



TEMPCORE SOĞUTMA YÖNTEMİ İLE BETON ÇELİĞİNİN GÜÇLENDİRİLMESİ

Özgür Galip DİKBAŞ

**2021
YÜKSEK LİSANS
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**TEZ DANIŞMANI
Prof. Dr. Bilge DEMİR**

**TEMPCORE SOĞUTMA YÖNTEMİ İLE BETON ÇELİĞİNİN
GÜÇLENDİRİLMESİ**

Özgür Galip DİKBAŞ

**Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır.**

KARABÜK

Nisan 2021

Özgür Galip DİKBAŞ tarafından hazırlanan “TEMPCORE SOĞUTMA YÖNTEMİ İLE BETON ÇELİĞİNİN GÜÇLENDİRİLMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Bilge DEMİR

.....

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 21/04/2021

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Hakan GÜRÜN (GÜ)

.....

Üye : Prof. Dr. Bilge DEMİR (KBÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Okan ÜNAL (KBÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Özgür Galip DİKBAŞ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TEPCORE SOĞUTMA YÖNTEMİ İLE BETON ÇELİĞİNİN GÜÇLENDİRİLMESİ

Özgür Galip DİKBAŞ

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Bilge DEMİR

Nisan 2021, 107 sayfa

Özellikle 17 ağustos olarak bilinen deprem olayından sonra Türkiye’de beton çeliklerinin nervürlü olarak kimyasal içerikleri ayarlanmış ve mekanik özellikleri tanımlanmış çelikler kullanılmaya başlanmıştır. Zaman içerisinde hem kullanılan malzeme kalitelerinde, hemde üretim proseslerinde avrupa ile paralel gelişmeler sağlanmıştır. Geldiğimiz noktada düşük karbonlu ve soğuma aşamasında tempcore işlemi uygulanan çelikler kullanılmaktadır. Dolayısıyla karakteristik malzeme içeriği ve özellikle tempcore işleminin bu çelik çubukların özellikleri üzerindeki etkisinin doğru anlaşılması ve yönetilmesi önemlidir. Bu çalışmada, Türkiye’de 2019 yılından itibaren kanunen tek bir kalite olarak kullanımına izin verilen B420C düşük karbonlu beton çeliğinin mikroyapı ve mekanik özellikleri üzerine tempcore üretim sistem ve parametrelerinin, etkisi incelenmiştir. Karşılaştırma amacıyla ayrıca ikinci bir grup olarak S420 kalite çelik malzeme de kullanılmıştır. Bu kapsamda aynı kalite fakat göreceli farklı kompozisyona sahip B420C çelik kütük yarı mamulleri kullanılarak;

benzer tavlama ve haddeleme rejimleri sabit tutularak fakat tempcore işleminde su sıcaklığı, su debisi ve tempcore prosesine giriş hız ve malzeme sıcaklığı değiştirilerek gerçek hadde şartlarında deneyler yapılmıştır. Üretilen numuneler; optik görüntü analizi ve mekanik testler ile karakterize edilmiştir.

Sonuçlar; kimyasal alaşım miktarının artması veya azalması ile mekanik özelliklerin doğrusal olarak değiştiğini, su debisi ve sıcaklığının değişimine bağlı olarak mekanik özelliklerin doğrusal değiştiğini göstermiştir. Ayrıca, B420C düşük karbonlu malzemesine tempcore işlemi ile kazandırılan, beklenen özellikler yüksek karbonlu S420 çelik malzemesinin mekanik değerlerinden daha üstün değerler göstermiştir. S420 malzemesine tempcore uygulaması beton çeliğinden beklenen özellikleri bozmaktadır. Sonuç olarak tempcore işlemi ve beton çeliği için alaşım deneysel olarak özellikler parametreler optimizasyonu kısmen sağlanmıştır.

Anahatar Kelime: Tempcore işlemi, İnşaat-beton Çeliği, Soğutma rejimi, hadde çıkış sıcaklığı, B420C

Bilim Kodu : 91416

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INCREASING THE STRENGTH OF CONCRETE STEEL WITH TEMPCORE COOLING METHOD

Özgür Galip DİKBAŞ

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Mechanical Engineering**

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Bilge DEMİR

April 2021, 107 pages

Especially after the earthquake phenomena known as 17 August chemical content as set ribbed concrete steel and has been used in Turkey steels defined mechanical properties. Over time, developments in parallel with Europe have been achieved in both the quality of the materials used and the production processes. At this point, steels with low carbon and tempcore process are used in the cooling phase. Therefore, it is important to understand and manage the characteristic material content and especially the effect of the tempcore process on the properties of these steel bars. In this study, in Turkey since 2019 legally permitted to be used as a single B420C quality low-carbon steel microstructure and mechanical properties of concrete on tempcor production system and the parameters of the effect was examined. S420 grade steel material was also used as a second group for comparison. In this context, using B420C steel steel

billet semi-products with the same quality but relatively different composition; Experiments were carried out under real rolling conditions by keeping similar annealing and rolling regimes constant, but changing the water temperature, water flow rate and the speed and material temperature in the tempcore process. Samples produced; It has been characterized by optical image analysis and mechanical tests.

Results; showed that the mechanical properties changed linearly with the increase or decrease in the amount of chemical alloy, and the mechanical properties changed linearly depending on the change of water flow and temperature. In addition, the expected properties gained to B420C low carbon material by tempcore process showed superior values than the mechanical values of high carbon S420 steel material. The application of tempcore to S420 material disrupts the properties expected from concrete steel. As a result, the tempcore process and the alloy experimentally properties parameters optimization for concrete steel were partially achieved.

Key Word : Tempcore, Construction Steel, Colling Method, Temperleme.

Science Code : 91416

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Prof. Dr. Bilge DEMİR'e sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Deneylede kullanılan numunelerinin hazırlanması ve deneylerin yapılmasında desteklerini esirgemeyen Erhallaar Demir elik Sanayi ve Ticaret A.Ő.'ye teőekkürlerimi sunarım.

Her zaman destekçim olan ve dualarını esirgemeyen sevgili aileme saygılarımı ve teőekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
BÖLÜM 3	8
BETONARME ÇELİK NEDİR?	8
3.1. BETONARME NERVÜRLÜ ÇELİK ÇUBUKLARIN ÜRETİMİ.....	9
3.2.ÇELİK ÜRETİMİ.....	10
3.2.1. Karbon Dışındaki Diğer Safsızlıkların Çeliğin Özellikleri Üzerine Etkisi	10
3.3. BETONARME ÇELİĞİNDE NERVÜR ŞEKLİNİN ÖNEMİ.....	12
BÖLÜM 4	14
HADDELEME.....	14
4.1. HADDELEMEDE YAYILMA	19
4.2. HADDE MERDANELERİNİN TANIMI.....	19
4.2.1. Hadde Merdanelerinin Kimyasal Yapısı	19

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 5	22
TAV FIRINLARI.....	22
5.3. PLASTİK ŞEKİL VERME İŞLEMLERİNDE KULLANILAN TAV FIRINLARI	25
BÖLÜM 6	27
TEPCORE İŞLEMİNİN ÇALIŞMA PRENSİBİ	27
6.1. GÜNÜMÜZDE BETONARME ÇELİĞİ ÜRETİMİ VE TEMPCORE PROSESİ.....	27
6.2. TEMPCORE İŞLEMİNİN PRENSİBİ	31
6.3. TEMPCORE YÖNTEMİNİN TEMEL MEKANİZMALARI.....	36
6.4. TEMPCORE ÜNİTESİNİN TANIMI.....	38
6.4.1. SOĞUTMA DÜZENEKLERİ.....	38
6.4.2. SOĞUTMA DÜZELERİ.....	40
6.5. SU TOPLAMA VE GERİ DÖNÜŞ SİSTEMİ.....	42
6.6. KONTROL SİSTEMLERİ.....	42
6.7. SOĞUTMA SUYU DONANIMLARI.....	42
6.8. SOĞUTMA KULELERİ.....	43
6.8.1.Dolgu	43
6.8.2.Havuz.....	44
6.8.3.Su Dağıtım Sistemi	44
6.8.4.Damla Tutucular	44
6.8.5.Direkt Motor Ve Fan	44
6.8.6.CTP Duvar ve Dikme	45
6.8.7.Su Dağıtım Destekleri.....	45
6.8.8.Dolgu Destekleri.....	45
6.8.9.Panjurlar.....	45
6.9. SU SOĞUTMA KULESİ MALZEME BİLGİLERİ.....	45

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 7	49
TEMPCORE İŞLEMİNİN TEMEL METALURJİK PRENSİPLERİ.....	49
7.1. TEMPERİT PROSESİNİN İÇERDİĞİ TEMEL METALURJİK KAVRAMLAR	49
7.1.1. Sertlik.....	49
7.1.2. Sürekli Soğuma Süresince Dönüşüm Eğrilerinin Yorumlanması (CCT Eğrileri).....	50
7.1.3. Sertleşebilirlik.....	51
7.1.4. Kaynaklanabilirlik	52
7.2. TEMPCORE PROSESİNDE SÜREKLİ SOĞUMA SÜRESİNCE DÖNÜŞÜM (CCT) DİYAGRAMLARININ YORUMLANMASI.....	53
7.3. MARTENSİTİK DÖNÜŞÜM VE TEMPCORE ÇUBUĞUN MARTENSİTİN HACİMSEL YÜZDESİ	54
7.4. TEMPERLEME	56
BÖLÜM 8	58
TEMPCORE İŞLEMİNE TABİ TUTULMUŞ NERVÜRLÜ İNŞAAT ÇELİKLERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ	58
8.1. PROSES PARAMETRELERİNİN ETKİSİ	60
8.2. MİKROYAPILAR	63
8.2.1. Makrografi	63
8.2.2. Mikrosertlik	63
8.2.3. Mikroyapı	63
8.3. PROSESİN HAZIRLANMASI VE KONTROLÜ	64
8.4. KİMYASAL KOMPOZİSYON SEÇİMİ	64
8.5. SU VERME HATTININ AYARLANMASI	66
8.6. PROSESİN OTOMASYON İLE KONTROLÜ	67
8.7. PROSESİN METALURJİK KONTROLÜ	69

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 9	71
TEPCORE ÜRETİMİNDE KALİTE KONTROL	71
9.1. ÇELİK ÇUBUKLARIN ÇEKME MUKAVEMETİ DENEYİ.....	71
9.2. TEMPCORE İLE ÜRETİM SİRASINDA YAŞANILABİLECEK KALİTE PROBLEMLERİ VE NEDENLERİ	73
9.2.1. Yüksek Mukavemet:	73
9.2.2. Mukavemet:	74
9.2.3. Düşük “Çekme Mukavemeti/ Akma Mukavemeti” Oranı.....	74
9.2.4. Mukavemet Dengesizliği	74
9.2.5. Ondüle:	74
BÖLÜM 10	75
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	75
10.1. NUMUNE HAZIRLAMA	75
10.2. HADDELEME VE TEMPCORE PROSESİ	76
10.3. MİKROYAPI İNCELEMESİ.....	76
10.4. SERTLİK TESTİ.....	79
10.5. ÇEKME DENEYİ	80
10.6. YORULMA DENEYİ.....	81
BÖLÜM 11	83
DENEY SONUÇLARI	83
11.1. MİKROYAPI MUAYENE	83
11.2. SERTLİK DENEYİ.....	88
11.3. ÇEKME TESTİ.....	92
11.4. YORULMA DENEYİ.....	99
BÖLÜM 12	101
DEĞERLENDİRME VE İRDELEME	101
KAYNAKLAR	104
ÖZGEÇMİŞ	107

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1. Elektrik ark ocaklı tesislerde üretim prosesi.....	9
Şekil 4.1. Haddeleme işleminin şematik gösterimi.....	14
Şekil 4.2. Sıcak haddeleme işleminde içyapının değişimi	15
Şekil 4.3. Haddelemede farklı merdane dizilişi	18
Şekil 4.4. Demir-Karbon denge diyagramı	20
Şekil 5.1. Tav fırını	24
Şekil 5.2. Tav fırını teknik resim	25
Şekil 6.1. TBDY'ye göre nervürlü inşaat çeliği üretim standartı mekanik Özellikleri	28
Şekil 6.2. İnşaat çeliği üretim aşamaları	28
Şekil 6.3. Finish tezgâhından çıkan betonarme çeliğinin tempcore sistemine giriş sıcaklığı.....	32
Şekil 6.4. Betonarme çeliğin son hadde tezgâhı ile soğutma platform arasındaki sıcaklık değişimi ve içyapısı	33
Şekil 6.5. Tempcore sistemi ile üretilen betonarme çeliğin sıcaklık ile mikroyapısının değişimi	34
Şekil 6.6. Tempcore ile işlenmiş donatılarda sıcaklık profili ve mikroyapısal değişim şeması	36
Şekil 6.7. Tempcore sisteminin ana parçaları	38
Şekil 6.8. Tempcore soğutma sistemi nozul yerleşimi.....	39
Şekil 6.9. Soğutma düzesi	40
Şekil 6.10. Tempcore sistemi soğutma kulesi.....	43
Şekil 6.11. Soğutma kule gövdesi	46
Şekil 6.12. Soğutma kulesi iç destek parçaları.....	46
Şekil 6.13. Soğutma kulesi dolgu sistemi	47
Şekil 6.14. Soğutma kulesi damla tutucu	47
Şekil 6.15. Soğutma kulesi dağıtım sistemi	48

Sayfa

Şekil 7.1.	Bir kontrollü sulu soğutma hattında su debisinin soğutma gücü üzerine etkileri	54
Şekil 8.1.	Betonarme çeliğin finish tezgâhından sonra paketleme sürecine kadar işlemler.....	67
Şekil 10.1.	Deneylerin yapıldığı fabrikanın yerleşim planı	76
Şekil 10.2.	Discotom-100 kesme cihazı.....	77
Şekil 10.3.	Citopress-10 sıcak kalıplama cihazı	77
Şekil 10.4.	Tegramin 30 otomatik zımparalama ve parlatma cihazı.....	78
Şekil 10.5.	Nikon eclipse MA200 ters metalurjik mikroskobu.....	78
Şekil 10.6.	Qness Q+ marka HVM sertlik ölçüm cihazı	79
Şekil 10.7.	BZ-001/60 DÇM demir çekme cihazı	80
Şekil 10.8.	MTS Marka 100 kN servo hidrolik dinamik	81
Şekil 11.1.	Tempcore ile üretilen betonarme çeliğin içyapısı.....	83
Şekil 11.2.	Tempcore işlemi ile üretilmiş B420C kalite betonarme çeliğin dış yüzey (200X) mikro yapısı.....	84
Şekil 11.3.	Tempcore ile üretilmiş betonarme çeliğin yüzey bölgesi mikroyapısı (50X).....	84
Şekil 11.4.	Tempcore ile üretilmiş betonarme çeliğin merkez bölgesi mikroyapısı (500X).....	85
Şekil 11.5.	Elektrik ark ocağında üretilen hammaddeden tempcore ile üretilmiş betonarme çeliğin mikroyapısı(50X).....	86
Şekil 11.6.	S420 kalitesindeki hammaddeden tempcore işlemi uygulanmadan üretilen betonarme çeliğin merkez bölgesinin mikroyapısı(500X)	87
Şekil 11.7.	S420 kalitesindeki hammaddeden tempcore işlemi uygulanmadan üretilen betonarme çeliğin yüzey bölgesinin mikroyapısı(200X).....	87
Şekil 11.8.	B420C nervürlü betonarme çeliğinden sertlik testinin alındığı noktalar	89
Şekil 11.9.	S420 nervürlü betonarme çeliğinden sertlik testinin alındığı noktalar	90

Şekil 11.10. B420C hammaddesinden çelikhane ve elektrik ark ocağında üretilen betonarme çubuk ve S420 hammaddesinden üretilen betonarme çubuk sertlik grafiği.....	91
Şekil 11.11. S420 standartındaki Ø10 mm çapında nervürlü betonarme çeliğin çekme testi grafiği.....	92
Şekil 11.12. Düşük karbon miktarlı hammadden üretilmiş betonarme çeliğin tempcore yöntemi uygulanmadan alınan çekme testi grafiği	93
Şekil 11.13. B420C standartındaki Ø10 mm çapında nervürlü betonarme çeliğin çekme testi grafiği.....	94
Şekil 11.14. Aynı şartlarda farklı çaptaki numunelerin debi ile orantılı akma mukavemeti grafiği	96
Şekil 11.15. Su debisine göre akma çekme mukavemeti.....	97
Şekil 11.16. Aynı şartlarda üretilen ve aynı anda üretimi gerçekleştirilen betonarme çubukların çekme testi sonuçları.....	97

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1. Alaşım elementlerinin merdane üzerine etkisi	21
Çizelge 6.1. Ülkelerin betonarme çeliği üretim standartları.....	27
Çizelge 6.2. Betonarme çeliklerin üretim metodları karşılaştırması	29
Çizelge 8.1. Tempcore üretiminde kullanılan soğutma suyu ve ortam sıcaklığının su debisine etkisi	62
Çizelge 8.2. Tempcore prosesinden çıkan numunenin sıcaklık değişiminin akma mukavemetine etkisi	62
Çizelge 10.1. Tempcore prosesinde kullanılan hammaddelerin üretim metodu ve kimyasal yapısı	75
Çizelge 10.2. S420 standartında üretilen betonarme çeliğin hammaddesinin kimyasal yapısı	75
Çizelge 11.1. Tempcore işlemine tabi tutulmuş çelikhanede ve elektrik ark ocağında üretilmiş hammaddelerin sertlik deney sonuçları.....	91
Çizelge 11.2. S420 standartındaki Ø10 mm çapında nervürlü betonarme çeliğin çekme testi sonucu.....	92
Çizelge 11.3. B420C standartındaki Ø10 mm çapında nervürlü betonarme çeliğin çekme testi sonucu.....	94
Çizelge 11.4. Tempcore prosesinde üretilen iki farklı hammaddenin aynı şartlardaki debi miktarları ve çekme testi sonucu akma dayanımı değeri.....	95
Çizelge 11.5. Farklı kimyasal kombinasyona sahip hammaddelerin aynı çapta çekme testi sonuçları	95
Çizelge 11.6. Farklı kimyasal kombinasyona sahip hammaddelerin aynı çapta çekme testi sonuçları.....	96
Çizelge 11.7. Tempcore sistemi ile üretilen Ø8 mm çapındaki betonarme çeliğin TSE laboratuvarında yapılan yorulma testi sonucu.....	99

Sayfa

Çizelge 11.8. Tempcore sistemi ile üretilen Ø10 mm çapındaki betonarme çeliğın TSE laboratuvarında yapılan yorulma testi sonucu.....99

Çizelge 11.9. Sıcak haddeleme ile üretilen %0,45 karbon miktarında sahip betonarme çeliğın TSE laboratuvarında yapılan yorulma testi sonucu 100

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

C	: Karbon
CO	: Karbon Monoksit
Fe	: Demir
FeS	: Demir Sülfür
Ni	: Nikel
Mo	: Molibden
Cr	: Krom
W	: Tungsten
V	: Vanadyum
Nb	: Niyobyum
Cv	: Karbon Eşdeğeri
Ms	: Martenzit Dönüşüm Başlangıç Sıcaklığı
Mf	: Martensit Dönüşümü Bitiş Sıcaklığı
BOF	: Bazık Oksijen Fırını
HMK	: Hacim Merkezli Kübik
YMK	: Yüzey Merkezli Kübik
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
DIN	: Alman Standartlar Entitüsü
BS	: İş Sürekliliği Yönetim Standartı

BÖLÜM 1

GİRİŞ

40 yıl önceki ilk endüstriyel uygulamasından bu yana, Tempcore süreci, çoğu sınıf için maliyetli V veya Nb ilavesi gerektirmeden düşük C / Mn çelikten yüksek mukavemetli ve kaynaklanabilir betonarme çubuklar (inşaat çeliği) üretmek için çok popüler bir çözüm haline geldi. Tempcore kuruluşu, doğrudan son işlem standından sonra sıcak haddeleme tesisine sıralı olarak bağlanır. İşlemin üç aşaması, söndürme (çubuk kabuğu altında kontrollü bir martensit tabakası elde etmek için sabit bir süre boyunca yüzey tabakasının yoğun soğutulması), bu martensit tabakasının temperlenmesidir (inşaat çeliği çekirdeğinden salınan ısı yoluyla) ve çekirdeğin ostenitten ince ferrit ve perlit (+ beynit) dönüşümü. Süreci doğru bir şekilde uygulamak için, Tempcore soğutma kurulumunun kişiye özel tasarımı, müşteri taleplerini karşılamak için birinci derecede önemlidir. Bu tasarım, CRM tarafından, haddeleme verilerini (çap, hız, bitirme sıcaklığı, yarma haddeleme) dikkate alınarak çok büyük bir uzmanlıkla tamamlanan (dünya çapında 70'den fazla hadde ekipmanı ile donatılmış), hassas hesaplama ve simülasyon araçları temelinde gerçekleştirilir. Üretilecek kaliteler, hadde yerleşimi, belirli hadde kısıtlamaları ve sürecin kontrol edilebilirliği vb. şartları ile günümüzde Tempcore işlemi, talep edilen kaliteleri çok çeşitli çaplarda ekonomik olarak üretmek için yeni veya mevcut fabrikalarda uygulanmaktadır. Seksenli yılların başından beri, su verme ve kendinden tavlama süreci (Q&T), düşük maliyetle kaynaklanabilir yüksek mukavemetli takviye çubukları üretmek gelişmiş ülkelerde için mutlak bir zorunluluk haline gelmiştir [1].

Betonarme çelik çubuklarda aranan en önemli mekanik özellik yüksek akma dayanımıdır. Ancak yüksek akma dayanımı elde etmek için kullanılan C miktarı önemlidir. Çünkü C miktarının yüksek olması çelikte kaynaklanabilirliği olumsuz yönde etkilemektedir. Bu yüzden betonarme çelik çubuklarda düşük C miktarı ile

üretim yapılması istenilen diğer bir önemli unsurdur. Ancak düşük C miktarı akma dayanımında düşük olmasına sebep olmaktadır. Geleneksel üretim yöntemleri ile de düşük C miktarlı hammaddeleri işleyerek yüksek akma dayanımı elde etmek oldukça zor ve maliyeti yüksek olmaktadır. Geleneksel üretim ile üretilen düşük karbonlu betonarme çelik çubuklar haddelene işleminden sonra ek bir işlem gerekmektedir. Bu da hem zamandan hem de maliyetten kayıp demektir. Betonarme çelik çubukları üretirken üretim aşaması içerisinde yapılabilecek bir sistem gerekmektedir. Bu sistem ise tempcore sistemidir.

