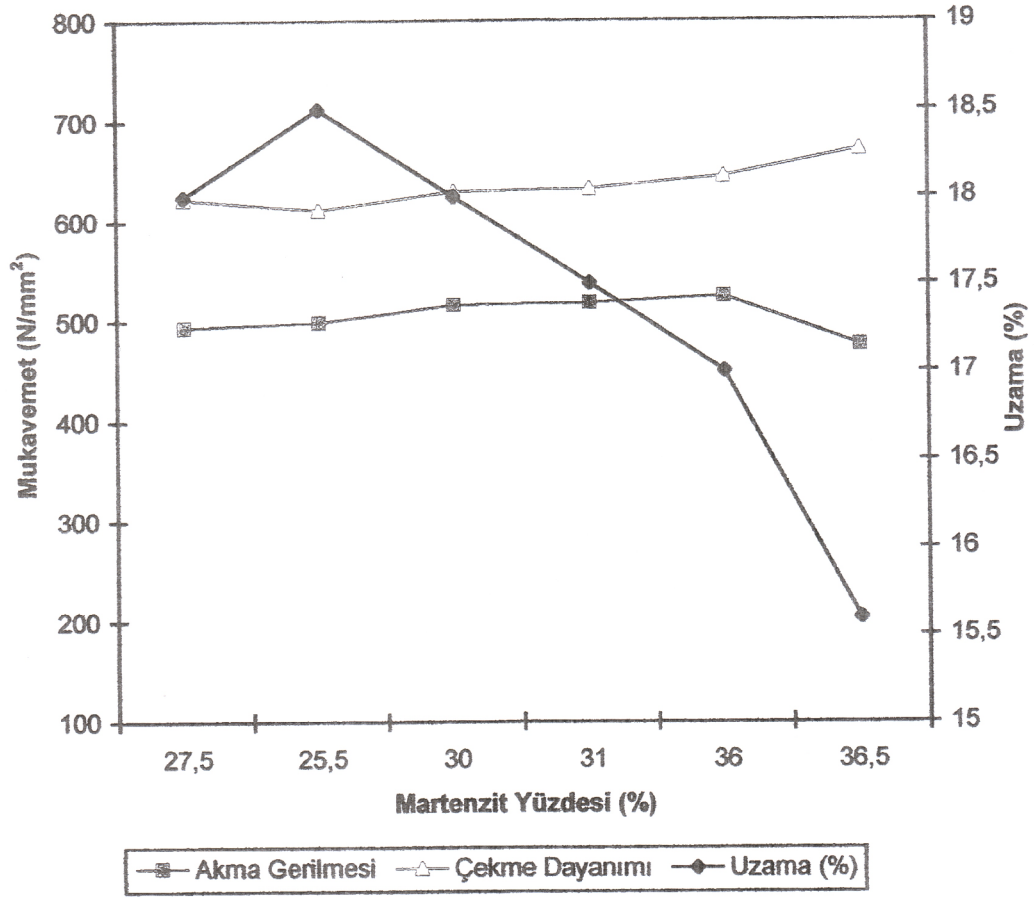
Ø 12, 16, 20, 22, 25 ve 32 mm çapındaki çubuklar uygun boylarda kesilerek çekme deneyleri yapılmıştır. İlk ölçü boyları,  $L_0=10 D_0$  bağıntısına uygun olarak alınmıştır. Çekme deneyleri ile bu inşaat çelik çubukların akma gerilmeleri, çekme gerilmeleri ve % uzama değerleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.2’de verilmiştir. Deney sonuçlarında elde edilen mukavemet ve % uzama değerleri standartların üzerinde çıkmıştır.

Çekme testi için uygun boylarda kesilip hazırlanan çubukların, çekme testi yapılmadan önce kesitleri incelenerek martenzit kabuğun kalınlığı ve çekirdek çapı ölçülmüştür. Böylelikle martenzit yüzdeleri hesaplanmıştır. Martenzit yüzdelere bağlı olarak çekme deneyi sonuçlarının değişimi Çizelge 4.3’de gösterilmiştir. Bu şekilde, martenzit yüzdesindeki artışa bağlı olarak akma gerilmesi ve çekme dayanımının arttığı, % uzamanın azaldığı görülmektedir.