Tempcore sisteminde sıcak haddelenen nervürlü çelik çubuklar son hadde tezgâhından nervür şeklini aldıktan sonra tempcore ismi verilen su ile soğutma yapılan bir makine içerisine girdikten sonra çok kısa süreli ani soğutma yapılarak nervürlü çelik çubuğun dış yüzeyi soğutulup martenzit tabakası oluşturulur. Nervürlü çelik çubuk tempcore sisteminden çıktıktan sonra dış yüzeyi martenzit, çekirdek kısmı ise ferrit-perlit veya ferrit-perlit ve beynit yapıda olmaktadır. Dış yüzeyde oluşan martenzit çok sert yapıda olduğu için temperleme işlemi gerekmektedir. Bunu sağlamak için üretim sonrasında nervürlü çelik çubuklara tekrar bir ısıl işlem uygulamak gerekir. Ama bunu yapmak çok zor ve çok maliyetlidir. Ancak tempcore sisteminden çıkan betonarme nervürlü çelik çubukların çekirdek kısmı yani merkezi hala sıcaktır. Bu sıcaklık soğutma platformunda yan yana gelen diğer nervürlü çelik çubukların ısısı ile de birleşince martenzitin temperleme sıcaklığına ulaşacağı için ek bir işleme gerek kalmadan martenzit temperlenmiş olur. Bu şekilde betonarme nervürlü çelik çubuğun dış yüzeyi temperlenmiş martenzit, çekirdeği ise ferrit-perlit veya ferrit-perlit ve beynit yapıda olur. Bu yapıda olan betonarme çelik çubuklarda gerekli dayanımın yanı sıra süneklik, tokluk, bükülebilirlik ve kaynak kabiliyeti beklentilerini karşılar. Betonarme nervürlü çelik çubuklar çok karmaşık ve tekrarlı yüklere maruz kaldıklarından dolayı kısa ömürlü yorulmalarda kırılabilirler. Bu yüzden daha uzun ömürlü yorulma dayanımına sahip olmaları gerekmektedir. Önemli olmasına rağmen, Türkiye ve dünyada direct olarak B420C beton öçeliği üzerine detaylı incelemeler açık literatürde bulunmamaktadır. Ayrıca bu çeliğin eski versiyonu S420 ile ilgili bir çalışma ve B420 ile karşılaştırmalı olarak yapılmış bir çalışma bulunmamaktadır. Literatürde ki boşluğu karşılamak üzere ve akademik bilgi yanında, sektörel bir bilgi oluşturmak için; bu çalışmada betonarme çelik çubukların üretiminde kullanılan tempcore sisteminin

Çalışma prensibi, parametrelerinin etkisi ve üretilen ürünlerin mekanik, mikroyapı ve kimyasal özellikleri incelenmiştir. Esasen, karakteristik malzeme içeriği ve özellikle tempcore işleminin bu elik çubukların özellikleri üzerindeki etkisinin doğru anlaşılması ve yönetilmesi önemlidir. Bu alışmada, Türkiye’de 2019 yılından itibaren kanunen tek bir kalite olarak kullanımına izin verilen B420C düşük karbonlu beton çeliğinin mikroyapı ve mekanik özellikleri üzerine tempcore üretim sistem ve parametrelerinin, etkisi değerlendirilmiştir. . Karşılaştırmak amacıyla ayrıca ikinci bir grup olarak S420 kalite elik malzeme de kullanılmıştır. Bu kapsamda aynı kalite fakat göreceli faklı kompozisyona sahip B420C elik elik kütük yarı mamulleri kullanılarak; benzer tavlama ve haddeleme rejimleri sabit tutularak fakat tempcore işleminde su sıcaklığı, su debisi ve tempcore prosesine giriş hız ve malzeme sıcaklığı değiştirilerek gerçek hadde şartlarında deneyler yapılmıştır. Üretilen numuneler; optik görüntü analizi ve mekanik testler ile karakterize edilmiştir.

Son yıllarda teknolojideki gelişmelere paralel olarak inşaat sektörünün kullandığı beton elik çubukların yüksek akma dayanımına sahip olmalarının yanı sıra süneklilik, kaynak edilebilme özelliği de istenmektedir. Fakat geleneksel yöntemlerle üretilen nervürlü beton elik çubuklarının, yüksek dayanıma sahip olmalarına rağmen, süneklilik ve kaynak edilebilirlikleri son derecede sınırlıdır. Bunun sebebi; elik çubukta yüksek akma dayanımı elde etmek için kullanılan yüksek karbon ve mangan içeriğinin süneklilik ve kaynak edilebilirlik özelliğini ters yönde etkilemesidir. Beton elik çubuklarındaki bu olumsuzlukları gidermek için geliştirilen yöntemlerden biri tempcore prosesidir. Tempcore prosesi temel anlamda, sıcak çekilmiş beton elik çubuklarına, mukavemeti arttırmak üzere uygulanan bir ısıl işlemdir [2].

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatürde gerçekleştirilen benzer bazı çalışmalar aşağıda belirtilmiştir.

Karabük Üniversitesi'nden Mehmet Barbar 2019 yılında sıcak haddelemede tempcore prosesinde kullanılan soğutma suyunun debisinin betonarme çeliğine etkilerini incelemiştir. Mehmet Barbar'ın tezinde tempcore sisteminden geçen inşaat çeliğinin aynı haddeleme hızında farklı debi miktarlarında malzemenin akma mukavemetine etkisi incelenmiştir. Tempcore sisteminde kullanılan hammaddenin karbon miktarı %0,23 oranında, mangan miktarı %0,50 miktarındadır. Tempcore sistemi ile üretilen betonarme çeliklerine farklı soğutma suyu debisi uygulanarak malzemedeki mekanik özellikleri incelemek için çekme testine tabi tutulmuştur. Çekme testi sonuçlarında debi miktarındaki artış ile orantılı olarak akma dayanımında artış meydana gelmiştir. Bu numunelerin mikroyapılarını inceleyerek martensit kalınlığını kontrol etmiştir. Ayrıca su verme işlemi yaptığından dolayı malzemeye korozyon testi uygulaması da yapmıştır. Soğutma suyu debisinin yüksek olduğu ve martensit tabakasının kalın olduğu numunede korozyon oranının daha düşük olduğunu tespit etmiştir.

2015 yılında Karabük Üniversitesi'nden Okan Çelik tempcore sistemi ile üretilen betonarme çeliğin manyetik rezonans ile yorulma davranışını incelemiştir. Okan Çelik tezinde Ø12 mm çapında %0,33 oranında karbon miktarına sahip betonarme çeliğin yorulma davranışının yanında çekme testi ile akma ve çekme mukavemetlerini de incelemiştir. Okan Çelik tezinde hurdadan ergitilerek üretilen hammaddeden üretilen betonarme çeliği incelemiştir. Tezinde sıvı ham demirden üretilen betonarme çeliğin dayanımında farklılık olabileceğini ön görmüştür. Okan Çelik'in çalışmasında akma mukavemeti ile yorulma dayanımı arasındaki ilişki incelenmiş ve manyetik rezonans yorulma cihazında akma mukavemeti değerinin üstündeki yüklerde malzemenin hasara uğradığını gözlemlemiştir.

2016 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünden Ebru Ertan, Çağlar Yalçınkaya, Ahsanollah Beglarigale, Halit Yazıcı Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimamrlık Dergisi'nde yayınlandığı “Erken Yaş Büzülme Çatlaklarının Lif İçeren/İçermeyen Ultra Yüksek Performanslı Betona Gömülü Donatı Korozyonuna Etkisi” makalede tempcore sistemi ile üretilmiş nervürlü betonarme çeliğinin kullanıldığı lif içeren ve içermeyen betonda korozyona karşı tepkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada, iki farklı başlangıç ortamında bekletilmiş lif içeren ve içermeyen ultra yüksek performanslı beton (UYPB) karışımlarının erken yaş (ilk 24 saat) büzülme özellikleri incelenmiştir. Erken yaşta oldukça yüksek mertebelerde büzülme gösteren karışımların kısıtlanmış halde bekletilmesi halinde oluşan çatlakların çelik donatının korozyon gelişimine etkisi deneysel olarak belirlenmiştir. Kısıtlanmış büzülme çatlaklarının çelik donatı korozyonu üzerinde bazı olumsuz etkiler yarattığı tespit edilmiştir. Ancak düşük su/bağlayıcı oranlı UYPB örneklerinin yüzeyinde çatlak oluşmasına rağmen, donatıyı korumada oldukça iyi performans gösterdiği görülmüştür. UYPB'nin en önemli özelliği, geçirimsiz yapısı nedeniyle sağladığı üstün durabilite kalıcılık) özelliğidir. UYPB'nin kalıcılık özelliklerinin korunması için erken yaş çatlaklarının önlenmesi amacıyla gerekli önlemler alınmalıdır. Çalışma kapsamında yapılan analizler, uçucu kül ikamesinin ve mikro çelik lif takviyesinin çatlak oluşumunu azaltarak donatı korozyonuna karşı korumayı geliştirdiğini göstermiştir.

2009 yılında Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü'nden Bahri İkiz “Sıcak Haddede Tempcore Prosesi” adlı yüksek lisans tezinde tempcore sisteminin genel olarak çalışma mantığını incelemiştir. Çalışmasında kullanmış olduğu numunelerin Ø12, Ø16, Ø20, Ø24 mm çaplarında %0,20 ile %0,26 karbon miktarlarına sahip hammaddelerden üretilmiş betonarme çelikleri kullanmıştır. Bu numunelerin mekanik özelliklerini incelemek için çekme testi uygulamıştır. Numunelerin mikroyapısını incelemiştir ama görüntü kalitesi olarak detaylı bir mikroyapı görüntüsü tezinde bulunmamaktadır. Bu çalışmada daha çok tempcore sisteminin genel olarak çalışma prensibinin mantığının anlatıldığı bir çalışma olmuştur.

Literatürde tempcore ile bir diğer araştırma 2002 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi'nden Abdulkadir Uysal'ın beton çelik çubuklarının çevrimsel deformasyonu adlı tezinde Ø8 mm çapında tempcore prosesi ve sıcak haddeleme ile üretilen iki farklı betonarme çeliğin kaynaklı bağlantılarının yorulma davranışı incelenmiştir.

O. Nino, D. Martinez, C. Lizcano 'Yüksek Dirençli Güçlendirme Çubuklarının Üretimi için Tempcore Sürecinin Çalışması' adlı çalışmasında tempcore sistemi ile üretilen betonarme çelik çubukların tavlama sıcaklıkları ile tempcore sistemine giriş sıcaklıklarının etkisi incelenmiştir.

2010 yılında Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi'nden Ali Ergün, Gökhan Kürklü ve M. Serhat Başpınar "Yüksek Sıcaklık Sonrası Farklı Sınıflardaki Betonarme Çeliklerinin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi" adlı makalesinde tempcore sistemi ile üretilmiş numuneleri incelemiştir. Çalışmada çeşitli sınıf ve çapta betonarmeçelik donatıların farklılığının yangın tepkisine etkisini belirlemek için deneysel çalışmalar yapılmıştır. Deneysel çalışmada, S 220a, S 420a ve S 500a sınıflarında farklı karbon miktarlarına sahip Ø12 mm, Ø16 mm ve Ø20 mm çaplarında inşaat çelikleri kullanılarak, numuneler 200, 400, 600, 800 ve 1000°C gibi yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış ve daha sonra oda sıcaklığına kadar havada soğutulmuştur. Soğutulan bu numuneler üzerinde çekme deneyleri yapılarak, farklılıkların yangın sonrası yüksek sıcaklığın mekanik özelliklerde yaptığı değişimler incelenmeye çalışılmıştır.

José Santos ve A. Abel Henriques 2015 yılında "1st International Conference on Structural Integrity" yayınladığı "Strength and Ductility of Damaged Tempcore Rebars" adlı makalede Tempcore sistemi ile üretilmiş Ø20 mm çapındaki hasarlı nervürlü betonarme çeliğin mikroyapısını ve sertliğini incelemiştir. Çalışmada tempcore ile üretilmiş B400C ve B500C standartlarında numuneler kullanılmıştır. Mikroyapı incelemeleri sonucunda nervürlü betonarme çeliğinin merkez bölgesinin ferrit-perlit yapıda olduğunu, yüzey bölgesinin ise yoğun olarak martensit yapıda olduğunu gözlemlemişlerdir. Mikroyapısı incelenen numuneleri sertlik testine tabi tutmuşlar ve merkez bölgesinden yüzeye doğru sertlik miktarlarında artış

gözelemişlerdir. Yapmış olduğumuz çalışmamızdaki sertlik testine benzer değerleri elde etmişlerdir.

2015 yılında JF Noville, Metalurji Araştırma Merkezi (CRM), Liège, Belçika), “TEMPCORE®, The Most Convenient Process To Produce Low Cost High Strength Rebars From 8 To 75 mm” adlı makalesinde tempcore sistemi ile Ø8 ile Ø75 mm arasında nervürlü betonarme çeliğın üretiminin mümkün olduğu düşük karbon miktarlarında az maliyet ile yüksek mekanik özelliklere sahip inşaat çeliği elde edilebileceğini ve tempcore sistemin parametleri, kurulumu hakkında özet olarak bilgi vermişlerdir.

BÖLÜM 3

BETONARME ÇELİK NEDİR?

Betonarme yapılarda beton içerisinde bulunan dairesel formda yüzeyinde profil veya nervür şeklinde çıkıntılar bulunan çelik çubuklara betonarme çeliği denir. Günümüzde en çok tercih edilen yapı malzemesi olarak beton kullanılmaktadır. Ancak beton basınç kuvvetlerine karşı dayanım olarak güçlü bir yapı olmasına karşın çekme kuvvetlerine karşı dayanımı çok düşüktür. İnşa edilen yapılardaki malzemelerden hem çekme kuvvetine hemde basınç kuvvetine dayanım istenmektedir. Ancak beton tek başına istenilen özellikleri karşılamamaktadır. Bu yüzden çekme dayanımı düşük olan beton malzemesine çekme bölgesinde oluşan çekme gerilmelerini karşılayacak çekme dayanımı yüksek bir malzeme gerekmektedir. Bu malzeme betonarme çeliği olarak adlandırılan çeliklerdir.

Malzemelerin çeşitli kuvvetler etkisi altında ilk şeklinde meydana gelen değişmeye deformasyon denir. Beton, çeliğe göre daha düşük kuvvtelerde kalıcı deformasyona uğrar. Çelik betona göre 15 kat daha fazla deformasyon kuvvetlerine dayanabilir. Bu nedenle çelikte deformasyon olmadaki önemli olan akma dayanımındaki sınırdan sonra oluşan şekil değiştirmeleri beton malzemesinin dayanımı yetmeyeceğinden dolayı betonda daha düşük kuvvetlerde çatlamlar oluşur ve kuvvet etkisi ile büyümeye başlar. Kuvvetin artması ile aşırı deformasyon sonucunda göçme durumu meydana gelebilir.

Çelikte ise akma dayanımı değerinin büyüklüğü kalıcı deformasyonu önlemektedir. Çeliğe etki eden gerilme değeri akma dayanıma yaklaştıkça çeliğin yapısında değişim başlangıcı başlar ve akma sınırını geçince kalıcı defromasyon başlamış olur. Bundan dolayı çelik akma sınırı içerisinde elastik davranış gösterdiği kabul edilir. Mukavemet, malzemede belirli bir yük etkisi altında malzemede kırılma veya deformasyon olmadan yükü taşıma yeteneğidir. Uygulanan yük etkisi altında bazı malzemelerde

gevrek davranış görülürken bazılarında ise kopma öncesinde malzeme şekil değişimine uğrar ve ardından kopma gerçekleşir. Çelik malzemelerde ise kırılmadan önce hem elastik davranış hem de plastik davranış görüldüğünden dolayı sünek bir malzemedir. Ancak çelikteki karbon miktarı sünekliği etkilemektedir. Karbon miktarı arttıkça çelikteki süneklik yerini gevrek davranışa bırakmaktadır. Bu sebeble betonarme çeliklerinde özellikle deprem bölgelerindeki yapılarda karbon miktarı yüksek betonarme çelikleri kullanılmamalıdır.

3.1. BETONARME NERVÜRLÜ ÇELİK ÇUBUKLARIN ÜRETİMİ

Betonarme çelik çubukların üretiminde hammadde olarak kullanılan çelik kütüklerin çelikhanede cevherden veya elektrik ark ocaklarında hurdaların ergitilmesi ile sıvı olarak elde edilen çeliği sürekli döküm yöntemiyle çelik kütükler şeklinde üretilip haddehanelere gönderilmesi ve haddehanelerde bu kütüklerin tav fırınında tavlansınca plastik şekil vermeye uygun sıcaklığa ulaşınca tezgâhlarda bulunan merdaneler yardımı ile plastik şekil verilerek istenilen ebatlarda betonarme nervürlü çelik çubukları elde etmek olarak özetleyebiliriz.

Üretim Akış Şeması



Şekil 3.1.Elektrik ark ocaklı tesislerde üretim prosesi [3].

3.2.ÇELİK ÜRETİMİ

Çelik; demir elementi ile genellikle %0.2 ile %2.1 oranlarında değişen karbon miktarının bileşiminden meydana gelen bir alaşımdır. Çelik alaşımındaki karbon miktarları çeliğin sınıflandırılmasında etkin rol oynar. Karbon genel olarak demirin alaşımlayıcı maddesi olsa da demir elementini alaşımlamada Magnezyum, Krom, Vanadyum ve Volfram gibi farklı elementler de kullanılabilir. Karbon ve diğer elementler demir atomundaki kristal kafeslerin kayarak birbirini geçmesini engelleyerek sertleşme aracı rolü üstlenirler. Alaşımlayıcı elementlerin, çelik içerisindeki, değişen miktarları ve mevcut buldukları formlar (çözünen elementler, çökelti evresi) oluşan çelikte sertlik, süneklik ve gerilme noktası gibi özellikleri kontrol eder. Karbon miktarı yüksek olan çelikler demirden daha sert ve güçlü olmasına rağmen daha az sünektirler [4].

3.2.1. Karbon Dışındaki Diğer Safsızlıkların Çeliğin Özellikleri Üzerine Etkisi

Demir sementit denge diyagramında yalnızca demir ve demir karbon bileşiği olan demir karbür arasındaki etkileşim incelenmiştir. Oysa bunların dışında sade karbonlu çelikler az miktarda da olsa diğer bazı elementleri de içerirler. Bunlar;

1. Sülfür
2. Fosfor
3. Silis
4. Mangan

Sülfür (S):

Demirle birleşerek FeS (Demir-Sülfür) oluşturur. Sülfür oluşturan diğer bir malzeme mangandır. FeS katılma olurken tane hudutlarında çökler. Dolayısı ile alaşımın sıcak işlenebilirliğini olumsuz yönde etkiler. Çünkü sülfürün ergime noktası düşüktür. Tane hudutlarında demir sülfür çökeltisi olması sıcak çatlamalara sebep olur. (Yüksek sıcaklıkta sülfür çökeltileri ergiyerek, bulunduğu yerde ergir ve parçanın çatlamasına, kırılmasına sebep olur.) Karbon dışındaki diğer safsızlıkların çeliğin özellikleri üzerine etkisi Sıcak şekillendirmede mangan ilavesi ile mangan-sülfür oluşması sağlanabilir. Çünkü manganın kükürde karşı kimyasal aktivitesi fazladır. Manganın

sülfüre oranı 3/1-8/1 arasında tutulmalıdır. Çoğunlukla çeliklerde sülfür oranı % 0.05'ten aşağıda bulundurulur. Eğer sülfür 0.075-0.15 arasında bulundurulursa çeliğin işlenmesi (talas kaldırılması) kolaylaşır ve kesici takımın aşınması azalarak ömrü uzar (Çünkü sülfür kalıntısı talaşın kolay kırılmasını sağlar) [4].

Fosfor (P) :

Fosfor ferritin içinde küçük miktarlarda çözülür. Böylece mukavemeti ve sertliği artırır. Çeliklerde çoğunlukla % 0.05'ten az fosfor bulundurulur. Fosfor miktarı bu sınırı geçtiği zaman süneklikte ve mekanik özelliklerde azalma görülür. Bu da soğuk çatlamalara sebep olur [4].

Silis (Si) :

Silisin çelikteki miktarı % 0.2'den küçük olduğu zaman ferritin içinde tamamıyla çözülmüş halde bulunur. Bu miktar % 0.2-% 0.4 arasında olduğu zaman elastik sınır ve mukavemet artar fakat süneklik büyük ölçüde büyük ölçüde azalır. Düz karbonlu çeliklerde %0.4'den fazla silis bulunduğu zaman süneklikte büyük bir düşme görülür. Çeliğin ergitilmesinde ve saflaştırılmasında silis deoksiden (oksijen giderici) olarak kullanılır ve O_2 olarak curufa karışır. Dökme demirde silisin sementit dengesini azaltmakta önemli bir rolü vardır. %1den fazla silis ihtiva eden Fe_3C alaşımlarda sementit o kadar dengesizdir ki bozularak demir ve grafitte ayrışır [4].

Mangan (Mn):

Demir ve demir karbon alaşımlarında çok önemli alaşımlardan birisidir. Saf haldeki (Karbonsuz) demirde mangan katı çözelti meydana getirir. Yeteri kadar C, bulunduğu hallerde de mangan karbür Mn_3C oluşturur. Sementit ve mangan karbürün çelik üzerinde önemli bir sertleşme etkisi vardır. Mn miktarı % 2'yi geçtiği zaman çeliğin sünekliği büyük ölçüde zarar görür [4].

Nervürlü betonarme çelik çubuklarının üretimi çoğunlukla elektrik ark ocağında hurda ergitilmesi ve elde edilen sıvı çeliğin sürekli döküm tekniğiyle çelik kütük haline getirilip haddehanelerde merdaneler yardımıyla şekil verilmesi şeklinde özetlenebilir.

Elektrik ark ocağı ergitme ve izabe olmak üzere iki aşamada çalışır. İlk aşamada hurdalar elektrotlarla oluşturulan arkın verdiği ısıyla eritilir. İkinci aşamada ise sıvı çeliğin karbon ile oksijenin oranı ayarlanır ve fosfor tasfiye edilmeye çalışılır. İkincil metalurji yöntemleriyle istenilen bileşimi elde edilen sıvı ham çelik sürekli dökümle tek aşamada veya ingot dökümden haddeleme yoluyla blum veya kütük haline getirilir. Sürekli döküm sisteminde sıvı metal potadan bir döküm haznesine doldurulur, buradan bir kalıp içine akıtılarak istenilen kesitte katı bir kabuk oluşturulur. Daha sonra su püskürtülerek katılaştırmanın tamamlanması sağlanır. Haddeleme, beton çeliklerinin üretiminin son aşamasıdır. Çelik kütükler kendi eksenini etrafında dönen merdaneler arasından geçirilerek plastic şekil verme işlemi uygulanır. Bu işlem çelik kütüklerin tav fırınlarında $1200\pm 50^{\circ}\text{C}$ sıcaklıklarına kadar ısıtılması ile başlar. Yeniden kristalleşme sıcaklığının üzerinde yapılan bu işlem ile döküm yapısındaki büyük sütunsal yapı bozularak küçük ve eş eksenli tanelerin oluşumu sağlanır ve kütük kesiti daraltılır. İstenilen çapta beton çeliği elde edilene kadar haddeleme işlemine devam edilir. Haddeleme işleme yüzeyde nervürlerin işlenmesi ile son bulur [5].

Çeliğin önemli özellikleri;

1. Akma dayanımı
2. Çekme dayanımı
3. Gerilme-şekil değiştirme ilişkisi
4. Elastisite modülü ve teğet modülü
5. Süneklik (malzemede kopmadan önce oluşacak deformasyon kapasitesi)
6. Kaynaklanabilme özelliği
7. Yorulma mukavemeti
8. Sertlik [6].

3.3. BETONARME ÇELİĞİNDE NERVÜR ŞEKLİNİN ÖNEMİ

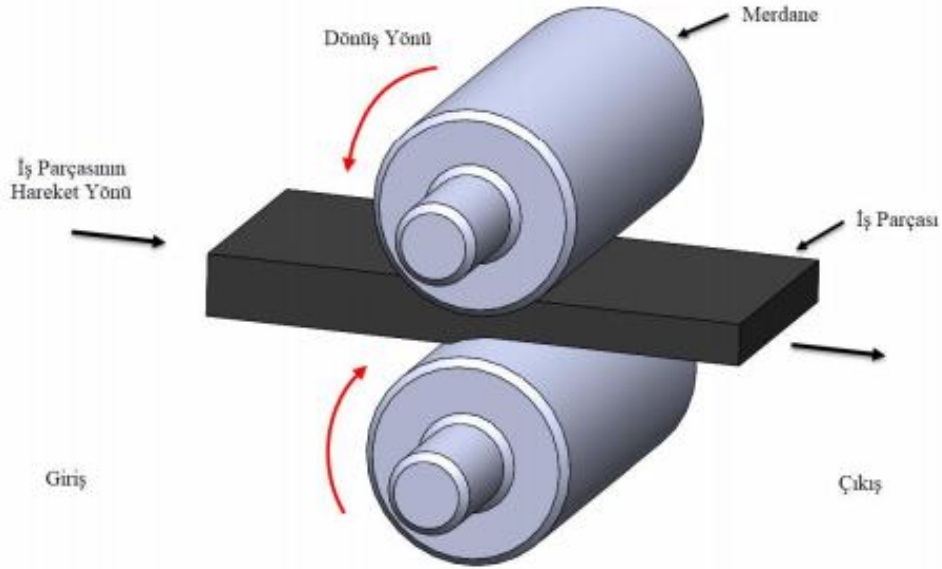
Beton çelik çubuklar binaların yapımı esnasında beton içerisinde iskelet görevi yaparak yapıya dayanım kazandırır. Çubuğun beton içerisinde yük uygulandığında kaymaması ve bu iki farklı malzemenin bir tür kompozit malzeme halinde çalışması için birbirine tam kaynaması gerekir. Bu amaçla çelik çubukların yüzeyleri nervürlerle profillendirilir. Bu noktada betonarme yapı içerisinde beton ile çelik çubuğun

kaynaşabilme özelliğini ifade eden yapışma faktörü oldukça önemlidir. Çelik çubuğa uygulanan gerilme arttıkça yapışma faktörü artar. Yakın zamana kadar ülkemizde ve dünyada sıcak haddelenmiş, yuvarlak düz yüzeyle inşaat çelikleri kullanılmaktaydı. Günümüzde ise nervürlü çelik çubukların mekanik özelliklerinin düz yuvarlak çeliklere göre daha iyi olmasıdır. Nervürlü çeliklerin akma ve çekme dayanımı düz yuvarlak çeliklere göre daha yüksektir. Ancak %uzama değeri daha düşüktür. Nervür yüksekliği, şekli ve boyu da çeliğin dayanımını etkiler. Özellikle deprem bölgesindeki ülkelerde nervürlü çeliğin kullanılmasında emniyet ve dayanıklılık açısından fayda vardır. Nervürlü çeliğin maliyeti düz yuvarlak çeliklere göre daha fazla olmasına rağmen uzun vadede düşünüldüğünde ekonomik açıdan daha iyi olduğu görülmüştür.

BÖLÜM 4

HADDELEME

İki tane döner merdane arasında giren malzemeye basma kuvveti ile yapılan soğuk ya da sıcak olarak plastik şekil verme işlemine haddeleme denir. Metal ve metal dışı malzemelerinin %95'i bu yöntem ile elde edilmektedir [7].



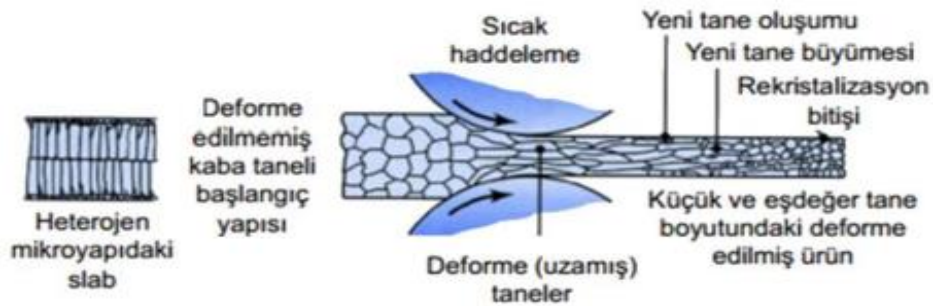
Şekil 4.1. Haddeleme işleminin şematik gösterimi [8].

Haddeleme esnasında merdaneler aynı hızla ve birbirine zıt yönde dönerler. Malzeme merdaneler arasından geçerken istenen şekli alır. Şekil 4.1'de görüldüğü gibi merdaneler arasındaki açıklık malzemenin giriş yüksekliğinden daha az olduğundan haddelenen malzemenin çıkış yüksekliğinde bir azalma olur. Malzemenin merdaneler arasından her bir geçişine paso denir. Haddeleme bir dolaylı basma mekanik işlemi olup, genellikle uygulanan tek kuvvet merdanelerle sağlanan radyal basınçtır [9]. Enerjisi artarak aralarındaki çekim gücünün azalmasını sağlar. Bunun sonucunda ise metalin kendisine yapılacak tüm fiziki müdahalelere dirençsizlik göstermesidir ki,

metallerde ve tüm maddelerde var olan bu hususiyet sayesinde istenilen şeklin kolaylıkla verilmesini sağlar. Metalin ergitilerek bir kalıp içerisine dökülüp şekillendirilmesi, ısıtıldıktan sonra dövülerek şekillendirilmesi ve metalin ezilerek metallere çeşitli yöntemlerle şekil verme işlemi çok eski zamanlara dayanır. Şekil vermede ilk iki ana yöntem, metallerin ısıtıldıktan sonra ve ısıtılmadan önce olmak üzere şekillendirilmesidir. Metallerin ısıtılması ile birlikte moleküllerin kinetik şekillendirilmesi gibi örnekler verilebilir. Bunlardan ilkinde döküm, ikincisine dövme ve üçüncüsüne de haddeleme işlemi denmektedir. Metaller ısıtılmadan da şekillendirilebilir. Kalıp içinde presleyerek, döverek veya haddeleyerek metallere şekil vermek mümkündür. Talaş kaldırmak suretiyle ve kaynak, geçme, bağlama elemanı kullanarak birleştirme suretiyle de şekil verilebilir.

Metallerin haddeden geçirilerek şekillendirilmesine plastik şekil deformasyon adı verilir. Metallerin sıcak olarak haddelenmesi de plastik deformasyon işidir. Metalin haddelenmesi esnasında Kristal yapı üç eksenli hacimsel gerilmeye maruzdur.

Çelik malzemelerde, tane boyu küçüldükçe malzemenin dayanımı artmaktadır. Sıcak haddeleme işlemi sırasında da iş parçasının tane boyutu küçülme göstermektedir ve bunun gerçekleşmesini sağlayan durum parçada yeniden kristalleşme olayının olmasıdır. Sıcak haddeleme işleminden sonra bir çelik malzemede ortalama tane boyutu 20 μm ' dur. Şekil 4.2' de görüldüğü gibi, sıcak haddelemeden sonra soğuma süreci gerçekleştiği zaman ortalama tane boyutu 5 μm ile 10 μm arasına kadar düşebilir [10].



Şekil 4.2. Sıcak haddeleme işleminde iç yapının değişimi [10].

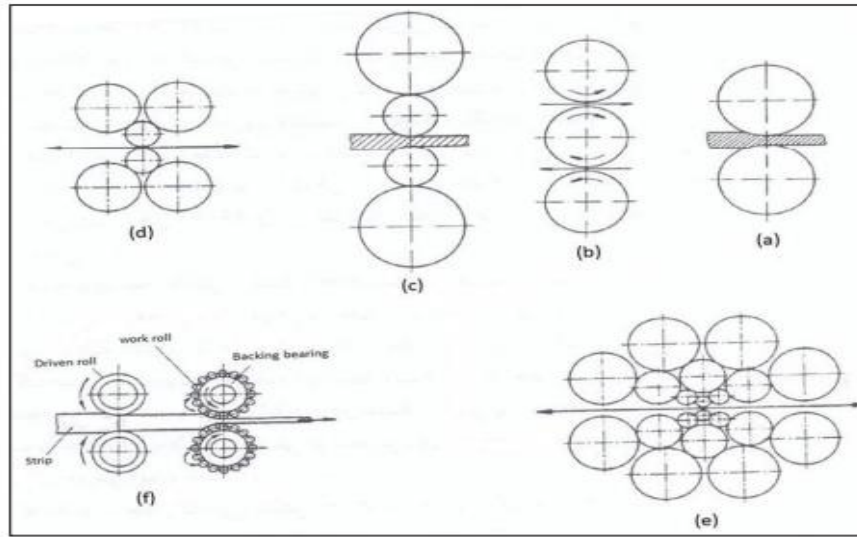
Metallerin haddelenmesi proseslerinde kullanılan bazı terimlerin tanımlaması konunun anlaşılması açısından faydalı olacaktır.

1. Haddeleme: Materyali en az iki merdane arasında ezmek suretiyle plastic deformasyon yaparak şekil verme işlemidir.
2. Sıcak ve Soğuk Haddeleme: materyali tav fırınında ısıtıldıktan sonra haddeleme işlemine sıcak haddeleme, materyali ısıtmadan haddeleme işlemine de soğuk haddeleme denir.
3. Paso: materyalin merdaneler arasından geçişi anlamında olup, İngilizcedeki “pass” geçmek kelimesinden alınmıştır. Pratikte yanlış bir tabir olarak merdane üzerinde bulunan kalibre kanallarına da bu ad verilmektedir.
4. Paso Sayısı: İstenilen şekil elde edilinceye kadar materyalin merdaneler arasından geçiş sayısıdır.
5. Kapış: Materyalin merdaneler arasına ilk girişi ve kavrayışıdır.
6. Kapış Açısı: Kalibre kanalına giren malzemenin, kalibre kanalındaki temas yüzeyini sınırlayan noktaların merdane merkezinde meydana getirdiği açıdır.
7. Yutma Kabiliyeti: Bir hadde kademesinden geçebilen malzeme miktarıdır.
8. Merdane Sıçraması: Haddeleme esnasında merdane eksenleri arasındaki mesafenin büyüme miktarıdır. Bu büyüme, merdane yataklarında ve tezgâh çerçevesindeki esnemelerden meydana gelmektedir.
9. Haddeleme Hızı: hadde tezgâhının materyali haddelenen tezgâhtan şekillenmiş olarak çıktıktan sonra materyalin çıkış hızıdır.
10. Haddeleme Ekseni: Merdane eksenlerinin sınırlandığı haddeleme dik doğrultuda ve haddelenen materyalin ekseni ile çakıştığı farzedilen eksendir. Bu eksen aynı zamanda kalibre kanalının kesiştiği eksendir.
11. Merdane Açıklığı veya Hava Boşluğu: İki merdanenin yüzeylerinin haddeleme düzlemi üzerinde meydana getirdiği aralıktır.
12. Yayılma: Malzemenin haddelenmesi esnasında merdane ekseni doğrultusunda genişlemesi yayılma olarak adlandırılır. Kalibre kanallarındaki duvarlar yardımıyla bu yayılma kontrol altına alınarak istenilen şeklin elde edilmesi sağlanır. Malzemenin yayılma miktarı hesaplanarak kalibre kanal ölçüleri buna göre boyutlandırılır. Yayılmanın kontrol altına alınmadığı hallerde serbest yayılma denir.

13. Kalibre: Teknik olarak karşılığı çap, ölçü ayarı olan bu kelime, hadde sektöründe biraz daha geniş anlamda olmak üzere haddelenecek malzemenin haddeleme eksenine dik kesitlerinin ölçülendirilmesi olarak izah edilebilir. Ölçülerin, merdanelerin meydana getirdiği kanala göre mukayesesine ve istenilen ölçülerde olması için yapılan ayar işlerine kalibre etmek denir.
14. Kalibrasyon: Kalibre kelimesinin karşılığının daha geniş anlamda kullanılmasıdır. Kalibre edilecek kesit ölçülerinin tayin hesapları, şekillerin çizimi ve ölçülendirilmesi hizmetleri kalibrasyon işlemi olarak adlandırılır. Kalibre masterlarının hazırlanması, merdaneler üzerine kalibre kanallarının açılması, hadde yollarının tertiplenmesi vb. gibi hizmetlerin tümü kalibrasyon konusu içinde alınır.
15. Kalibre Kanalı: İstenilen kesitte hadde malzemesi elde etmek için hadde merdaneleri üzerine açılan bu kesitteki uygun kanala kalibre kanalı denir.
16. Yolluk: Haddelenecek malzemenin hadde tezgâhına kontrollü olarak grime ve çıkmasını sağlayan metalden yapılmış parçalardır.
17. Tufal: Metal yüzeyinin oksijenle birleşmesi sonucunda ve zamanla ince katmanlar halinde metal yüzeyini terk eden metal-oksit parçalardır.
18. Kontinü: Devamlı anlamında ingilizce bir kelimedir. Haddecilikte, haddelenecek bir tek parçadan materyelin aynı anda birden fazla tezgâhlarda haddelenmesi olayına kontinü haddeleme denir.
19. Yatay-Düşey Haddeleme: hadde merdane ekseninin yatay veya düşey konumuna göre yatay veya düşey hadde adını alır. Hem yatay hem de düşey merdanelere sahip haddehanelere “Kombine Hadde Tezgâhları”, istenildiğinde yatay istenildiğinde düşey olarak çalışan hadde tezgâhlarına da “Üniversal Hadde Tezgâhı” denir.
20. Duo-Trio: Bir hadde tezgâhında bir çift merdane bulunuyor ve her iki yönde de haddeleme yapılıyor ise bu tezgâhlara “Duo”, üç merdane bulunuyor ve her iki yönde de haddeleme yapabiliyorsa “Trio Hadde Tezgâhı” denir.
21. Fınlık Tezgâhı: Yarı mamülün son nihai şeklini aldığı tezgâh “Fınlık Tezgâhı” denir.
22. Loop Kontrol: Loop kelimesi ingilizce olup, yılankavi veya sehim gibi anlamı vardır. Birbirine takip eden iki hadde tezgâhı bakımından birbirleri ile uyum içinde bulunmalarıdır. Şayet bir sonraki tezgâhın meydana getirdiği materyel

haddelenme hızı diğ erinden fazla ise iki tezgâh arasında kontinü olarak haddelenen material çekmeye zorlanır. Böyle bir durumda iki tezgâhın arasında bulunan materyalin kesiti değışir ve bir sonraki tezgâha istenilen kesitte malzeme giremez. Kontrolsüz kalan kesit değışimi nedeni ile tezgâhtan istenilen kesit elde edilemez. Bu durumu ortadan kaldırmak için, çekmenin mevcut olduğu iki tezgâh arasında düz bir hat halinde gözle de görülen malzemeye bir sehim verilmelidir. Sürekli olarak bir sehim halinin devamlılığını sağlayan sisteme “Loop Kontrol Cihazı” denir. Bu cihazlar bir ilerideki ve bir gerideki tezgâhların tahrik motorlarına kumanda etmek suretiyle malzemede sürekli bir sehim kalacak şekilde hız ayarı yaparlar. Ayrıca, mekanik şekilde loop-kontrol mekanizmalarında mevcut olup, gözle görülmek suretiyle bir operatörün tezgâh hızlarını elle ayarlamasıyla çalışırlar.

Bir haddelenme tezgâhı; merdanelerden, yataklardan, hadde kasası ile merdaneleri döndürmek için millere bağlı motorlardan, dönme hızını ve dönme gücünü kontrol etmek ve ayarlamak için elektrik ve mekanik cihazlardan oluşmaktadır [11].



Şekil 4.3. Haddelenmede farklı merdane diziliş i [12].

4.1. HADDELEMEDE YAYILMA

Malzemenin haddelenmesi esnasında, merdanenin eksenine paralel istikamette genişleme göstermesi olayı yayılma olarak adlandırılır. Bu genişleme, istendiği takdirde kalibre kanalının duvarları aracılığı ile kontrol edilir veya serbest bırakılır.

Kontrollü bir yayılma veya serbest yayılma yapılan bu işlemin şekliyle ilgili isimlendirilir. Yayılmanın büyüklüğü şu faktörlere bağlıdır:

1. Ezme miktarı,
2. Merdane çapı,
3. Haddeleme hızı,
4. Haddeleme sıcaklığı,
5. Merane ile malzeme arasındaki sürtünme,
6. Haddeye giren malzemenin genişliği,
7. Haddelenen çeliğin kimyasal yapısı,
8. Merdane üzerindeki paso sayısı,
9. Kalibre kanal formu.

4.2. HADDE MERDANELERİNİN TANIMI

Hadde merdaneleri, hadde ekipmanlarının bir numaraları elemanıdır. Bu nedenle merdanenin fiziki ve kimyevi yapısının derinlemesine incelenmesi gerekir.

4.2.1. Hadde Merdanelerinin Kimyasal Yapısı

İster soğuk, ister sıcak olsun haddeleme prosesi olsun hadde merdaneleri iki ana usulde imal edilir:

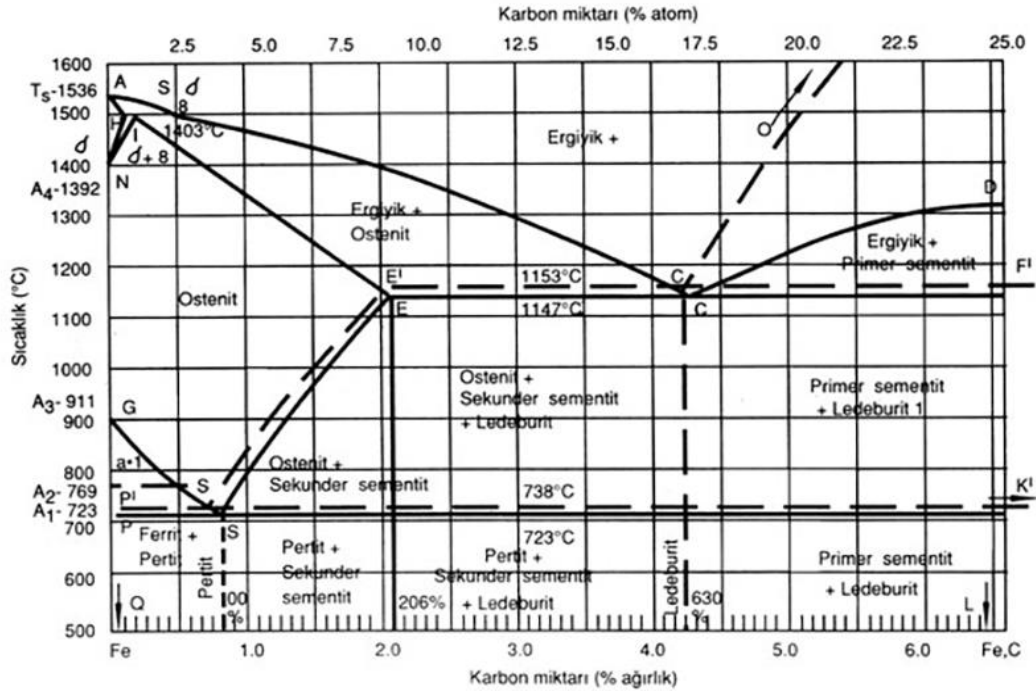
1. Dövme Çelik Merdaneler
2. Dövme Çelik ve Dövme Demir Merdaneler

Merdaneler çok büyük basınç ve çok büyük döndürme momenti altında hem sıcak hem soğuk değişkenlik şartlarında çalışırlar. Merdane malzemesinin bu kaadar kötü şartlara direnç göstermesi için üstün özellikleri sahip olması gerekir. Bu özelliklerin

ilki de merkezde bir elastic yapı, dışa doğru gittikçe sertleşen aşınmaya, sıcak-soğuk değişkenliğine direnç gösteren, eğilme, kesilme burulmaya mukavemetli bir yapıya sahip olmalıdır. Bu nitelikleri aynı anda gerçekleştirecek bir yapı için iki önemli şartın öncelikle bilinmesi ve uygulanması gerekir. Bunlar;

1. Malzeme Bilgisi ve Malzeme Temini
2. Isıl İşlem Bilgisi

Malzeme bilgisiyle, hadde merdanesine ait malzemelerin tanımı kastedilmektedir. Yukarıdaki açıklamadan anlaşılan hadde merdane malzemesinin temeli demir ve demir alaşımlarıdır. Demir, kimyada “Fe” sembolü ile ifade edilen bir elementtir. Saf halde elde edilmesi oldukça zordur ve fazlada kullanışlı değildir. Demirin en saf hali ile karbon ile bileşik halinde daha kullanışlıdır. Demir karbon ile her zaman dengeli bir bileşim halindedir. Bu nedenle demiri, demir-karbon denge diyagramında sıcaklığın bir fonksiyonu şeklinde inceleyebiliriz.



Şekil 4.4. Demir-Karbon denge diyagramı [13].

İçerisinde karbondan başka element bulunmayan ve karbon miktarı maksimum 0,0008 kadar olan demir-karbon alaşımına demir denilebilir. Buna sadece metalurji açısından bir isimlendirme olup kimya bilimindeki anlamı yukarıdaki açıklamadaki gibidir.

İçerisinde karbondan başka element bulunmayan ve karbon oranı 0,0008-0,0205 arasında olan demir karbon alaşımına çelik denir. Kimyasal yapısında 0, 0205'ten daha fazla karbon bulunan ve karbondan başka çok az miktarlarda Si, Mn, P, S gibi elementler bulunan demir alaşımına pik denir.

4.2.2. Alaşım Elementlerinin Merdane Kalitesi Üzerine Etkisi

Kompozisyonunda demir ve karbondan başka diğer elementler de bulunan ve karbon miktarı çelik için belirtilen sınırlar içinde kalan alaşımlara alışımlı çelik denir.

Merdane imalatı için kullanılan alaşım elementleri: karbon, silis, fosfor, kükürt, mangan, molibden, nikel, vanadyum, krom, bakır ve bor elementleridir. Bu elementlerin merdanenin kalitesi üzerinde büyük etkisi vardır. Bunlar aşağıdaki tabloda kısaca gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Alaşım elementlerinin merdane üzerine etkisi.