Çizelge 4.2. Çekme deneyi sonuçları

Malzeme Çapı (mm)	Akma Gerilmesi (N/mm <sup>2</sup> )	Çekme Gerilmesi (N/mm <sup>2</sup> )	Uzama ( % ) Lo=10 Do
Ø 12	494	623	18
Ø 16	499	612	18.5
Ø 20	516	630	18
Ø 22	518	633	17.5
Ø 25	525	645	17
Ø 32	476	672	15.6

Çizelge 4.3. Martenzit yüzdesine bağlı olarak mukavemetin değişimi



## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tempcore prosesi ile üretilen çeliklerin mukavemet değerleri, bu çeliklerin yer aldığı standartlarda belirtilen değerlere uygundur. Tempcore prosesi ile ilgili yapılan bu çalışmadan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1- Bu yöntemle üretilen çeliklerin kabuk ve merkezleri farklı yapılardan oluşmaktadır. Çeliklerin kabuk kısmında martenzitik, merkezde ferrit+perlit, kabuk ile merkez arasındaki geçiş bölgesinde beynitik bir yapı oluşmaktadır.

2- Tempcore prosesi ile üretilen çeliklerin mukavemetleri geleneksel yollarla üretilen çeliklerin mukavemetlerinden daha yüksektir.

3- Düşük karbon eşdeğerleri ile yüksek mukavemetler elde edilebildiğinden kaynak edilebilirlikleri de yüksektir.

4- Bu yöntemle üretilen çeliklerin mekanik özelliklerini, çubuk çapı ve karbon eşdeğeri değil, esas olarak soğutma zamanı belirlemektedir.

5- Tempcore prosesi sonucu kabukta oluşan martenzitin yüzdesi, çubuk çapma ve karbon eşdeğerine değil soğutma zamanına bağlıdır.

6- Tempcore prosesi ile oluşan martenzitin yüzdesindeki artış, çeliğin akma gerilmesini ve çekme dayanımını artırırken, % uzama miktarını azaltmaktadır.

7- Sertlik kabukta martenzit sertliği değerlerinde, merkezde ferrit+perlit sertliği değerlerindedir. Kabukla merkez arasındaki bölgede sertlik değişimi hızlıdır.

8- Soğutma zamanının uzun olması, martenzit yüzdesini arttırmakta ve temperlemenin daha düşük sıcaklıklarda gerçekleşmesine neden olarak martenzit kabuğun tokluğunda yeterli bir artış elde edilememesine yol açmaktadır.

9- Tempcore prosesi ile üretilen çeliklerde istenilen mekanik özelliklere ulaşabilmek için temperleme sıcaklığı 540-750 °C, finiş sıcaklığı 950-1050 °C aralığında olmalıdır.

10- Tempcore prosesi ile üretilen çeliklerin çaplarındaki artışlar, martenzit yüzdesinde düzenli bir artış sağlamamaktadır. Martenzit yüzdeleri soğutma zamanının bir fonksiyonu olduğundan çubuk çapına bağlı olarak soğutma zamanının azaltılıp artırılması ile değiştirilebilir.

11- Düşük C ve Mn içeriğine sahip tempcore prosesi ile üretilen çeliklerin karbon eşdeğeri iyi kaynaklanabilirlik için üst sınır olan 0.45 değerini aşmamaktadır. Bu bakımdan kaynak işleminde ön tavlama gerekmemektedir. Böylece bu yöntem ile üretilen çeliklerin kaynağı maliyetleri düşürmekte, malzeme sarfını önlemekte, işçiliği azaltmakta, işlem süresini kısaltmakta ve yüksek emniyet sağlamaktadır.

12- Tempcore prosesi ile üretilen çeliklerin martenzit yüzdesindeki artış ve azalışlar karbon eşdeğerine bağlı değildir. Karbon eşdeğeri kimyasal bileşimin fonksiyonu, hâlbuki martenzit yüzdesi soğutma zamanına bağlıdır.

13- Çelik içindeki karbon ve mangan oranının arttırılmasıyla mukavemeti yüksek inşaat çelikleri elde etmek mümkündür. Karbon ve mangan, bu olumlu etkisine karşılık süneklik ve kaynaklanabilirlik özelliklerini, ters yönde etkilemektedir. Bu olumsuzluk tempcore prosesinin geliştirilmesiyle önlenmiştir. Düşük karbon ve manganlı yüksek mukavemetli kaynak edilebilir inşaat çelikleri bu yöntemle üretilmektedir. Mukavemetteki değişimlerin karbon eşdeğerine bağımlılığı minimuma indirilmiştir.