Demir Bazlı Merdaneler	Alaşım Elementi	ÇELİK BAZLI MERDANELER
Sertliği, aşınma direncini ve kırılabilirliği artırır, soğutma derinliğini ve haddeleme kabiliyetini azaltır.	Karbon	Sertliği, aşınma direncini ve kırılabilirliği artırır, büyük kuvvetlere karşı direnci düşürür.
Temizlemeye ilaveten grafit miktarını artırır, soğutma derinliğini düşürür.	Silis	%20-35 oranında çeliğin temizlenmesini sağlar. Sertliğin artmasına yardımcı olur. Oksijeni atarak döküm derinliğinin artmasına yardımcı olur.
Sertliği ve kırılabilirliği artırır.	Fosfor	Sertliği ve kırılabilirliği artırır. Haddeleme özelliğini düşürür.
Sertliği, kırılabilirliği ve soğutma derinliğini artırır.	Kükürt	Sertliği ve kırılabilirliği artırır. Haddeleme kabiliyetini azaltır.
Daha düşük seviyelerde soğutma derinliğini azaltır. Daha yüksek seviyelerde ise artırır.	Mangan	Sertliği ve kırılabilirliği artırır. Kopma dayanımı ve aşınma direncini artırır.
Sertliği, aşınmaya karşı direnci artırır. Soğutma derinliğini azaltır.	Nikel	Krom ve diğerleriyle yapılan kombinasyonlarda sıcak işleme direncini ve mukavemeti yükseltir.

BÖLÜM 5

TAV FIRINLARI

5.1. HADDELEMEDE SICAKLIĞIN ÖNEMİ

Sıcak haddelemede, akma dayanımının düşürülmesi ve haddelemede sırasında şekil değiştirmenin kolaylaştırılması amacıyla haddeleme öncesi iş parçaları belirli bir sıcaklığakadar ısıtılmaktadır. Buna karşın, gerek haddeleme kuvvetlerinin ve gerekse döndürme momentlerinin hassas bir şekilde hesaplanabilmesi için haddeleme sıcaklığında dikkatli bir şekilde tasarlanması gerekmektedir [4].

Haddeleme sıcaklığı, genel olarak parçanın fırından çıkış sıcaklığı daha sonra haddeye nakli sırasında meydana gelebilecek ısı kayıplarını, tufal oluşumunu, haddeleme sırasında merdaneler ve iş parçasıyla oluşacak sürtünmeyi, haddelenen parçanın şekil değiştirmesi sırasında üreteceği iç ısınmayı ve gerek iş parçasına temas eden diğer elemanların gerekse ortamın termal özelliklerini de içine alan kompleks bir etkileşim zincirine bağlı olacaktır [4].

Demir Çelik haddehanelerinde gerçekleştiren sıcak hadde prosesinde çelik girdileri (kütükler) 1050 ile 1300 oC' ye kadar ısıtılarak tavlansmaktadır. Tavlama sonucunda kütüğün haddelenerek şekillendirilmektedir. Malzemenin istenilen şekilde haddelenebilmesi için tavlama ürünündeki bölgesel ısı dağılımının eşit ve düzenli olması gerekmektedir. Malzeme üzerine ısıyı eşit olarak dağıtabilmek için, tav fırınları sıcaklık bölgelerine ayrılmaktadır. Tav fırını ısı bölgelerinde ihtiyaç duyulan ısı enerji ihtiyacı brülör diye adlandırılan ekipmanlar ile sağlanmaktadır. Brülörlerin girdisi petrol ürünlerinden (doğalgaz, fuel oil vb.) sağlanmaktadır. Tav fırınında oluşan ısı enerji ısı transferi yoluyla mamüllerin istenilen tavlama sıcaklığına ulaşmasını sağlar. Fırın içerisindeki ürünler hareketli taban (hareketli giriş vb. sistemler)

yardımla hareket etmektedir. Endüstriyel fırının kapasitesi, bir saatte tavlayabileceği çeliğin tonajı ile belirlenir [14].

Tav fırınları, haddelenecek malzemenin fiziki şekil ve boyutlarına bağlı olarak konstrüksiyonları farklıdır. Ayrıca, malzemenin fırına kabulü ve fırından çıkışı önemli olduğundan dolayı değişik konstrüksiyonlar geliştirilmiştir. Yapılan konstrüksiyonlarda en önemli bir yenilik olarak yürüyen tabanlı fırınlar söz konusu olabilir. Tav fırınlarının konstrüksiyon şekli amaca göre değişir. Tav fırınlarının şekil bakımından bir genelleme yapılsa;

1. Metodik Fırınlar
2. Dönerli Fırınlar

olarak ikiye gruba ayrılabilirler. Metodik fırınlar, hadde tav fırını olarak daha çok kullanılırlar. Bunlar malzemenin bir itici vasıtasıyla fırından alınışı prensibiyle çalışırlar. Fırın yönünde itme yapan bir itici ile itilen yarı mamüller roleler üzerinden kayarak fırının içine yerleştirilir. Fırının içerisinde taban ve tavan bölümlerinde bulunan yakıt brülörleri ile ısıtılır. Isıtılmış haldeki malzemeler yine iticilerle fırın dışına alınarak role yolları yardımı ile hadde tezgâhlarına gönderilir.

Malzemenin bir itici veya çekici mekanizmaya gerek duymadan fırına alınması ve fırından çıkarılması için geliştirilmiş teknikler de mevcuttur. Bunlar doğrudan fırına bir roleler zinciri ile şarj veya şarjı fırından çekilen metalik konveyörler veya yürüyen tabanlı olarak isimlendirilen sabit ve hareketli kirişlerin oluşturduğu mekanik sistem olarak bahsedilebilir.

5.2. MALZEMENİN TAVLANMASI

Tav fırınlarında malzeme tavlanması ısı yardımıyla olur. Fırınlara verilecek ısı, elektrik enerjisiyle veya sıvı, gaz gibi yakıtlarla sağlanır. Elektrik enerjisi oldukça pahalı bir enerji olduğundan haddeleme işlemi için malzeme tavlanmasında pek tercih edilmez.

Sıcak haddeleme öncesinde yarı mamül çelikler genellikle 1100 °C - 1300 °C arasında ısıtılarak homojen mikro yapının oluşması sağlanır. Isıtılma işlemi, ısı gerilmelere bağlı olarak yapısal kusurları önlemek için kademeli ve belirli oranda gerçekleştirilir [15]. Bu ısıtma işlemi haddehane tav fırınlarında yapılmaktadır. Tav fırının içinin ısıtılması, fırın duvar yüzeylerinde bulunan brülörler vasıtası ile yapılmaktadır. Brülörlerde ısı kaynağı olarak birçok tip yakıt kullanılabilir [16].



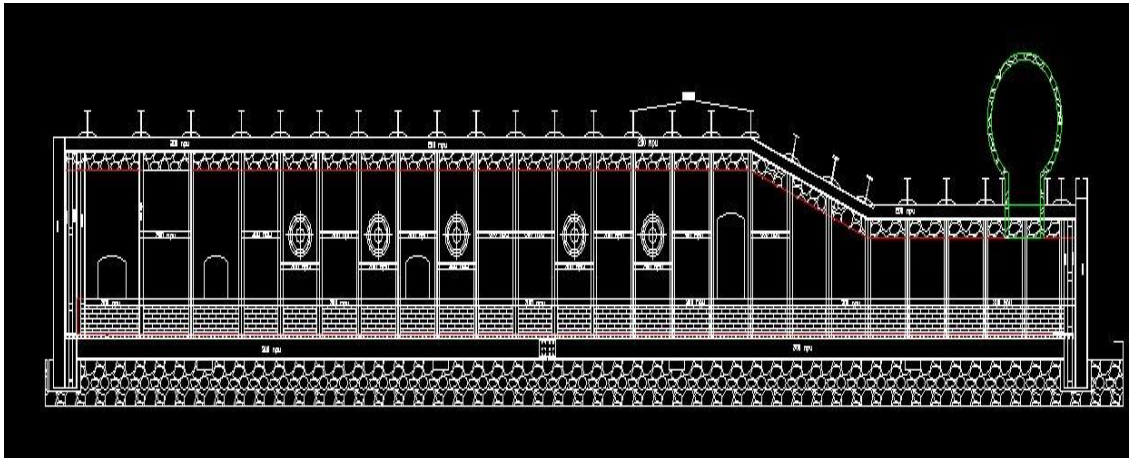
Şekil 5.1. Tav fırını.

Tav fırınları, kütüğün şarj (yükleme) şekline göre sınıflandırılmaktadır. Demir çelik haddehanelerinde genellikle 3 tip şarj şekli kullanılmaktadır. Dolayısı ile tav fırınları şarj şekline göre 3'e ayrılmaktadır. Bunlar; itmeli tip tav fırınları, yürüyen tabanlı tav fırınları ve yürüyen kirişli tav fırınlarıdır. Enerji analizi yapılan tav fırını, itmeli tip bir tav fırınıdır. 7 İtmeli tip tav fırınlarında yarı mamul kütükler, takip eden diğer malzeme yardımıyla fırına itilerek şarj edilmektedir [17].

Tav Fırınlarında Verimliliği Etkileyen Faktörler Tav fırınlarında verimliliği etkileyen başlıca faktörler şu şekilde sıralanabilir [18]:

1. Eksik yanma,
2. Hava yakıt oranı,
3. Baca gazı sıcaklığı,

4. Reküperatörler,
5. Duvar kayıpları,
6. Tufal kayıpları,
7. Soğutma suyu kayıpları,
8. Açıklık kaybı,
9. Yakıt cinsi,
10. Börnerler,
11. Kütük şarj sıcaklığı [18].



Şekil 5.2. Tav fırını teknik resim.

5.3. PLASTİK ŞEKİL VERME İŞLEMLERİNDE KULLANILAN TAV FIRINLARI

Bir malzemenin tavlama işlemi 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;

1. Tav çukurları,
2. Yeniden ısıtma fırınları,
3. Isıl işlem fırınları

şeklinde sınıflandırılabilir.

Tav çukurları ve yeniden ısıtma fırınları, plastik ekil verme işlemlerinde malzeme istenen mukavemet ve sünekliği sağlarlar. Isıl işlem fırınları ile malzemeye uygulanacak çeşitli ısıl işlemlerin yapılması sırasında malzemenin ısıtılmasını sağlarlar.

Fırınlar alışma sıcaklığına dayanıklı malzemelerden yapılmaktadır. Bu fırınlar, belirli bir üretim hızında malzemeyi ısıtma ve düşünülen malzeme hacmi için elverişli şarj imknı sağlamalıdır. Aynı zamanda malzemeyi homojen olarak ısıtabilecek şekilde yapılmalı ve ayrıca yanma kontrol sistemi içermesinin yanı sıra belirli srelerde 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 şarjin, ısıtma sırasında sabit veya hareketli duruma uygun olarak yapılmalıdır.

BÖLÜM 6

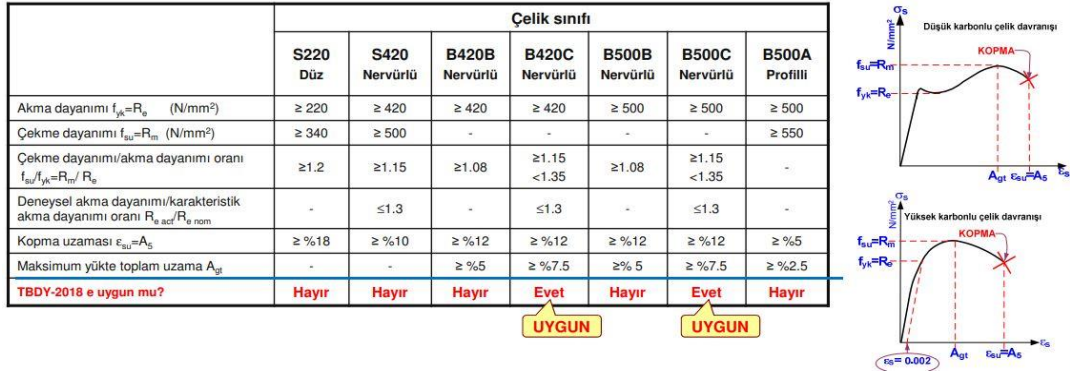
TEMPCORE İŞLEMİNİN ÇALIŞMA PRENSİBİ

6.1. GÜNÜMÜZDE BETONARME ÇELİĞİ ÜRETİMİ VE TEMPCORE PROSESİ

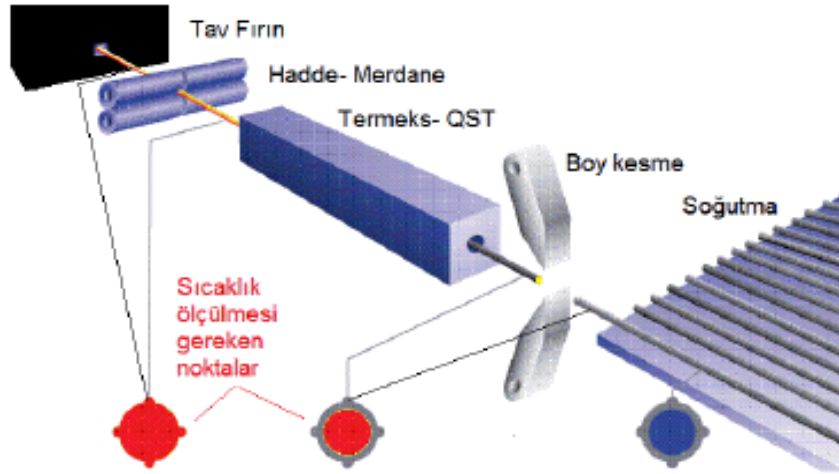
İnşaat çeliklerinde aranılan temel özellik mukavemettir. Teknik anlamda tasarım için esas alınan mukavemet değeri, akma mukavemetidir. Nitekim birçok modern ülke ve uluslararası beton çeliği standardında, tanımlanan kaliteler, akma mukavemeti değerini içeren bir sembol ile alınırlar. Örneğin:

Çizelge 6.1. Ülkelerin betonarme çeliği üretim standartları.

Standart	Standart Kodu	Akma Mukavemeti
TSE 708/2010	S420	min 420 MPa
TBDY/2018	B420C	min 420 MPa
DIN 488	BSt 500S	min 500 MPa
BS 4449	Gr 460B	min 460 MPa
AS 1302	400Y	min 500 MPa
ENV10080	B500B	min 500 MPa
NEN 6008	FeB500	min 500 MPa
NS 3570	K500TE	min 500 MPa



Şekil 6.1.TBDY'ye göre nervürlü inşaat çeliği üretim standardı mekanik özellikleri [19].



Şekil 6.2. İnşaat çeliği üretim aşamaları [20].

TSE 708/2018 yeni revizyon yayınlamasında;

1. Deney sonuçlarının değerlendirilmesinde C_v değerinin hesaplanması standarda yeni ilave edilen uygulamadır.
2. Bu C_v değeri ilk olarak 0, 45 oranında yayınlanmıştır. Ancak 2018 yılında TBDY yönetmeliğinde C_v değeri 0, 55'e çıkarılmıştır.
3. C_v değerinin 0, 55 çıkarılmıştır ancak burada C miktarı 0, 22 ile sınırlandırılmıştır.
4. C miktarının bu sınıra çekilmesi ile inşaat çeliklerinde S420 standartına uygun hammadelerin kullanımı yerine B420C hammadeleri kullanımına 2019 yılı itibari ile geçiş yapılmıştır.

Standartlarda belirtilen akma mukavemetin elde edilebilmesi için inşaat çeliği üretiminde uygulanabilecek yöntemler aşağıda sunulmuştur:

1. Kimyasal kompozisyonun ayarlanması
 - Karbon ve Mangan değerlerinin artırılması
 - Mikroalaşımlama (V, Nb Kullanılacak)
2. Soğuk işlem sertleşmesi uygulaması (TOR Çelikleri, Soğuk Çekme Çelikler vs.)
3. Tempcore prosesinin kullanılması (Su Verme)

Çizelge 6.2. Betonarme çeliklerin üretim metodları karşılaştırması.

Üretim prosesi	Yüksek dayanım Etmenin yolları	Üretim masrafları	Proses özellikleri	
			Süneklik	Kaynaklanabilirlik
Mikro alaşımlama	Alaşım elementleri ilavesi (C, Si, Cr, V, Nb vb.)	Pahalı alaşım elementleri maliyetleri yüksektir.	İyi süneklik, Yüksek dayanım	C eşdeğerinin yükselişi nedeniyle kaynak kabiliyeti düşük
Soğuk şekillendirme	Burma, soğuk çekme	Pahalı, sistem teçhizat maliyeti yüksek	Azalma oluşur.	Kaynak sırasında oluşan ısıdan kaynaklı azalma oluşur.
Tempcore sistemi	Haddeleme sırasında kontrollü soğutma ile ısı işlem	Çok ekonomik, çalışma maliyeti düşük	Düşük sıcaklıklarda dahi mükemmel	Düşük C eşdeğerinde mükemmel

Tempcore prosesinin diğer üretim yöntemleriyle karşılaştırılması Tablo 6.2’de verilmektedir. Betonarme çubuklarının kullanıcıları tarafından talep edilen akma ve çekme dayanımı, süneklik ve kaynaklanabilirlik gibi özellikler, Nb ve V gibi alaşım elementleri ilavesiyle veya çekme ve burma gibi soğuk deformasyon yöntemleriyle başırlanamamaktadır. Çekme ve akma dayanımları, yüksek Mn ve C bileşimleriyle artırılabilir fakat bu süneklik ve kaynaklanabilirlik açısından zararlıdır. Mikroalaşım ilavesi veya ayrıca soğuk deformasyon uygulaması üretim maliyetini

oldukça artıracaktır. Tempcore prosesi hem teknik hem de ekonomik açıdan bu olumsuzlukları dengelemektedir [21].

Karbon ve Manganın arttırılması ile sıcak haddelenmiş çeliğe istenilen mukavemet kazandırabilir. Ancak, özellikle çelik içinde yüksek karbon içeriği kaynaklanabilirliği düşürdüğünden süneklik ve uzamayı azalttığından, bu yöntem ile üretilen çelikler kullanıcılar tarafından tercih edilmemektedir. Nitekim çoğu modern çelik standardı, çelik kaliteleri için tanımladığı kimyasal kompozisyon aralıklarında, karbon için bir üst sınır tanımlamıştır. Söz konusu standartlarda verilen üst sınırlara bağlı kalınarak sıcak haddeleme ile istenilen mukavemetin elde edilmesi ise mümkün değildir. Standartlarca belirtilen düşük karbon oranlarında mukavemetin artırılabilmesi için kullanılmış olan ilk yöntemlerden birisi sıcak haddelenmiş çeliğin soğuk olarak burularak işlem sertleşmesi sonucunda yüksek mukavemet elde edilmesi prensibine dayanmaktadır. Bu yöntemde kullanılan mekanik işlem ek maliyet getirmektedir. Düşük karbonlu kaynaklanabilir beton çeliği üretilmesine karşın yüksek maliyet sebebiyle bu yöntem günümüzde hemen hemen terk edilmiştir.

Düşük karbonlu çeliğin mukavemeti mikroalaşımlama elementleri kullanılarak da arttırılabilmektedir. Mikroalaşımlama elementleri olarak genellikle oldukça pahalı olan V, Nb gibi elementler kullanılmaktadır. Bu elementlerin oluşturduğu nitrür ve karbür çökeltileri, gerek çökelti sertleşmesi ve gerekse tane küçültme etkileri ile çeliğe ek bir mukavemet sağlar. Mikroalaşımlama ile üretilen inşaat çelikleri amaç için çok uygun olmalarına karşın, Tempcore prosesi ile üretilen çelikler ile karşılaştırıldığında maliyet fazlalıkları vardır. Bu maliyet farkı ise mikroalaşımlı inşaat çeliklerine olan talebin düşmesinin ana sebebidir.

Günümüzde yüksek mukavemetli betonarme çeliklerinin üretiminde kullanılan en yaygın yöntem Tempcore yöntemidir. Tempcore prosesi temel anlamda sıcak çekilmiş beton çelik çubuklarına mukavemeti arttırmak üzere uygulanan bir ısıl işlemdir. Bu ısıl işlem sıcak haddelenmiş ve halen sıcak (~1000°C) olan çubuğa finiş pasosunu terkeder terketmez, hızlandırılmış şekilde su verilerek uygulanır.

Tempcore prosesinin ismi “menevileşme” teriminin İngilizce karşılığı olan “tempering” kelimesinden gelmektedir. Su verme işlemi sonrasında çeliğin çekirdeğinde (core) mevcut ısı ile kabuki bölgesindeki sert ve kırılğan martensit bölgesini kendi kendine menevileşmektedir (temperlemektedir). Temperleme sonrasında sert, kararsız ve kırılğan olan martensit fazı, mukavemeti daha düşük fakat yeterince sünek olan temperlenmiş martensite dönüşmektedir [20].

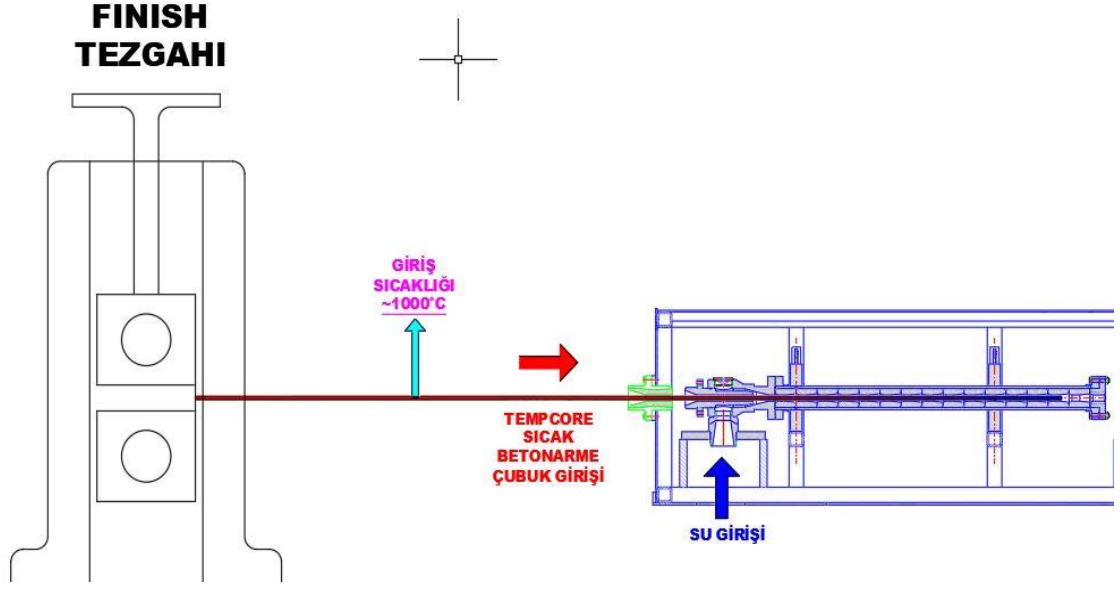
Tempcore prosesi ile üretilen mamullerin makroyapısı incelendiğinde dik kesitin iki farklı bölgeden oluştuğu görülür. Yüzeyi çepeçevre saran ve belli bir kalınlıktaki temperlenmiş martensit, çeliğe mukavemet, ferritik-perlitik çekirdek ise süneklik sağlar. Sonuç olarak hem yüksek mukavemetli hem de sünek olan kompozit fazlı çelik üretilmiş olur. Düşük karbonlu (~0.17-0.22%C) olarak üretilen bu çelik aynı zamanda kaynaklanabilirdir.