#### Öneriler:

Tempcore prosesi ile üretilen çubukların mekanik özelliklerinin incelenmesi için yapılan testlerin yanında Charpy Testi uygulayarak çubukların darbe dirençlerini öğrenmek mümkündür. Bu test farklı sıcaklıklardaki çubuklara uygulanarak, çubukların sünek-gevrek geçiş sıcaklıkları da tespit edilebilir.

**KAYNAKLAR**

- Anık, S., 1998. **Karbon Eşdeğeri ve Kaynak Kabiliyetindeki Yeri**, Kaynak Dünyası, Haziran, Sayı 2, Sayfa 22-24
- Anonymous, 1990. **The Tempcore Process Technology and Operating Instructions**, Centre de Recherches Metallurgies, Liege
- Anonim, 1998. **Tempcore Prosesi**, İzmir Demir Çelik Eğitim Notları, İzmir
- Brooks, C., R., 1996. **Principles of Heat Treatment of Plain Carbon and Low Alloy Steels**, ASM International, Ohio, USA
- Dieter, G., E., 1988. **Mechanical Metallurgy**, McGraw-Hill, London, UK
- Dikeç, F., 1991. **Çelik kalitelerindeki Gelişmelerin Üretim Teknolojilerine Etkisi**, 6. Denizli Malzeme Sempozyumu, Pamukkale Üniversitesi, Denizli
- Emir, N., Korkmaz, S., 1998. **Yüksek Mukavemetli Çelik Çubukların Üretiminde Tempcore Prosesi**, T.D.Ç.İ., İsdemir Eğitim Yayınları, İskenderun
- Karahan, M., 1993. **Kontrollü Sağıtma, Araştırma Yazısı**, Sivas Demir Çelik Fabrikası, Sivas
- Kayalı, E., S., Ensari, C., 2000. **Metallere Plastik Şekil Verme İlke ve Uygulamaları**, İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi, Ofset Atölyesi, İstanbul
- Kodal, Ç., 2003, **Sıcak Haddede Tempcore Sisteminin Üretilen Çubukların Mekanik Özelliklerine Etkisi**, MKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Antakya
- Leslie, W., C., 1981. **The Physical Metallurgy of Steels**, McGraw-Hill, New York
- Özsoyeller, L., 1993. **Düşük Alaşımli Nervürlü İnşaat Çeliklerinde Tempcore Yönteminin Mekanik Özelliklere Etkisi**, 9 Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir
- Tankut, M., K., 1995. **Tempcore Prosesi ile Üretilen Düşük Alaşımli Nervürlü Beton Çeliklerinin Karakteristiği**, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul
- Ürün, E., 1993. **Özel Kaliteli Çeliklerin Üretim Yöntemleri**, İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi, Bitirme Ödevi, İstanbul

**TEŐEKKÖR**

Tez çalışmamın her aőamasında değerli bilgi ve tecrübelerini sabırla bana aktarıp, yol gősteren sayın hocam Prof. Dr. Gőrel AM'a teőekkőrő bir borç bilirim.

Yaőamımın her aőamasında desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme sonsuz teőekkőrlere ederim.

## ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Dörtyol'da doğdum. İlkokulu İskenderun Özel İbni Sina Lisesi İlk Kısım'da, ortaokul ve liseyi İskenderun İbni Sina Anadolu Lisesi'nde tamamladım. 1998 yılında Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünü kazandım. 2002 yılında lisans eğitiminden mezun oldum. 2003 yılında askerlik görevimi tamamladım. 2004 yılı Ocak ayında Bameks Dış Tic. Ve Gıda San. A.Ş.'de Dış Ticaret Sorumlusu olarak iş hayatına atıldım. Aynı yılın Temmuz ayında Yazıcı Demir Çelik San. Ve Turizm Tic. A.Ş. firmasına geçtim ve 2008 yılı Mayıs ayına kadar bu firmada Haddehane İşletme Mühendisi olarak görev yaptım. 2006 yılında Mustafa Kemal Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimine başladım. 2008 yılı Mayıs ayından bu yana İsdemir A.Ş.'de çalışma hayatımı sürdürmekteyim.