Sonuç olarak Tempcore Prosesi; yüksek mukavemetli, sünek ve kaynaklanabilir beton çeliği üretimini mümkün kılan en ekonomik ve en yaygın yöntemdir.

6.2. TEMPCORE İŞLEMİNİN PRENSİBİ

Son yıllarda yüksek miktarlarda üretilmekte olan kaynaklanabilir betonarme çelikleri için su verme ve çelik çubuğun kendi kendini temperlemesi çok popüler bir çözüm haline gelmiştir [22].

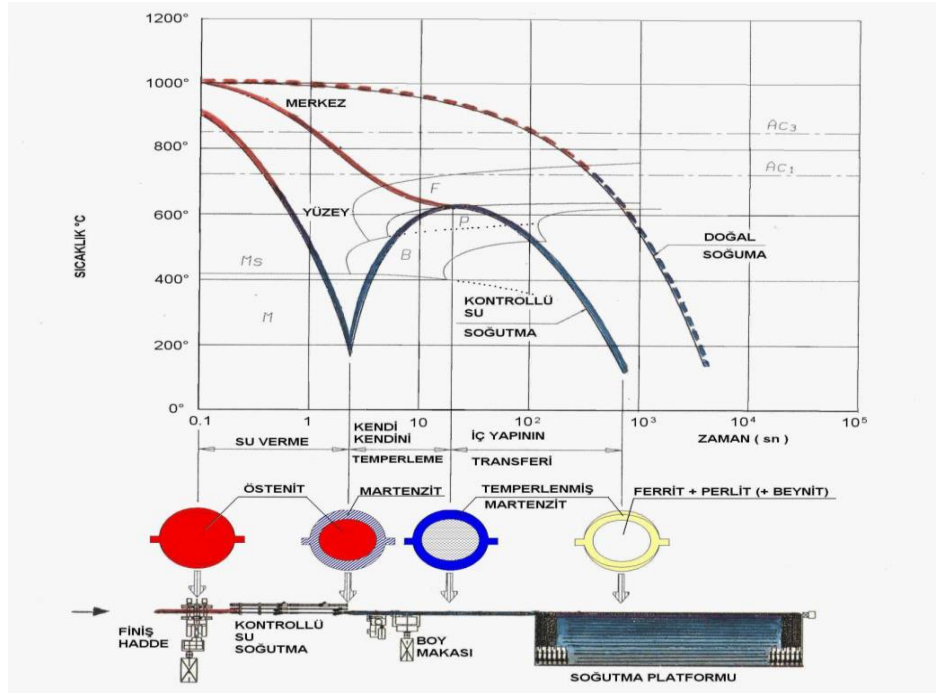
Tempcore yöntemi, son hadde tezgâhının çıkan nervürlü inşaat çeliğinin yüzeyine su verme ve bunu takip eden çubuğun merkezindeki sıcaklıkla kendi-kendine temperlemesidir.



Şekil 6.3. Finish tezgâhından çıkan betonarme çeliğinin tempcore sistemine giriş sıcaklığı.

Tempcore makinesine finish tezgâhından çıkan inşaat çeliği yaklaşık olarak 1000°C olarak giriş yapar. Tempcore makinesinin içerisinde bulunan nozul ve su boruları içerisinde su ile temas ederek geçer. Su ile temas süresi finish tezgâhından çıkma hızına bağlıdır. Deney yapılan fabrikada Ø8 mm nervürlü inşaat çeliği üretiminde hadde hızı 11,5 m/s, Ø10 mm nervürlü inşaat çeliği için ise 10,5 m/s olarak belirlendi. Hadde hızının değişkenliği betonarme çelik çubuğun su ile temas süresini etkilemektedir. Bunun neticesinde martensit oluşumu ve akma dayanımı belirlemesi de değişkenlik göstermektedir. Hadde hızının artmasının tempcoredaki su debisinin ve basıncında doğru orantıda artması gerekmektedir. Ayrıca hadde hızının artmasından kaynaklı su çıkış hızının hadde hızına eşit veya bir miktar daha hızlı olması gerekmektedir. Bunu sağlamak için ise Tempcore makinesin içerisinde bulunan nozulların su çıkış alanlarını daraltmak suretiyle bunu sağlamak mümkündür. Ancak suyun hızını artırmak için yapılan bu işlemde aynı zamanda soğutma için kullanılan su debisi azalmaktadır. Suyun hızını artırmak aynı zamanda debiyi korumak için nozul boşluklarını ve kullanılan su pompasının maksimum devrini orantılı bir şekilde sağlamak gerekmektedir. Suyun hızının düşük olması finish tezgâhından çıkan betonarme çubuğun hızının kendisinden daha düşük olan hızda olan su ile temasında betonarme çubukta dalgalanmalara neden olmaktadır. Bunu hızlı bir şekilde koşan futbolcuya çok küçük bir temas edildiğinde aniden savrulmasını örnek gösterebiliriz.

Aynı durum inşaat çeliği üretimi için de geçerlidir. Finish tezgâhından çıkan inşaat çeliği 41 km/h hızda hareket halinde olduğu ve çapı 8 mm gibi küçük boyutta olduğundan dolayı çok küçük kuvvetlerden etkilenmektedir. Bu yüzden tempcore sistemine de bu hızda giriş yaptığı için inşaat çeliğine verilen suyun hızı çok önemlidir. Tempcore sisteminde verilen suyun görevi inşaat çeliğini homojen olarak soğutarak ürün geometrisini korumaktır. Bu yüzden suyun çıkış hızı inşaat çeliğinin finish tezgâhından çıkış hızına eşit veya büyük olmak zorundadır.



Şekil 6.4. Betonarme çeliğin son hadde tezgâhı ile soğutma platform arasındaki sıcaklık değişimi ve iç yapısı [23].

Kontrollü su soğutma yöntemini üç kademede inceleyebiliriz;

1. Su verme (özel su verme ünitesi içinde)
2. Kendi kendini temperleme (soğutma ünitesi ile soğutma platformu arasında)
3. İç yapının son şeklini alması (soğutma platformu ve daha sonrasında) [23].

Tempcore yöntemine tabi tutulan çubuk, bu özel ısıl işlem çevriminde üç kademedен geçmek zorunluluğundadır. Şekil 6.4'te gösterilen betonarme çeliğin finish tezgâhından sonraki aşamalarındaki içeriği;

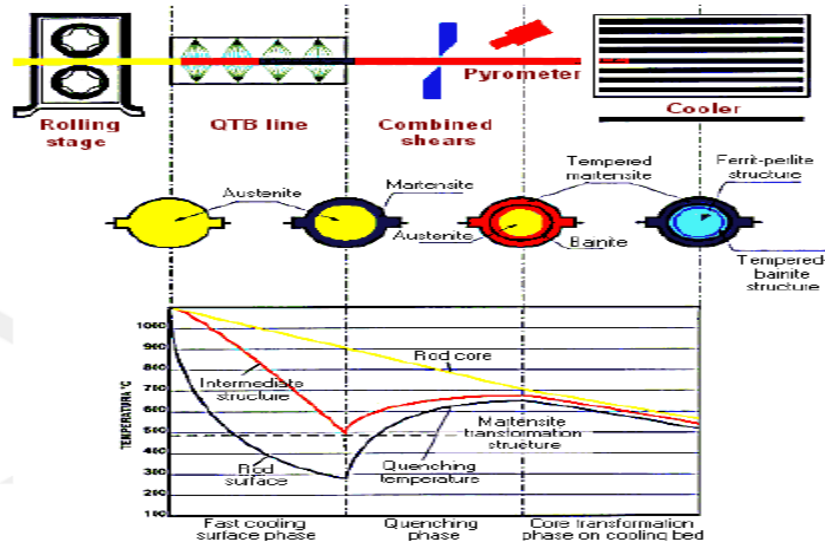
1. Aşama; son hadde tezgâhını terkeden çubuğa hızlandırılmış su verme ile soğutma operasyonu uygulanmaktadır.

2. Aşama; 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. Aşama; soğutma platformu üzerinde duran çubuğun ortam sıcaklığına soğumasını içerir.

Bu yöntem süresince;

1. aşamada malzemenin hızlı soğutulması yüzeyde belirli bir kalınlıkta martensitik bir kabuki oluşur. Soğutma tesisinin soğutma verimliliği, malzeme yüzeyinin belirli bir derinliğe kadar olan kısmının soğuma hızının kritik martensitik soğutma hızından yüksek olmasını sağlamaya uygun olmalıdır. Bu kademe süresi, istenen martensitik kabuk derinliğine bağlıdır.

2. aşamada havanın ısı transfer katsayısının küçük, malzeme kesitinin ısı farklılığının büyük olmasından dolayı malzemenin çekirdeği yüzey kabuğunun yeniden ısınmasını sağlar. Yüzeyin ulaştığı maksimum sıcaklığa temperleme sıcaklık denir. Bu surette martensitik kabuki temperlenerek aşağıda belirtildiği gibi uygun toklukta yüksek akma mukavemetli malzeme elde edilir.



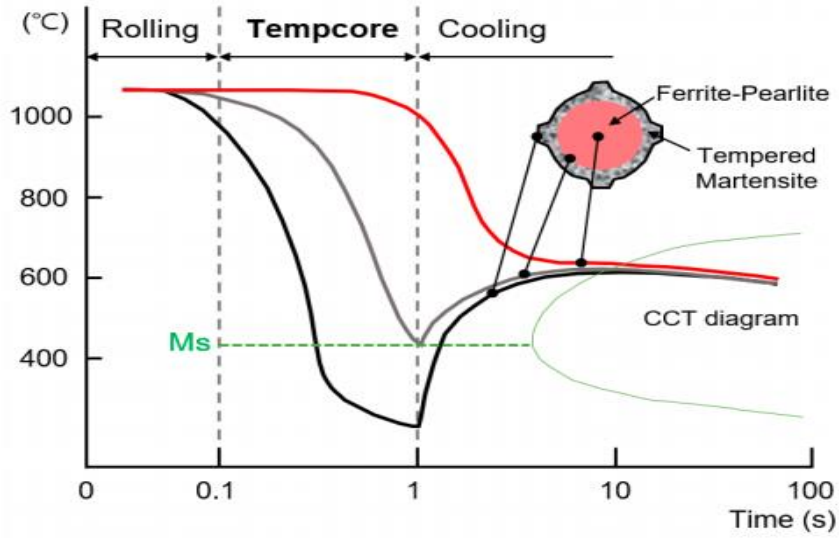
Şekil 6.5. Tempcore sistemi ile üretilen betonarme çeliğin sıcaklık ile mikroyapısının değişimi [20].

Konvensiyonel olarak, malzemenin yüzey sıcaklığı maksimum değere ulaştığında 2.aşamının tamamlandığında kabul edilir. 2.kademenin süresi, büyük oranda malzeme çapına ve 1.kademedeki soğutma şartlarına bağlıdır. 2.aşamada çekirdek östenitik olarak kalırken, yüzeydeki östenit beynite dönüşür. Diğer taraftan; temperlenen martensitik yüzey kabuğunun hemen altındaki östenit soğutma şartlarına ve çelik kompozisyonuna bağlı olarak beynite dönüşebilir. 3.aşama çubuk soğutma yatağında meydana gelir. Bu aşama, kalan östenitin hemen bir izotermal dönüşümünden ibarettir. Bu dönüşümün üretimi çelik kompozisyonu, çubuk çapı, son hadde serisinin sıcaklığı, ilk aşamadaki soğutma süresi ve verimliliği gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak ya ferrit- perlit karışımıdır ya da ferrit-perlit ve beynit karışımından oluşup çeşitli faktörlere bağlıdır [24].

1. Çelik kompozisyonu
2. Çubuk çapı
3. Son haddeden çıkan malzemenin çıkış sıcaklığı
4. 1.aşamadaki soğutma verimliliği ve süreç

Fiziksel olayları içine alır. Tempcore işleminin yukarıda ifade edilen üç aşaması üç kategori içinde sınıflandırılabilir;

1. Çubuğun yüzeyi ve çevresi arasındaki ısı değişimler
2. Çubuk içindeki ısı değişimler
3. Metalonik olaylar



Şekil 6.6. Tempcore ile işlenmiş donatılarda sıcaklık profili ve mikroyapısal değişim şeması [25].

6.3. TEMPCORE YÖNTEMİNİN TEMEL MEKANİZMALARI

Karmaşık olay üç bölüm içinde izah edilmiştir; yüzey ısı değişimleri, ısı kondüksiyonu ve fiziksel metalurjişeklin en üstünde, daireler içinde prosesin ana parametreleri belirtilmektedir. Sonrasında, hadde operatörünün kontrolündeki bağımsız kontrol değişkenleri olarak bunlardan sadece üçü dikkate alınabilir:

1. Su debisi
2. Su verme süresi
3. Finiş sıcaklığı

Tempcore işleminin tabii 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 gibi) uygun bir yaklaşımdır. Kolaylık olması yönünden; martensit veya temperlenmiş martensit bir yüzey kabuğu ile ferrit ve perlitten oluşan çekirdek diye adlandırabiliriz. Tempcore çubuğunun baştan sona (boyca) makroskopik özellikleri, bilhassa gerilme özellikleri şu üç faktöre bağlıdır;

1. Martensitin hacim yüzdesi,
2. Martensitin gerilme özellikleri,
3. Çekirdeğin(ferrit-perlit)gerilme özellikleri,

Martensitin hacimsel yüzdesi; martensit dönüşümün başlangıç sıcaklıkları, çeliğin kompozisyona ve soğutma ünitesini terkeden çubuğun enine kesitindeki sıcaklık alanına bağlıdır. Martensit kabuğunun kalınlık limiti çubukla aynı eksenli dairesel bir silindire benzer ve bunun için minimum sıcaklık M_s sıcaklığına eşittir.

Martensit kabuğunun gerilme özelliği; kimyasal kompozisyona, soğutma kapasitesindeki termal alana ve temperleme sıcaklığına bağlıdır. Bu temperleme sıcaklığı, tempcore soğutma ünitesini terk eden çubuğun enine kesitindeki termal alanına bir fonksiyonudur. Çekirdeğin mekanik özellikleri ise iki grup parametreye bağlıdır.

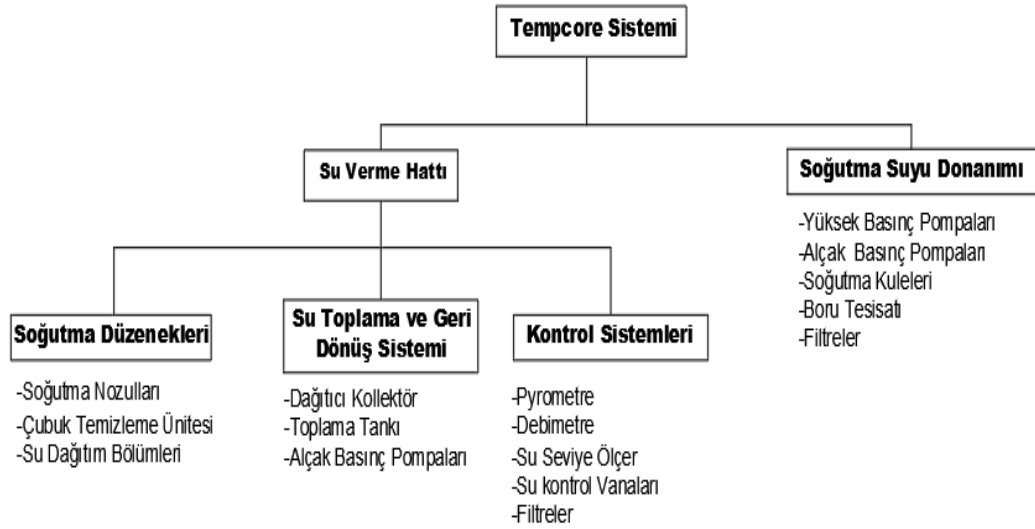
1. Kimyasal kompozisyon, CCT diyagramları ve mikroyapı özellikler arasındaki bağıntılar,
2. Soğutma süresince soğutma şartları ve izleyen soğutma kademeleri,

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, termal olan 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 tariflenir. Fonksiyon esas olarak, soğutma ünitesinin dizaynına ve soğutma su debisi ile sıcaklığına bağlıdır.

6.4. TEMPCORE ÜNİTESİNİN TANIMI

Tipik bir tempcore soğutma sistemi, su verme ham ve soğutma suyu temin devresinde oluşmaktadır. Su verme hattı, soğutma düzeneklerini, su dağıtımı ve geri dönüş sistemini ve kontrol sistemlerini içerir. Buna göre tempcore sistemi şematik olarak şekil 6.7 'de gösterilmiştir.



Şekil 6.7. Tempcore sisteminin ana parçaları.

6.4.1. SOĞUTMA DÜZENEKLERİ

Su verilmiş olan çubuk soğutma düzenekleri içinden geçen su ile temas halindedir. Soğutma etkisi; soğutma suyuna bağlı olan parametreler kadar esas düzünün geometrik ve hidrolik karakteristiklerine bağlıdır.

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

Aksesuarlar;

1. Sıralanmış haldeki soğutma düzelerini taşıyan ve onları su ile besleyen dağıtım üniteleri. (Dağıtım üniteleri soğutma düzelerinin sayısına, tipine ve mevcut local şartlarına bağlıdır.)

2. Dağıtım ünitelerinin arasına yerleştirilmiş olan merkezleme (veya kılavuz) rolleri, bu roller iki fonksiyona sahiptir.
3. Çubuğun geçişi anında çubuğun soğutma düzelerinin ekseninde olmasını sağlamak ve çubuğun çevresini saran suyla yüzeyin homojen temasını temin etmek.
4. Çubuğa soğutma hattı tarafından uygulanan frenleme kuvvetini minimize etmektir. Bazı hallerde, merkezleme rolleri avare olabildiği gibi elektrik ve hidrolik motorlar veya su türbinleriyle tahrik edilebilirler.

Durdurucu üniteler: su verme hattının sonucundaki soğutma düzesinden sonar 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 istemenin üstüne çıkması ve çubuğun boyca mekanik mukavemet homojenliğinin bozulması söz konusudur. Mekanik kazıyıcı ve basınçlı hava üfleme ünitelerinin görevi ise; çubuk üstündeki tufal ve benzeri artıkları temizlemek ve çekirdeğin ısı dağılımının kabukta homojenliğini sağlamaktır.



Şekil 6.8. Tempcore soğutma sistemi nozul yerleşimi.

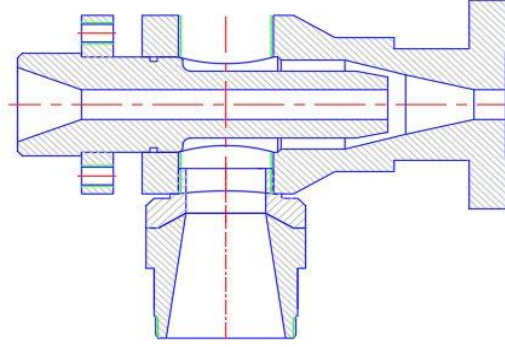
6.4.2. SOĞUTMA DÜZELERİ

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

1. Radyal tip düzeler
2. Teğetsel tip düzeler

'dir.

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



Şekil 6.9. Soğutma düzesi.

Radyal tip düzelerde enjektör: ortak merkezli iç içe iki borudan oluşur. 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 belirlenmiştir. Çubuk soğutma için ne karışık akışlı soğutma borusu de aynı yön akışlı boru, radyal tip düzede kullanılır. Radyal tip düzeler, sadece özel durumlarda(çok düşük su basınçlarında) kullanılmaktadır [20].

Teğetsel tip soğutma düzelerinde enjektörler Şekil 6.9' da şematik olarak görüldüğü gibi dizayn edilmişlerdir. Soğutma suyu, aynı koniklikteki iki yüzeyin aksel olarak birbirinden uzaklaşmasıyla oluşan (e) genişliğindeki bir boşluktan gönderilir. Koniklerin relatif aksel hareketi olarak verilir.

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

Prensip olarak; düzenin soğutma karakteristliğini belirten ana parametreler ile karşıt akışlı ve aynı yön soğutma borularının boylarıdır.

Bir tempcore su soğutma düzeneği aşağıdaki parametrelerle karakterize edilir.

Hidrolik parametreler:

1. Soğutma düzesinin girişinde basıncın fonksiyonu olarak, her birim uzunluktaki su debisi
2. Hidrolik verim (soğutmada kullanılan enjekte edilmiş suyun etkinliği) olarak tanımlanır.

1. Geometrik parametreler:

Bu parametre bilhassa “doldurma sabitesi” denilen karakteristik önemlidir.

Doldurma sabiti

Olarak tanımlanır.

2. Mekanik parametreler

- Çubuğu 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 yenilemek için tempcore ünitesi çıkışına sürücü role konur. Böylece frenleme kuvveti yenilebilir.
- Soğutma düzeneyi 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.

Pratikte soğutma düzenekleri iki önemli parametre ile açıklanabilir:

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

6.5. SU TOPLAMA VE GERİ DÖNÜŞ SİSTEMİ

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

6.6. KONTROL SİSTEMLERİ

Kontrol sistemlerinde;

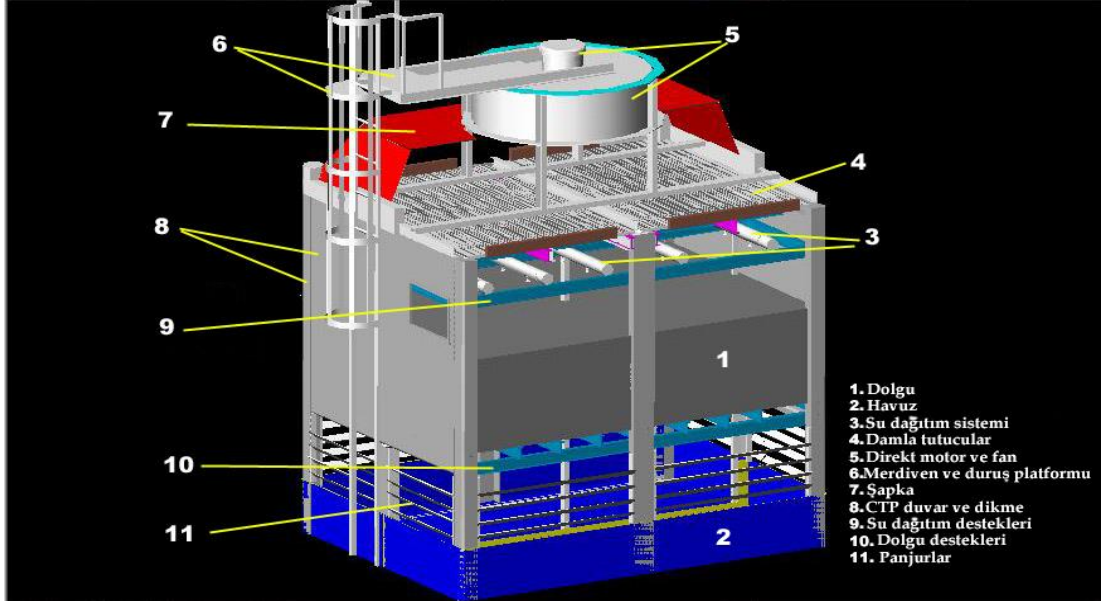
1. Pyrometreler: Çubuğun tempcore ünitesine giriş ve çıkış sıcaklıkları ile soğutma platformuna yakın bir yerde temperleme sıcaklığının tespitinde kullanılır.
2. Su Debisi ve Basınç Ölçme Düzenekleri: Tempcore ünitesine verilen suyun debi ve basıncını kontrol için kullanılır.
3. Açma-Kapama Vanaları: Regülasyon vanası su basıncını ayarlamak, açma-kapama vanaları ile çalışır haldeki su pompalarını devre dışı bırakmamak için kullanılır.

Bunların otomatik olması uygundur.

6.7. SOĞUTMA SUYU DONANIMLARI

1. Yüksek Basınç Pompaları: Bu pompalar tempcore ünitesi için gerekli debi ve basınçtaki soğutma suyunu üniteye göndermede kullanılırlar.
2. Alçak Basınç Pompaları: Tempcore ünitesinden ısınarak gelen havuzda dinlendirilmiş suyu soğutma kulelerine göndermede kullanılırlar.
3. Filtreler: Tempcore ünitesinden gelen tufal vb. Katı partikülleri temizlemede kullanılırlar.

6.8. SOĞUTMA KULELERİ



Şekil 6.10. Tempcore sistemi soğutma kulesi.

6.8.1. Dolgu

Bigudi Dolgu

PP (Polipropilen) Bigudi tipi dolgu; orta kirli sularda, ortamın kirli ve tozlu olduğu, askıdaki katı madenin fazla olduğu, suyun kireçlenmeye eğilimli olduğu sistemlerde tercih edilir. Polipropilen malzemeden imal edilen bu dolgu 90 °C sıcaklığa kadar dayanıklıdır. Kullanım ve temizlenmesi pratik bir dolgu çeşididir.

PVC Film Tipi Dolgu

Dolgular özel olarak çoklu film tabakasından oluşmuşlardır. Film tipi dolgu maksimum soğutma yüzeyi, minimum hava direnci sağlayacak şekilde vakumlanır. Film tipi dolgu, suyun içerisinde 20-100 ppm arasında askıda katı madde olması halinde ve suyun kireç oluşumuna meyil etmemesi durumunda tavsiye edilirler, kimyasal etkilere dayanıklıdır. PVC malzemeden imal edilen bu dolgu 52 °C sıcaklığa kadar dayanıklıdır.

PP Tabla Sıçratma Tipi Dolgu

PP (Polipropilen) Sıçratma tipi dolgular, araları rahat geçişli çitalardan oluşur. Sıçratma tipi dolgu yağlı sularda ortamın çok kirli ve tozlu olduğu, askıdaki katı maddenin 100 ppm'den fazla olduğu, suyun kireçlenmeye eğilimli olduğu tüm sistemlerde tercih edilir. Polipropilen malzemeden imal edilen bu dolgu 90 °C sıcaklığa kadar dayanıklıdır.

6.8.2.Havuz

Kule içinde, yukardan aşağıya dökülürken soğuyan suyun biriktiği havuzdur.

6.8.3.Su Dağıtım Sistemi

Soğutma kulelerimiz karşı akışlı olup, boru içinde cebri akışlı olarak dizayn edilir. Su dağıtım sistemi PVC malzemedenidir. Özel uygulamalar için PP (Polipropilen) boru veya su olukları kullanılabileceği gibi CTP (Camelyaf Takviyeli Polyester) malzemeden imal ettiğimiz su dağıtım olukları da kullanılabilir.

6.8.4.Damla Tutucular

Damla tutucular PVC malzemeden imal edilmektedir. Damla tutucular; dolgudan çekilen tanecik haldeki (pulverize) suyun dışarı kaçmasını önleyen, su kaybını minimum seviyeye indiren elemanlardır.

6.8.5.Direkt Motor Ve Fan

Direkt motor ile fan arasında bir tahrik mili olmayan modeldir. Motor veya redüktörlü motor, doğrudan fan göbeğine bağlanır ve fanın dönmesini sağlar. Bundan başka tahrik milli model de bulunmaktadır. Fan, kulede havanın aşağı kısımdan girip, yukarıdan çıkmasını sağlayan sirkülasyonu sağlar.

6.8.6.CTP Duvar Ve Dikme

Kulenin gerekli taşıyıcı ve rijit yapısını oluşturan ana konstrüksiyonudur.

6.8.7.Su Dağıtım Destekleri

Kule içinde yağmurlamayı ve suyun homojen şekilde dolgu üzerine akmasını sağlayan Su Dağıtım Sistemi'nin üstüne oturduğu desteklerdir.

6.8.8.Dolgu Destekleri

Dolgu malzemesinin üstüne oturduğu desteklerdir.

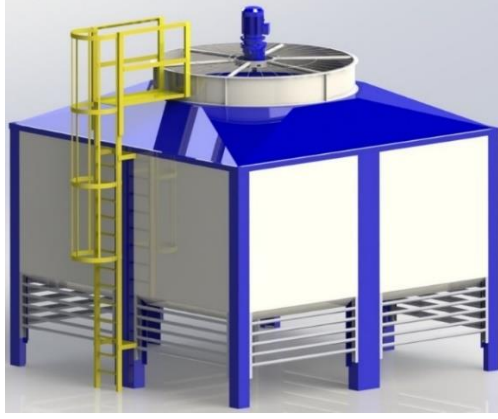
6.8.9.Panjurlar

Kule içine giren havaya yön verir. Havuzdan sıçrayabilecek suyu da önler.

6.9. SU SOĞUTMA KULESİ MALZEME BİLGİLERİ

Kule Gövdesi:

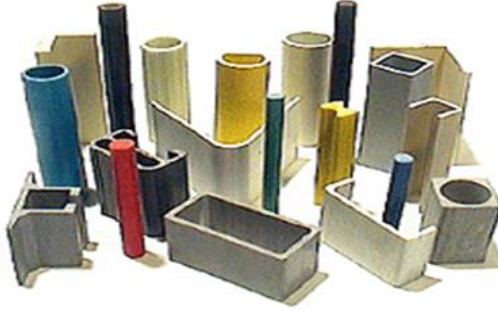
HMP model paket kuleler optimum soğutma sağlayacak şekilde dizayn edilmiştir. Ana yapı, CTP (Camelyaf Takviyeli Polyester) levhalardan imal edilmiştir. Kulenin gövde panelleri CTP levhalardan imal edilmiştir. Kule iç ve dış yüzeyi Polyester esaslı pigmentler ile renklendirilmiş her türlü hava şartlarına ve UV ışınlarına dayanıklı, solmaz, bozulmaz, estetik ve boya gerektirmeyen Jel-Coat malzemedir.



Şekil 6.11. Soğutma kule gövdesi.

İç Destekler:

Soğutma kulelerimizde eliminatör destekleri, su dağıtım destekleri ve dolgu destekleri olarak; paslanmaz, çürümez, CTP profillerdir. Fiziksel bir darbe olmaksızın tüm ısı ve kimyasal koşullarda çok uzun süreli kullanım ömrü vardır. Bu profillerin taşıyıcı mukavemeti de çok yüksektir.



Şekil 6.12. İç destekler.

Dolgu Sistemi:

PP Sıçratma tipi dolgular, araları rahat geçişli çیتالardan oluşur. Sıçratma tipi dolgu yağlı sularda ortamın çok kirli ve tozlu olduğu, askıdaki katı maddenin 100 ppm'den fazla olduğu, suyun kireçlenmeye eğilimli olduğu tüm sistemlerde tercih edilir. Polipropilen malzemeden imal edilen bu dolgu 90 °C sıcaklığa kadar dayanıklıdır.



Şekil 6.13. Soğutma kulesi dolgu sistemi.

Damla Tutucu (Eliminatör) Sistemi:

Soğutma kulelerinde fanın çektiği hava ile birlikte sürüklenen su damlacıklarının kule dışına çıkmasını engelleyerek olası su kayıplarının önüne geçebilmek amacı ile su dağıtım sisteminin hemen üstünde oluşturulacak damla tutucu sistemi, özel PVC profillerin P.P. ara mesafe parçaları ve Paslanmaz saplamalar ile bir araya getirilmesi ile oluşturulan kasetlerden meydana gelmektedir. Özel dizaynı sebebi ile hava ile birlikte sürüklenen su damlacıkları profil yüzeyine takılarak tekrar kule içine süzülmemektedir.



Şekil 6.14. Soğutma kulesi damla tutucu.

Su Dağıtım Sistemi:

Yağlı ve kirli ortamlarda su dağıtım sisteminin tıkanmasını önlemek ve kolay temizlenmesini sağlamak amacıyla CTP'den oluklarda oluşan su dağıtım sistemi tercih edilmektedir. Soğutma kulesi uygulamalarında suyun homojen ve istenildiği şekilde pulverize dağılımını sağlamak amacı ile belli mesafeler ile özel dizayn PP fıskiye monte edilmektedir.



Şekil 6.15. Soğutma kulesi dağıtım sistemi.

BÖLÜM 7

TEMPCORE İŞLEMİNİN TEMEL METALURJİK PRENSİPLERİ

7.1. TEMPERİT PROSESİNİN İÇERDİĞİ TEMEL METALURJİK KAVRAMLAR

7.1.1. Sertlik

Sertlik çeliğin, plastik defarmosyana gösterdiği dirençtir. Çeliğin sertliği arttıkça mukavemetide artar. Temperit prosesinin temeli, çelik yüzeyinin su verme yöntemiyle sertleşmesi prensibine dayanır. Hızlandırılmış su verme ünitesine girmeden önce, finiş pasosunu terkeden yaklaşık 1000°C deki çeliğin mikroyapısı %100 östenitten oluşmaktadır. Su verme sırasında, çubuğun Martensit başlangıç sıcaklığı altına düşen yüzey kısmı östenit fazından martensit fazına dönüşür. Yavaş soğuyan merkez ise östenit fazından ferritik-perlitik bir mikroyapıya dönüşür. Martensit çeliğin en sert fazıdır. Çeliğin sertleşmesi istendiğinde:

1. Martensitin sertlik değerinin mümkün olduğunca yüksek olması istenir. Mikroyapının, %100 martensitten oluştuğu varsayılırsa, su verme sonrasında oluşan mikroyapının sertliği sadece çeliğin %C içeriğine bağlıdır.
2. Mikroyapıda martensit yüzdesinin yüksek olması gereklidir. Östenit > Martensit dönüşümün 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, Temperit prosesinin yorumlanması ve uygulanması konularında da oldukça sık olarak başvurulacaktır.

7.1.2. Sürekli Soğuma Süresince Dönüşüm Eğrilerinin Yorumlanması (CCT eğrileri)

Su verme sırasında, martensit oluşabilmesi için, soğuma eğrisinin CCT diyagramının burun bölgesini kesmeden Ms (martensit dönüşümü başlama sıcaklığı) sıcaklığının altına inmesi gereklidir. Martensit dönüşümünün tamamlanabilmesi için ise soğuma eğrisinin Mf (martensit dönüşümü bitiş sıcaklığı) sıcaklığına inmesi gereklidir [20].

Temperit prosesinde su verme sırasında, dairesel kesitli çubukta, şiddet soğutmaya maruz kalan yüzey bölgesi hızla soğumakta ve martensite dönüşmektedir, ancak merkez daha yavaş soğuduğundan ferritik-perlitik mikroyapıya sahip olacaktır.

Su verilen çubuğun, yüzeyinden belirli bir derinliğe kadar martensitik yapı oluşmaktadır. Oluşan martensitin kalınlığı, su verme şiddeti, süresi ve kimyasal kompozisyona bağlıdır [20].

Belirli bir kalınlıkta olan martensitic bölgenin sertliği, yüzeyden yani minimum sıcaklığa erişilen noktadan, bölgenin bitiş noktasına yaklaştıkça azalır. Martensitic bölgenin son bulunduğu bölge soğuma sırasında Ms sıcaklığına ulaşılmayan derinliktedir. Soğuma sırasında, yüzeyden martensitic bölge bitiş noktasına doğru gidildikçe sıcaklık yükselmektedir. Mf sıcaklığına ulaşan yüzey bölgesinde %100 martensit oluşmaktadır. Ancak, derinlere inildikçe, östenit > martensit dönüşümü, Mf sıcaklığına ulaşamamasından dolayı tamamlanamamaktadır. Bunun sonucunda, kabuki bölgesinde yüzeyden içeriye doğru martensit yüzdesi düşer, beyrit ise artar. Bu ise sertliğin düşmesi anlamına gelir.

Çelikte karbon ve manganın artması Ms ve Mf sıcaklığını düşürür. Bunun sonucunda martensitic bölgenin sertliği düşer. Ancak karbon oranındaki artış ise oluşan martensitin sertliğini arttırmaktadır. Ms sıcaklığı Pratik olarak aşağıdaki formülle hesaplanabilir.

7.1.3. Sertleşebilirlik

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

Çeliğin sertleşebilirliğini belirleyen iki etmen vardır. Bunlar:

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, 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 %C dir. Karbon arttıkça belirli oranda sertleşebilirlikte artar; Fakat bunun yanısıra tokluk düşer. Sertleşebilirliği asıl etkileyen çeliğin bileşimindeki alaşım elementleridir. Alaşım elementlerinin en önemli kullanım amacı sertleşebilirliği artırmaktır. Gerek karbon gerekse alaşımli çeliklerde kullanılan alaşım elementleri eşisıl dönüşüm eğrilerini sıcaklık ekseninden uzaklaştırırlar. Bunun sonucunda daha yavaş soğuma hızlarında martensit dönüşümü oluşabilir ve çelik daha kolay sertleştirilebilir. Bileşimleri ve buna bağlı olarak türleri farklı çeliklerin, sertleşebilirlik özellikleri de farklı olacaktır. Ekonomik olarak sertleşebilirliği arttıran elementleri Mn, Cr ve Mo dir.

Östenit Tane Büyüklüğü:

Östenit tane büyüklüğü arttıkça, sertleşebilirlik artar. Haddeme öncesinde, kütükler aşırı tavlansa, tane irileşme oluşacaktır. Bu ise su verme sırasında sertleşebilirliği azaltacak ve martensit bölgenin daha ine 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 martensitin sertliğinin sertliğini düşürür. Tav sıcaklığının yüksek olması, aynı zamanda soğuma sırasında oluşan sıcaklık profilini de değiştirir ve oluşan martensit bölge daha ince olur. Tav sıcaklığının yüksek olmasının bir de javantajı da, su verme sonrasında temperleme sıcaklığının daha yüksek olması nedeniyle martensit sertliğinin düşmesi ve mukavemetin buna bağlı olarak azalmasıdır [22].

7.1.4. Kaynaklanabilirlik

Kaynaklanabilirlik özelliği göreceli bir kavramdır. Her çelik uygun kaynaklama yöntemi ve elektrodu kullanıldığında ve gerekli önlemler alındığında birbirine veya başka bir çeliğe kaynaklanabilir. Ancak bir çelik kaynaklanabilir denildiğinde, o çeliğin kaynağının, özel yöntem ve önlemler gerektirmeksizin ve kaynakçılık hakkında çok az deneyimi olan kişilere dahi güvenle ve promlemsiz olarak yapılabileceği anlaşılır.

Demir içindeki C oranının artması, mukavemeti olumlu etkilerken, kaynaklanabilirlik özelliğini ters yönde etkilemekte ve malzeme kırılganlaşmaktadır. Bu nedenle, birçok inşaat demiri standardında, karbon oranının üst sınırı verilmiştir. Özel yöntemlerin kullanılmayacağı durumlarda kaynaklanabilirlik için karbon oranının % 25'dan az olması (veya karbon eşdeğerinin C_{eq} % 45'den küçük olması) aranmaktadır. Kaynaklanabilirliğin önemi özellikle prefabrik yapıların imalatında çok önemlidir. Bu tür imalatlarda, hız ve ölçüsel hassasiyet nedeniyle kaynakla birleştirme kullanılmaktadır. Yine yüksek karbon oranı, malzemedeki gevrekliğe neden olacağından, malzeme imalat aşamasında kıvrılma ve bükülmelerde, çatlayacak ve /veya kırılacaktır. Doğal olarak bu, istenmeyen bir durumdur. İnşaat çeliği kullanımında, malzemenin katlanabilmesi ve bükülebilmesi, vazgeçilemeyecek bir özelliktir [26].

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

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

Temperit prosesi kaynaklanabilir nervürlü beton çeliği üretiminde kullanılan en yaygın yöntemdir. Modern beton çeliği standartlarında, karbon genellikle max %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” max. %0.50 olarak sınırlandırılmıştır.

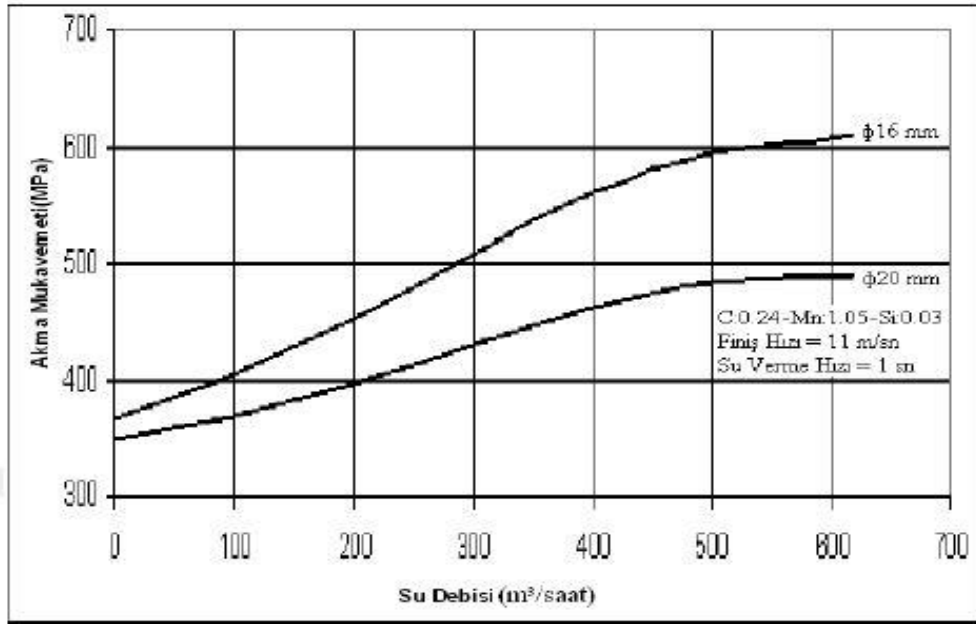
Dikkat edilirse, karbon eşdeğerinin özellikle, sertleşebilirliği arttıran elementlerin ve carbonun, kaynaklanabilirlik üzerindeki etki seviyeleri dikkate alınarak hazırlanan bir formülasyon olduğu görülecektir.

7.2. TEMPCORE PROSESİNDE SÜREKLİ SOĞUMA SÜRESİNCE DÖNÜŞÜM (CCT) DİYAGRAMLARININ YORUMLANMASI

Tempcore ısıtma işlemi en önemli hususu çubuğun soğutulması anında çubuk içinde oluşan dönüşümlerin bilinmesidir. Bunun için işlemde oluşabilecek dönüşümler,

çeliğin kompozisyonuna bağlı olarak çizilmiş (CCT) sürekli soğuma dönüşüm diyagramlarından faydalanarak belirlenebilir [20].

Şekil 7.1’de soğutma ızgaraları üzerindeki soğumada ısı transfer katsayısı, ışınım ve tabii hava yansımasının yanı sıra sadece çubuğun yüzey ısısına değil aynı zamanda çubuk çapına ve soğutma ızgaraları çentiklerinin arasındaki mesafeye bağlıdır [27].



Şekil 7.1. Bir kontrollü sulu soğutma hattında su debisinin soğutma gücü üzerine etkileri [28].

7.3. MARTENSİTİK DÖNÜŞÜM VE TEMPCORE ÇUBUĞUN MARTENSİTİN HACİMSEL YÜZDESİ

Martensit önceleri sadece çeliklerin ani soğutulması neticesinde meydana gelen faza verilen ad olarak kullanılıyordu. Bugün martensitik dönüşümlerin demir olmayan metallerde de oluştuğu bilinmektedir. Çeliklerde martensit hacim merkezli tetragonal kristal yapıya sahip yarı dengeli bir fazdır. HMK (Hacim Merkezli Kübik) C ile aşırı doymuş hali olarak da kabul edilir [20].

Martensitik reaksiyonlarda da nükleasyon ve büyüme söz konusudur. Nükleasyon için aşılması gereken enerji bariyeri yüksektir. Bu nedenle çeliği, martensitik reaksiyon için dengeli dönüşüm sıcaklığının (M_s 'in) çok çok altına ani olarak soğutmak gerekir.

Çeliklerdeki martensitik dönüşümünde bölgesindeki bir çelik YMK (Yüzey Merkezli Kübik) kristal yapısındadır ve çelikteki karbonun tümünü katı eriyikte çözünmüş olarak bulundurur. Ani olarak M_s sıcaklığının altına soğutulduğunda çözünmüş C kristal kafesini terkedip karbür yapamadığı için kristal kafesindeki yerinde hapsolup kalır [20].

Bu sıcaklıkta HMK 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 martensit karbonca aşırı doymuş fazı olarak görülebilir. Martensit sertliğin sebeptir [20].

1. Küçük tane boyutu,
2. Çok miktarda katı eriyikte çözünmüş C,
3. İç gerilmeler,
4. Kristal yapıda kusurların çokluğu,

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

Martensitik dönüşümün başlama sıcaklığı (M_s) çeliğin kimyasal kompozisyonunun bir fonksiyonudur. Aşağıdaki bağıntıyla verilmektedir [20]:

$$M_s = 351 (\%C) - 39 (\%Mn) + 500 \quad (7.1)$$

Burada:

M_s : Martensit dönüşüm başlangıç sıcaklığı ($^{\circ}C$)

$\%C$: Karbonun yüzde miktarı.

$\%Mn$: Manganın yüzde miktarı.

7.4. TEMPERLEME

Su verilmiş bir çelikte elde edilen martensit sert ve kırılgan olduğundan 650°C'nin altındaki sıcaklıklarda çelik belirli süre bekletilerek 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 tarafından verilmiştir.)

$$P = T(C + \log t) 10^3 \quad [20] \quad (7.2)$$

Burada;

P: Ele alınan özellik (sertlik)

T: Sıcaklık (K)

t: Zaman (saat)

C: Malzemeye bağlı bir sabit

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 kırılganlaştığı görülmektedir. 350°-550°C arasında görülen bu gevrekleşme durumu 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 düzeltilebilir 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 gevreğini azaltır [20].

Tempcore yönteminde temperleme sıcaklığının; kendi kendini temperleme sürecinde çubuğun yüzeyinin kazandığı maksimum sıcaklık olduğunu daha önce belirtilmiştir.

Bu parametre iki nedenden dolayı önemlidir:

1. Martensitik yüzey kabuğunun minimum temperleme sıcaklığına tekabül eder.
2. Direkt olarak bir radyasyon pyrometresi ile ölçülür ve prosesin kontrolü için kullanılır.

BÖLÜM 8

TEPCORE İŞLEMİNE TABİ TUTULMUŞ NERVÜRLÜ İNŞAAT ÇELİKLERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Tempcore işlemine tabi tutulmuş bir nervürlü inşaat çeliği akma mukavemetinin teorik olarak hesaplanmasında şöyle bir yöntem izlenebilir. Çubuğun enine kesitinin ikiye ayrıldığı ve silindirik bir kabuk ile çekirdekten oluştuğu düşünülür. Bu düşünce içinde kabuğun akma mukavemeti (martensitik kısmın akma mukavemeti) σ_{ak} , çekirdeğin akma mukavemeti $\sigma_{aç}$ diye adlandırılmıştır [20].

σ_{ak} değerinin hesaplanmasında aşağıdaki bağıntı pratik kullanımlar için yeterli doğrulukta sonuçlar vermiştir. Martensit kabuğun akma gerilimi [20]:

$$\sigma_{ak} = -1,75Tr + 1781,5 \quad (8.1)$$

Burada:

Tr: Temperleme sıcaklığı (°C)

σ_{ak} : Martensit kabuğunun akma mukavemeti (MPa)'dır.

Temperlenmiş martensitin özellikleri; yalnızca kompozisyonuna ve temperleme sıcaklığına bağlıdır. Teorik olarak verilen bir temperleme sıcaklığı için alaşımsız çeliklerde martensitin akma mukavemeti mangan miktarına bağlı olup, karbon miktarının karekökünün lineer bir fonksiyonudur. Pratik uygulamalarda, normal kompozisyon aralığında C ve Mn'in etkisi gözardı edilebilir [20]. $\sigma_{aç}$ (çekirdeğin akma mukavemetinin) hesaplanmasında ise $\sigma_{aç}$ ($Tç$) çekirdeğin sıcaklığı ve kompozisyon arasındaki bağıntıyı açıklamak için şöyle deneysel çalışma yapılmıştır. Değişik ($Tç$) sıcaklıklarındaki çubuklar kurşun banyosu içinde östenitleme ve su verme işlemine tabi tutulmuş ve yapıları regregasyon analizi aşağıdaki formülü ortaya çıkarmıştır [20]:

$$\sigma_{aç} = -0,406Tç + 357(\%C) + 38,7(\%Mn) + 495 \quad (8.2)$$

Burada:

$Tç$: çekirdeğin sıcaklığı (Tr'e eşit alınabilir- °C)

%C: Karbon miktarı(%)

%Mn: Mangan miktarı(%)

$\sigma_{aç}$: Çekirdeğin akma mukavemeti (MPa)'dır.

Buradan çubuğun (sonuç) nihai akma mukavemetine karar verilirken σ_{ak} ile $\sigma_{aç}$ kombinasyonu için bir yol aranmıştır. Bunun içinde 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 (martensit kabuki) σ_{ak} akma mukavemetine sahiptir ve Pm yüzde hacmini işgal etmektedir. Çekirdek ise $\sigma_{aç}$ akma mukavemetine sahip olup yüzde hacmini işgal etmektedir. Bu şartlarda çubuğun sonuç akma mukavemeti [20],

$$\sigma_a = Pm \cdot \sigma_{ak} + (1-Pm) \cdot \sigma_{aç} \quad (8.3)$$

olacaktır.

Burada:

σ_a : Çubuğun toplam akma mukavemeti (MPa)

Pm : Martensit kabuğun hacim yüzdesi (%)

σ_{ak} : Martensit kabuğun akma mukavemeti (MPa)

(1-Pm) : Çekirdeğin hacim yüzdesi(%)

$\sigma_{aç}$: Çekirdeğin akma mukavemeti(MPa)

dır.

Sonuç olarak Tempcore yöntemi aşağıdaki bağıntılarla anlatılabilir [19]:

$$Pm = f(t,d,To,Ms) \quad (8.5)$$

$$Tr = f(t,d,To) \quad (8.6)$$

$$Ms = -351(\%C) - 39(\%Mn) + 500 \quad (8.7)$$

$$\sigma_{aç} = -0,406Tr + 357(\%C) + 38,7(\%Mn) + 495 \quad (8.8)$$

$$\sigma_{ak} = -1,75Tr + 1781,5 \quad (8.9)$$

$$\sigma_a = Pm(\sigma_{ak} - \sigma_{aç}) + \sigma_{aç} \quad (8.10)$$

8.1. PROSES PARAMETRELERİNİN ETKİSİ

Proses parametrelerinin etkisi daha önceki kısımlar içinde anlatılmıştır. Burada sadece bazı pratiksel bilgiler anlatılmıştır:

1. Su verme zamanı (t_s) prosesin en önemli parametresidir. Akma mukavemeti üzerindeki ikili etkisinden dolayıdır ki, t_s 'in artması temperleme sıcaklığında düşüşe, martensitin hacim yüzdesinin artmasına neden olur.
2. Akma mukavemeti ve temperleme sıcaklığı arasındaki bağıntının öneminden daha önce bahsedilmişti. İşletme sonuçları da böyle bir bağıntının varlığını kanıtlamıştır. Verilen bir çubuk çapı ve çelik kompozisyonu için (Y-Tr) bağıntısı Tr'nin belirli bir aralığında doğrusal bir çizgi takip eder.
3. Su verme sürecinin etkinliğine ilave olarak da, Çekme/Akma oranı artan su verme zamanı (diğer bütün şartlar aynı kalmak kaydıyla) ile akma mukavemeti, çekme mukavemetinden daha hızlıca artması nedeniyle azalır.
4. Prosesin en önemli karakteristiği mekanik özelliklerin malzemenin başından sonuna tutarlı olmasıdır. Çünkü özelliklerin artmaması belirli bir standarta göre üretilmiş bir cinsi tarifleyecektir. Aksi takdirde ortalama dışına taşan değerler standart tarafından kabul edilmeyecektir.
5. Verilen bir dağılımın ortalamasından standart sapmaya göre tariflenmiş mekanik özelliklerin tutarlılığına dört ana faktör etki eder:
 - Kimyasal kompozisyon değişimleri,
 - Su verme süresince çubuk hızının değişimleri,
 - Su debisi veya su sıcaklığının değişimleri
 - Finiş haddeden çıkış sıcaklığının değişimleri.

Bu ana faktörlerin etkisini sırasıyla bir kez daha açıklayacak olursak:

1. Akma mukavemetinin değişimi karbon ve mangan değişim aralığına bağlıdır. Karbon miktarındaki bir artış akma miktarını yükseltir. Fakat uzamada düşüşe neden olur. Mn miktarındaki artış ise çekme mukavemetini yukarıya doğru öteleyer.
2. Su verme süresince çubuğun hızının değişimleri, sabit su verme boyunda su verme süresini (t_s 'i) değiştirecektir. Bu değişim çubuğun boyca mekanik özelliklerinin değişmesine neden olacaktır. Eğer su verme hattı finiş uçar

makas öncesine yerleştirilmiş ve hadde sistemi konvansiyonel (yani finiş hadde AC motor tahrikli sabit hızlı) ise bu takdirde hız değişimi söz konusu olmayacaktır. Fakat hadde sistemi finiş haddenin hız değişimine olanak veriyor (DC motor tahrikli ve loop düzeni var) ise bu takdirde de finiş hızını değiştirmeksizin geri hadde motorlarında kaskat kontrol düzeni kurulmuş olması en uygun seçim olur.

Bunun yanı sıra su verme hattı finiş uçar makastan sonra yerleştirilmiş ise su verme zamanının değişimi ancak şu iki nedenle oluşabilir:

- Suyun frenleme kuvveti ile çubuğun yavaşlaması
- Haddelme hızından daha yüksek çevresel bir hıza ayarlanmış (makas sonrası) roleli yolun çubuğu hızlandırması.

Yukarıda açıklamalara ilave olarak Tempcore ünitesi finiş uçar makas öncesine yerleştirilmiş hallerde çubuk son hadde kurtulduğu anda hız değişimi ortadan kaldırmak (suyun frenlemesi, roleli yolların hızlandırılması gibi) için uçar makas ile su verme ünitesi arasında sürücü role konması uygun olur. Sürücü role çift fonksiyona sahip olması (a. malzeme boyunca sürekli baskıda, b. sadece son boyda baskıda) işletme kolaylığı getirecektir.

3. Soğutma suyunun sıcaklık değişimi olduğa yavaşdır. Fakat şu unutulmamalıdır. Su sıcaklığının düşük olması suyun soğutma etkinliğini artırır. Tecrübeler su sıcaklığının -5°C düşük olması halinde %10 daha az suyla aynı özelliklerin elde edilebileceğini göstermiştir. Soğutma suyu sıcaklığındaki herhangi bir artış durumunda operatör su debisini artırarak işlemin devamlılığını sağlayalayabilir.

Bunların yanı sıra su debisindeki herhangi bir değişim operator tarafından gözlenerek önlenabilir. Bu tür olaya örnek olarak nozulların tıkanmasını ve neticede debi azalmasını verebiliriz.

4. Finiş haddeden çıkış sıcaklığındaki değişimler; mekaniksel özellikler için oldukça önemlidir. Tav fırının kütük sıcaklığının $\pm 50^{\circ}\text{C}$ 'den daha büyük bir sıcaklık aralığına müsaade etmeyecek şekilde ayarlanması gerekir.

Çizelge 8.1. Tempcore üretiminde kullanılan soğutma suyu ve ortam sıcaklığının su debisine etkisi.

Soğutma Suyu Sıcaklığı(°C)	Ortam Sıcaklığı (°C)	Debi (m ³ /s)
15°C	8°C	180 m ³ /s
20°C	12°C	200 m ³ /s
25°C	18°C	230 m ³ /s
30°C	25°C	275 m ³ /s
35°C	38°C	320 m ³ /s

Çizelge 8.2. Tempcore prosesinden çıkan numunenin sıcaklık değişiminin akma mukavemetine etkisi.

Numune Çapı mm	Tav Fırını Çıkış Sıcaklığı °C	Tempcore Giriş Sıcaklığı °C	Tempcore Çıkış Sıcaklığı °C	Soğutma Platformu Giriş Sıcaklığı °C	Soğutma Platformu Sıcaklığı °C	Akma Mukavemeti (MPa)
Ø8	1225	1095	580	680	880	478
Ø8	1230	1100	650	740	920	425
Ø8	1240	1110	520	600	710	520
Ø10	1230	1090	600	690	900	470
Ø10	1235	1100	670	760	930	435
Ø10	1240	1115	500	595	730	540

Tempcore sisteminin diğer bir faydasıda finiş haddeyi terkeden çubukta tufal miktarını azaltmasıdır. Bu, finiş haddeyi terkeden çubuğun sıcaklığının ani düşmesi neticesinde tufal oluşumuna imkan vermemesiyle gerçekleşmektedir. Bunun sayesinde roleli yollar ve platform-paketleme sistemlerinde tufal birikimi uzun sürede olmakta ve bakım kolaylığı sağlamaktadır.

8.2. MİKROYAPILAR

8.2.1. Makrografi

Su verilmiş çubuklar için sadece iki bölge ayırt edilmektedir; dışta temperlenmiş martensit kabuki ve ferrit-perlitten oluşan çekirdek. Tempcore çubuklarının dikey keistinin normal görünümü “üç kabuklu yapı”dır. Üç kabuki, yüzeyden merkeze doğru temperlenmiş martensit, beynit ve ferrit-perlitten oluşur. Diğer tüm parametreler sabit olmak kaydıyla, martensit ve beynit kabukların kalınlığı artan su verme süresiyle artar. Ekstrem hallerde, normal olarak pratikte tavsiye edilmeyen beynit kabuk merkezde bile oluşabilir.

8.2.2. Mikrosertlik

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

1. Çekirdek sertliği dönüşüm sıcaklığındaki bir artış sonucunda azalır.
2. Yüzey sertliği martensitin temperleme sıcaklığındaki bir artış sonucunda azalır.

Bazı durumlarda sertlik profile çubuğun yüzeyine yakın yavaş bir düşüş gösterir. Bu tav fırınının yüzey dekarbürizasyona bağlanır.

8.2.3. Mikroyapı

Tempcore çubuklarında su verme süresinin artışı ve temperleme sıcaklığı düşüşüne bağlı olarak çubukların dikey kesitinde mikroyapı değişimi incelenebilir. İnce bir ara bölge, beynitik bir morfolojiye sahip makrografi olarak görünür. Optik ve elektronik mikrografiler şunu gösterir; Beynitik yapı mikrografilerde görülen ara bölgenin epeyce ötesinde görülür. Çekirdek bir önceki paragrafta anlatılandan daha küçük olarak dağılmış ferrit taneleri ve perlit kolonileri ile ferrit-perlitten oluşmaktır. Temperleme sıcaklığının düşüklüğü, karbitlerin azalan çapı ve ferritin daha fazla karakteristik asiküler formu açıkça görülür. Ara bölge genişler ve martensit ile beynitin bir karışımından oluşur. Çekirdek ferrit ve karbitler ihtiva eder. Martensit, yüzey

kabuğunun altında oldukça büyüktür ve düşük sıcaklıkta temperlenmiştir. Çekirdek beynitiktir [26].

8.3. PROSESİN HAZIRLANMASI VE KONTROLÜ

Tempcore işleminin pratik kullanımı için dört ana konu bu paragraph içinde anlatılacaktır:

1. Kimyasal kompozisyon seçimi,
2. Tüm çaplar ve cinsler için su verme hattının düzenek tespiti,
3. Kontrol prosedürünü ve donanımını içine alan prosesin on-line kontrolü,
4. Prosesin metalurjik kontrolü.

8.4. KİMYASAL KOMPOZİSYON SEÇİMİ

Tempcore prosesinin birincil avantajı daha düşük karbon ve alaşım elementleri kullanımı ile alaşımlama maliyetlerinin düşürülmesidir. Tempcore prosesi kullanılarak yapılan üretimde; Sıcak çekilen kalitelere oranla, karbon ve mangan maliyetlerindeki tasarruftan dolayı yaklaşık 2 USD/ton, kaynaklanabilen mikroalaşımli çeliklere oranla da oldukça pahalı olan V,Nb gibi elementlerin kullanılmıyor olmasından dolayı yaklaşık 25 USD/ton gibi bir maliyet avantajı sözkonusudur [20].

Tempcore prosesi kullanılarak pek çok ülke ve uluslararası standartta tanımlanan çeşitli nervürlü batonarme çeliği kalitelerinin üretimi mümkündür. Günümüzde, Avrupa Birliği ülkelerinde olduğu gibi farklı ulusal standartların tek bir çatı altında toplanarak uluslararası ticarete engel teşkil eden teknik bariyerlerin kaldırılmasına çalışılmaktadır. Ancak, sözkonusu uluslararası standartlar henüz pratik bir geçerlilik kazanmamıştır.

İşletmecilik bakımından üretim akışının mümkün olduğu kadar sadeleştirilmesi amaçlanmaktadır. Ancak değişik ülke standartlarına göre üretim hedeflendiğinde, her ülke standardının kendine özel bazı farklılıklarının olduğu görülmektedir. Bu farklılıklar aynı zamanda farklı kimyasal kompozisyon aralıklarını gerektirmektedir.

Tempcore prosesi ile yapılacak üretimlerde genel prensip olarak:

1. Aynı kalitenin çeşitli çapları için, tek bir kimyasal kompozisyon aralığı tanımlanmalıdır.
2. Üretim planlanan ülke standartlarında tanımlanan çeşitli kaliteler için kullanılacak kimyasal kompozisyon aralıkları, ortak payda altında toplanmalıdır.

Deney yapılan fabrikanın koşulları gözönüne alınarak, yarımamül kimyasal kompozisyon aralıkları 4 ana sınıf altında guruplandırılmıştır. Çelikhane üretiminin ve yarı mamul manipülasyonunun sadeleştirilmesi bakımından yapılan yarımamul guruplandırılması, Tempcore prosesi ile üretilen mamullerin kimyasal analiz aralıklarını garanti altına alacaktır. Ancak tanımlanan yarımamul analiz aralıkları kendi içinde dalgalanabileceğinden üretilen mamullerin mekanik özelliklerinin daha iyi kontrol edilmesi için Tempcore ile üretim sırasında haddelenen kütüğün analizinin bilinmesi gereklidir. Bu nedenle yarı mamullerin genel sınıflandırılmasının yanısıra her döküm ayrıca numaralandırılmalı ve üretimin her aşamasında döküm bu numara ile takip edilmelidir. Tempcore prosesi ile yapılan üretimde proses parametrelerinde zaman içerisinde olabilecek değişikliklerden dolayı mekanik değerler de değişiklik gösterecektir. Buna ek olarak haddelenen kütüklerin döküm numarası bazında ayrılmamış olması dolayısıyla kimyasal analizlerin kesin olarak bilinmemesi prosesin kontrolünü oldukça zorlaştıracak ve belirsiz kılacaktır. Tempcore ile üretim sırasında haddelenen dökümün analizi bilindiğinde proses parametrelerinde gerekli küçük ayarlamalar yapılarak üretim kalitesi daha istikrarlı bir düzeye getirilebilir.

Çelik fabrikalarında, toplam kalite uygulamaları bakımından üretimin döküm bazında sınıflandırılması ve tüm üretim akışı süresince izlenebilirliğin sağlanması ön şarttır. Böylece üretim ve kalitenin geliştirilebilmesi ve kusur ve aksaklıkların sebeplerinin kısa sürede tespit edilebilmesi olanaklıdır. Tempcore prosesinin daha verimli, etkili ve bilinçli kullanılabilmesi ancak üretimin döküm bazında izlenmesi ile mümkündür. Herhangi bir dökümden elde edilen kütükler ortak karakteristik özelliklere sahiptir. Üretim sonrasında mamul kalitesinde yapılan kontrol ve mekanik testler üretimde kullanılan dökümü tespit etmektedir. Söz konusu testlerin amaçlanan sonuçları vermemesi durumunda ilgili dökümden ilgili dökümden üretilen mamuller ikinci kalite veya standart dışı olarak ayrılacaktır. Dökümler arasında ayırım yapılmaması halinde döküm numaraları bilinmediği için birinci sınıf mamul de şüphe altında kalacaktır.

Çelikhanede, dökümlere çelik ocağında bir döküm numarası verilmelidir. Kontinü döküm sırasında bindirme dökümler arasında uygun bir ayırlandırma prosedürü izlenmelidir. Her bir döküme ait olan toplam kütük sayısı bilinmeli ve kütükler karıştırılmamalıdır. Her döküm ait olduğu yarı mamul sınıfına ait sıralar halinde istiflenmeli ve döküm numarası ilgili her sıra üzerine yazılmalıdır.

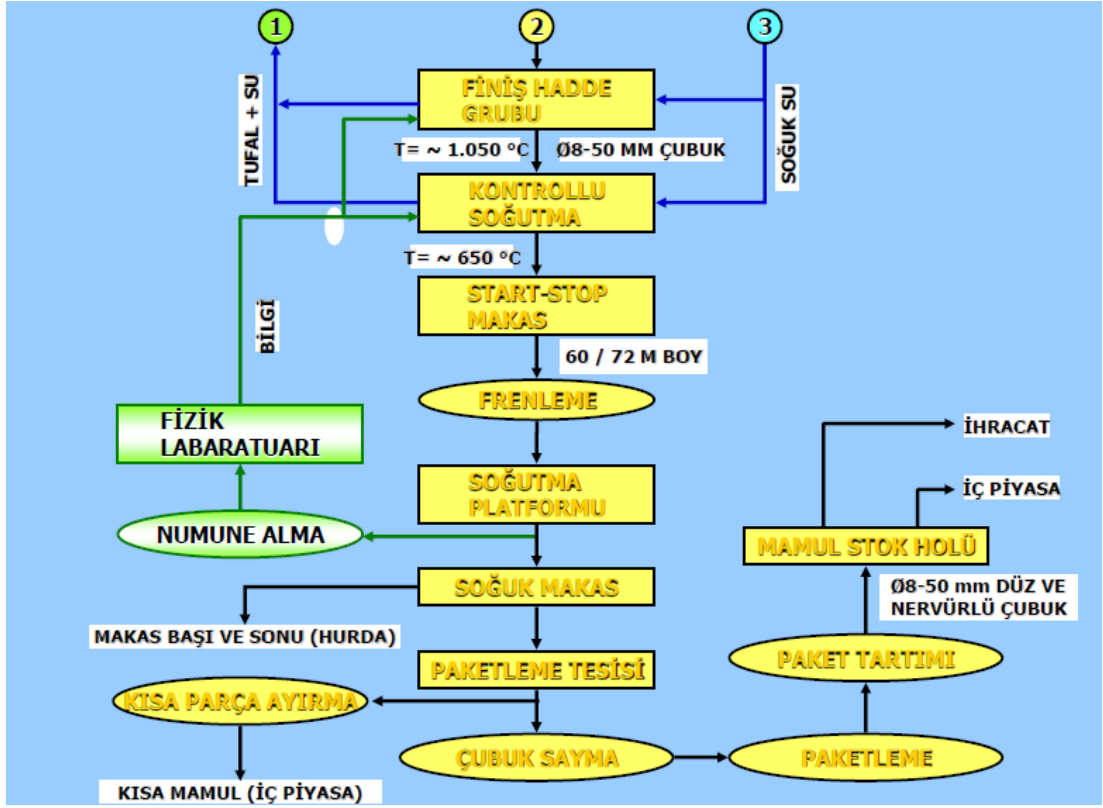
8.5. SU VERME HATTININ AYARLANMASI

Ayar işleminin amacı yeni bir çapta, haddelenmiş ilk çubukta istenen özelliklere ulaşmak için her çap ve haddelme hızı, su verme hattının boyu ve soğutma suyu debisi ve basıncı için karar vermektir. Genel olarak aşağıdaki sıranın takip edilerek kontrolü işletme kolaylığı yönünden en uygunudur:

1. Çalışılacak kimyasal kompozisyon aralığı
2. Amaçlanan akma mukavemetinin ortalama değeri
3. Finiş hadde hızı (sabit)
4. Finiş haddeden çıkış sıcaklığı aralığı
5. Çalışılacak nozulların iç çapları
6. Çalışılacak nozul adedi (veya su verme boyu(m))
7. Nozul açıklığı
8. Toplam su debisi(m^3/h)
9. Kollektördeki su basıncı(bar)
10. Su giriş sıcaklığı (max)($^{\circ}C$)
11. Temperleme sıcaklığı aralığı ($^{\circ}C$)

Yukarıda belirtilen sıra her çap değişiminde bir tablo halinde operatöre verilmelidir. Böylece ilk ayarda ve çalışma süresince operatörün bunu kontrol etmesi kolaylaşacaktır. Belirlenen kimyasal kompozisyon aralığının dışına taşan bir dökümün standart dışına çıkmasını önlemek su debi, basıncının yükseltilip azaltılması veya system uygun ise hadde finiş hızının değiştirilmesiyle mümkündür.

8.6. PROSESİN OTOMASYON İLE KONTROLÜ



Şekil 8.1. Betonarme çeliğin finish tezgâhından sonra paketleme sürecine kadar işlemler [29].

Bir Tempcore hattında ölçme düzenekleri hat boyunca sıralanırsa:

1. Finit haddeden çubuğun çıkış sıcaklığı (veya haddeleme anındaki malzeme sıcaklığı) ölçümü
2. Soğutma suyunda;
 - Debi (m³/h)
 - Basınç ölçümü (bar-kg/cm²)
 - Sıcaklık ölçümü (°C)
3. Tempcore ünitesinin çıkışta malzeme sıcaklığının ölçümü
4. Soğutma platformuna girişte temperleme sıcaklığını veya bu sıcaklığa yakın bir sıcaklığın çubuğun belirli bir kısmında sürekli ölçümü gereklidir.

Bunları yine aynı sıra içinde gerekliliği açıklarsak:

1. Finiş haddeden çubuğun çıkış sıcaklığını ölçümü çok önemli olmasa da tav fırınından kaynaklanabilecek veya haddeye girişte oluşabilecek problemlerden dolayı çalışma sıcaklığının dışına çıkan bir kütüğün tespiti önemlidir. Bu ölçümün bilgisayar tarafından kayda geçilmesi gerekmektedir.
2. Soğutma suyunda;
 - Debi ölçümü hatta verilen suyun debisindeki bir değişimi (pompalardan birinin devre dışı kalması gibi) malzemenin standart dışı olmasına neden olabileceği için sürekli kontrol edilmelidir.
 - Basınç ölçümü hatta oluşabilecek bir tıkanıklıkta (Tufalın, katı partiküllerin nozul açıklığını tıkaması gibi) yükselme gösterecek bu ölçüm neticesinde operator müdahalesi söz konusu olacaktır.
 - Su sıcaklık ölçümü hatta girişte su sıcaklığının sürekli ölçümü bir çubuklu termometre (PT-100) ile gerçekleştirilir. Bu sıcaklık üretimin sürekliliği halinde artış gösterir. Artışın bilhassa 35°C'nin üstüne çıkması halinde suyun soğutma etkinliği düşüş göstereceğinden aynı mekanik özellikleri korumak için su debisinin arttırılmasına ihtiyaç duyulur. Eğer suyun soğutulması için yeterli soğutma kulesi mevcut ise gerektiği kadar kule devreye alınmalıdır.
5. Tempcore ünitesinden çıkışta malzeme sıcaklığının ölçümü: bu ölçüm ilk alınan malzemenin platforma gelmeden önce istenilen mekanik özellikleri kazanıp kazanmadığını irdelemek için kullanılır. Tabi ki bu aynı çapta aynı şartlara sahip daha önceki çalışmalarla belirlenmiş olmalıdır.
6. Soğutma platformuna girişte temperleme sıcaklığının veya bu sıcaklığa yakın bir sıcaklığın çubuğun belirli bir kısmında ölçümü: Bir Tempcore hattında en önemli ölçme düzeneği çubukların temperleme sıcaklığını veya temperleme sıcaklığı yakınındaki bir sıcaklığı ölçen bir pyrometre'dir. Pyrometrenin yeri şu iki önemli gereksinimi karşılamak için iyi seçilmelidir.
 - Su verme hattını terk ettiği andaki çubuğun dikey kesitinin bu pyrometre önünden geçişi anındaki ara zaman mümkün olduğunca yüzeyin komple ısınmasına izin vermesi için kafi derecede uzun olmalıdır. Bu zaman çapla geniş bir aralık içinde değişir. Tabi ki değişen çaplarla bu pyrometrenin yerini değiştirmek pratik olmayıp uygun bir yer bulmak gerekir.

- Çubuk, soğutma platformunda durduktan sonra temperleme sıcaklığının ölçümü uygun değildir. Çünkü bu durumda pyrometre çubuğun tek bir noktasından ölçüm yapacaktır. Pyrometre'nin mümkün olduğunca çubuğun büyük bir bölümünde ölçüm yapması çubuk boyunca oluşabilecek farklı mekanik özelliklerin önceden haber verebilir.

Yukarıda tanımlanan prosesin otomasyon ile kontrolü için ölçme düzenekleri için işletme pratikliği yönünden iki noktadan takip edilmesi uygundur:

1. Ana kumanda operatörü tarafından
2. Kalite kontrol departmanı tarafından

Bunlara ilave olarak tüm bu ölçme düzeneklerine çalışma değerlerinin istenen aralığın min veya max'unun dışına çıkması halinde ihbar konması hata oranını minimize edecektir.

8.7. PROSESİN METALURJİK KONTROLÜ

Genel olarak tüm nervürlü çubuklarda uygulanan metalurjik kontrol değişmeksizin tempcore'lu çubuklara da uygulanmalıdır. Bunun ile birlikte Tempcore kullanan ve local imkânlarla ve kontrol olanaklarına sahip bazı haddehanelerde Aşağıda tariflenen işlemlerden bir veya birkaçı ilaveten metalurji (veya kalite kontrol) departmanları tarafından uygulanır.

1. Temperleme sıcaklığı (veya bu sıcaklığa yakın bir sıcaklık) metalurji (veya kalite kontrol) odasından takip edilir. Aynı zamanda bu işlemi takip eden kalite kontrol elemanı temperleme sıcaklığını denetler. Eğer kaydedilen değer üst veya alt limite yakın ise haddehanenin ana operatörünü uyarır. Prensipte olarak bu duruma gerek olmamalıdır. Çünkü normal şartlarda haddehanenin ana kumanda operatörü bu sıcaklığın takibinden sorumludur.
2. Normal şartlarda mukavemet örnekleri soğutma platform çıkışındaki soğuk makas önünden kesilmelidir. Fakat özel olarak yeni cins veya çapa geçildiğinde bu işlem başlangıçta uygulanmalıdır.

Su vermenin konfigurasyonundaki her değişim sonrası (örneğin nozul çapı 20 mm yerine 25 mm kullanılması halinde) bir örnek kesilerek martensit kabuğun belirlenmesi için parlatılmalı ve dağlanmalıdır.

Bu işlemdeki amaç, değişken kalınlıktaki bir martensit kabukla sonuçlanan soğutma nozullarının yanlış sıralanması veya yanlış operasyonunu ortaya çıkarmaktadır.

BÖLÜM 9

TEPCORE ÜRETİMİNDE KALİTE KONTROL

9.1. ÇELİK ÇUBUKLARIN ÇEKME MUKAVEMETİ DENEYİ

Beton çelik çubukların akma dayanımı, çekme mukavemeti ve kopma uzamasının belirlenmesi amacıyla çelik çubuklar TSE708/2010 “Metalik Malzemeler–Çekme Deneyi–Ortam Sıcaklığında Deney Metodu” standardında belirtilen esaslara uygun olarak aksel çekme gerilmesine maruz bırakılmıştır. Deney numunelerinin boyları (L_u), çekme aletinde numuneyi kavramak için bulunan iki çene boyuna (2x7 cm), çeneler arası mesafe ($L_c=10d$) eklenerek bütün çaplardaki numuneler için belirlenmiştir. Beton çelik çubukların akma mukavemetlerinin (R_e) hesaplanmasında; [20]

$$R_e = \frac{P_a}{f_o} \quad (9.1)$$

Çekme mukavemetinin (R_m) hesaplanmasında [20];

$$R_m = \frac{P_k}{f_o} \quad (9.2)$$

Kopma uzamasının hesaplanmasında ise [20];

$$A_t = \left[\frac{(L_u - L_o)}{L_o} \right] \cdot 100, \text{ formülleri kullanılmıştır [20].} \quad (9.3)$$

Formüllerde;

R_c = Akma mukavemeti (MPa)

R_m = Çekme mukavemeti (MPa)

A_t = Kopma uzaması (%)

P_a = Akma kuvveti (N)

P_k = Kopma kuvveti (N)

f_0 = Numune boy ağırlığından hesaplanan ilk kesit alanı (mm²)

L_u = Kopmadan sonra işaretlenen iki nokta arasındaki numune uzunluğu (mm)

L_0 = Numunenin ilk ölçü uzunluğu (mm)

ifade etmektedir.

Tempcore ile yapılan üretim sırasında, çeliğin mukavemeti çeşitli haddeleme, su verme parametlerine ve kimyasal kompozisyona bağımlı olarak değişebilir. Yeni bir kampanyaya başlanırken ve normal üretim sırasında, Kalite Kontrol ekibi, üretim parametrelerine sürekli takip etmek ve özellikle mukavemet değerlerini garanti altına almakla yükümlüdür. Üretim sırasında, kalite kontrolden gelecek bilgiler doğrultusunda tempcore parametreleri ayarlanır ve üretime devam edilir.

Yeni üretime başlanırken:

1. Üretimi yapılacak kaliteye uygun analizdeki kütüklerin fırına şarj edilmesi sağlanır.
2. Düze sayısı, su debisi, su basıncı, su sıcaklığı, haddeleme hızı değerleri tecrübe değerlerinden faydalanarak ayarlanır. Tempcore Ünitesi üretime hazır duruma getirilir.
3. Ölçü-ağırlık tecrübeleri yapılırken, aynı zamanda çekme testi numunesi alınarak, hızlı bir şekilde çekme testi yapılır.
4. Numuneler alınırken, iki yolun numuneleri karıştırılmamalıdır. Her iki yol özdeş olmasına rağmen çekme testi sonrasında farklı sonuçlar elde edilebilir ve yolların ayrı ayrı ayarlanması gerekebilir. Numunelerin karıştırılmaması için, numunelerin bir tanesine, ince bir tel vasıtasıyla metalik bir etiket sabitlenebilir.

5. Çekme testi numuneleri, platformda suya sokulmamalıdır. Fizik laboratuvarına gelen numuneler, çekme testi öncesinde kendi halinde soğutulur ve çekme testi yapılır. Özellikle ince ebatlarda, numunenin ani olarak suda soğutulması, mukavemet değerlerinin olduğundan yüksek çıkmasına sebebiyet verecektir.
6. Çekme test sonuçlarına dayanılarak, ilgili üniteye, mukavemet değerleri normal seviyeye ulaşana kadar, aşağıdaki sıra izlenerek gerekli ayarlamalar yapılır.

MUKAVEMET YÜKSEK

- Su debisi azalır
- Düze sayısı azalır.

MUKAVEMET DÜŞÜK

- Su debisi arttı.
- Düze sayısı arttırılır.

7. Mukavemet ve diğer fiziksel özellikler standart değere ulaştığında, normal olarak üretime devam edilir. Tempcore parametreleri, döküm analizleri, haddeleme hızı vs. Kalite Kontrol tarafından sürekli kontrol altında tutulur ve kaydedilir.
8. Üretim sırasında, her dökümden standartlarca talep edilne sayıda çekme testi yapılır. Bunun yanısıra, üretim parametrelerinde meydana gelebilecek ani değişiklikler olursa, mukavemet değerleri tekrar kontrol edilerek gerekli ayarlamalar yapılır. Platform sıcaklığı sürekli kontrol edilir ve normal üretim sırasında max. = 10°C lik bir sapmaya izin verilebilir. Platform sıcaklığında görülen aşırı dalgalanmalar, tempcore ünitesinde bazı problemlerin olduğunun belirtisidir. Böyle bir durumda, düzelerin tıkalı olup olmadığı, su debisi ve basıncının yeterli olup olmadığı kontrol edilir. Ayrıca, fırın tavlama rejiminde olabilecek istikrarsızlıklar araştırılır.

9.2. TEMPCORE İLE ÜRETİM SİRASINDA YAŞANILABİLECEK KALİTE PROBLEMLERİ VE NEDENLERİ

9.2.1. Yüksek Mukavemet:

- Kimyasal analiz(C, Si, Mn, Cr, Mo, N, vb.yüksek)
- Su verme süresi uzun (Haddeleme hızı düşük, fazla düze açık.)
- Su debisi yüksek

9.2.2. Mukavemet:

- Kimyasal analiz(C, Si, Mn, vb düşük)
- Su verme süresi kısa (Haddeleme hızı yüksek yetersiz sayıda düze açık)
- Su debisi yetersiz
- Tavlama sıcaklığı yüksek (tane büyümesi, dekarburizasyon)

9.2.3. Düşük “Çekme Mukavemeti/ Akma Mukavemeti” Oranı

- Akma Mukavemeti çok yüksek
- Kimyasal analiz(C, Mn, düşük)
- Martensit tabaka kalınlığı fazla

9.2.4. Mukavemet Dengesizliği

- Tav dengesizlikleri
- Aşırı tavlama ve dekarburizasyon
- Haddeleme hızındaki dengesizlikler
- Baskı (çekici) rolesi hızının, haddeleme hızıyla uyumsuz olması (son boy için geçerlidir)
- Su verme işleminin homojen olmaması ve dolayısıyla martensit tabaka kalınlığının değişken olması (düşük su basıncı, düze açıklıklarının tıkanması, su tesisatının tıkalı olması, düzelerin tam olarak çubuğu merkezlememesi)

9.2.5. Ondüle:

Su verme işleminin homojen olmaması (düşük su basıncı, düze açıklıklarının tıkanması, su tesisatının tıkalı olması, düzelerin tam olarak çubuğu merkezlememesi)
Düze sayısının az olması.

BÖLÜM 10

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

10.1. NUMUNE HAZIRLAMA

Deneyleerde kullanılan çelik kütükler (150x150x4500 mm) iki yol ile üretilmiştir. Birtanesi cevherden sıvı hamdemir üretimi-sıvı çelik üretimi ve sürekli döküm aşamaları ile üretilmiştir. İkinci grup kütükler ise ark ocaklarında hurda çeliklerden sıvı çelik üretimi-sürekli döküm aşamaları ile üretilmiştir. Bu iki farklı grup çelik kütük malzemelerin kimyasal kompozisyonu Çizelge 10.1’de veirlmiştir. Numunelerin kimyasal yapısı ve üretim metodu Çizelge 10.1’ de belirtilmiştir.

Çizelge 10.1. Tempcore prosesinde kullanılan hammaddelerin üretim metodu ve kimyasal yapısı.

Standart	Üretim Metodu	%C	%Mn	%Si	%Cr	%Cu	%S	%P	%Al
TSE 708	Çelikhane	0,185	0,556	0,158	0,054	0,064	0,025	0,013	0,003
TSE 708	Elektrik Ark Ocağı	0,227	0,704	0,201	0,321	0,197	0,045	0,028	0,568

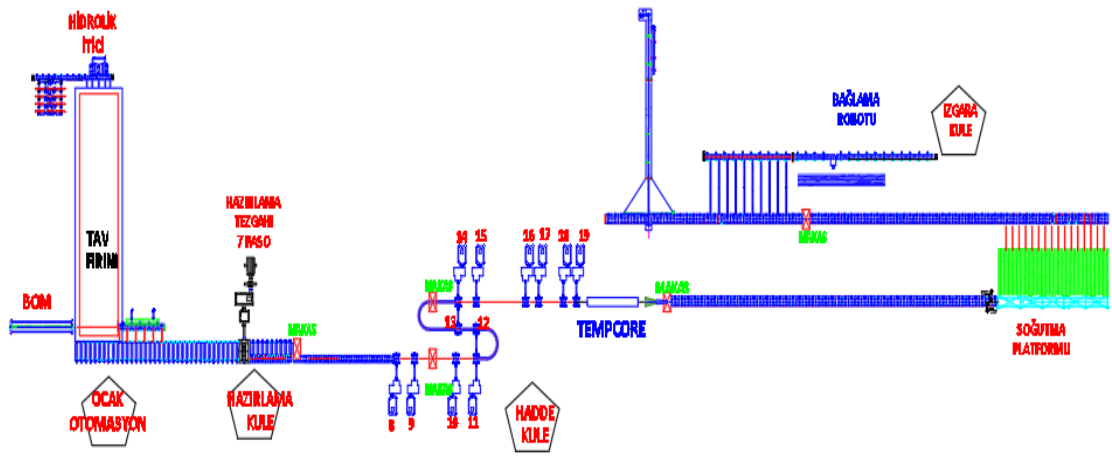
Aynı zamandan tempcore sistemi kullanılmadan önce üretimi yapılan S420 standartında üretilen nervürlü betonarme çeliğin hammaddesinin kimyasal kompozisyonu Çizelge 10.2’de belirtilmiştir.

Çizelge 10.2. S420 standartında üretilen betonarme çeliğin hammaddesinin kimyasal yapısı.

Standart	Üretim Metodu	%C	%Mn	%Si	%Cr	%Cu	%S	%P	%Al
TSE 708/2010	Çelikhane	0,45	1,15	0,158	0,054	0,064	0,025	0,013	0,003

10.2. HADDELEME VE TEMPCORE PROSESİ

Yukarda belirtilen çelik kütükler Ø10 ve Ø8 mm boyutlarına yarı sürekli haddeleme sistemi ile haddelenmiştir. Bu hadde sistemi ile entegrali tempcore işlemi ile de özel termal şartlarda işlem uygulanarak soğutulmuştur. Haddeleme ve entegrali tempcore işlemi Şekil 10.1 verilmiştir. Şekilde görüldüğü sistem ardışık 19 hadde tezgâhı, boy kesim ve tempcore soğutma ünitesinden oluşmaktadır.



Şekil 10.1. Deneilerin yapıldığı fabrikanın yerleşim planı.

10.3. MİKROYAPI İNCELEMESİ

Mikroyapı çalışmalarında öncelikle metalografi için gerekli olan aşamalar yapıldıktan sonra mikroyapı incelemesi yapılmıştır. Bu aşamalar;

1. İncelenek numuneler öncelikle kesme işleminin için Discotom-100 cihazında 15 mm boyunda kesilmiştir.



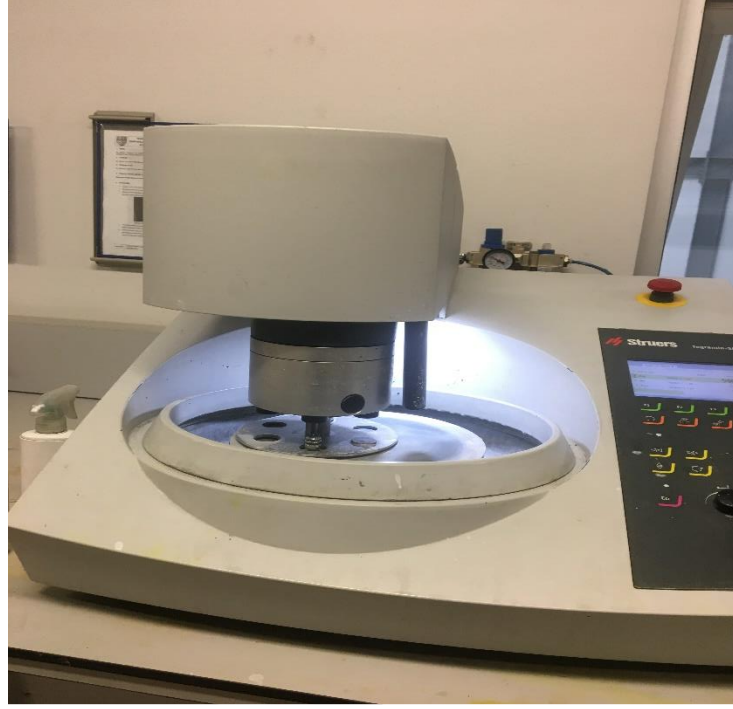
Şekil 10.2. Discotom-100 kesme cihazı.

2. Daha sonra Citopress-10 Sıcak Kalıplama Cihazında bakalite alma işlemi yapılmıştır.



Şekil 10.3. Citopress-10 sıcak kalıplama cihazı.

3. Ardından bakalite alınan parçalar zımparalama ve parlatma işlemi için sırasıyla 9 μm , 3 μm ve 1 μm keçeler kullanılarak Şekil 10.4'te gösterilen Tegamin 30 Otomatik Zımparalama ve Parlatma Cihazı kullanılarak hazırlanmıştır.



Şekil 10.4. Tegramin 30 otomatik zımparalama ve parlatma cihazı.

4. Mikroyapısı incelenmek için hazırlanmış numuneler Şekil 10.5'te gösterilen Nikon Eclipse MA200 Ters Metalurjik Mikroskopyu ile mikroyapısı incelenip, fotoğrafları alınmıştır.



Şekil 10.5. Nikon Eclipse MA200 ters metalurjik mikroskopyu.

10.4. SERTLİK TESTİ

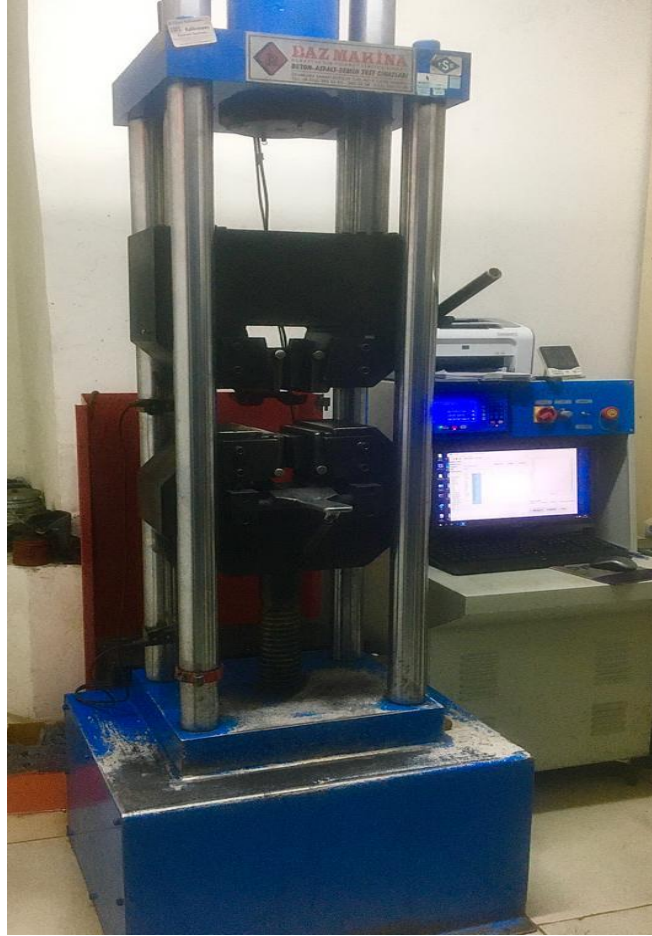
Tempcore işlemleri uygulanmış B420C standartındaki çelikhanede ve elektrik ark ocağında üretimi yapılmış iki adet numunenin ve tempcore işlemleri uygulanmamış 2018 yılı öncesinde üretimi yapılan karbon miktarı yüksek ve çelikhanede üretilmiş S420 standartındaki betonarme çeliğın sertlik testi yapılmıştır. Sertlik testi için numunenin üzerindeki bölgeler Şekil 10.6'da gösterilmiştir. Sertlik testi için standartlarda belirtilen 15 saniye boyunca 10 N yük altında sertlik testi yapılmıştır. Sertlik testini Qness Q+ marka HMV model sertlik ölçüm cihazında yapılmıştır.



Şekil 10.6. Qness Q+ marka HMV sertlik ölçüm cihazı.

10.5. ÇEKME DENEYİ

240 mm uzunluğunda 10 adet Ø8 ve Ø10 mm çapında nervürlü betonarme çeliğin numune çekme deneyi için TS708 standardı esas alınarak hazırlanmıştır. Oda sıcaklığında, 15 mm/dk deney hızı, 5N/mm² ön yük uygulanarak çekme testi yapılmıştır Çekme testi yaptığımız makine şekil 10.7’de gösterilen BZ-001/60 DÇM Demir Çekme Cihazı’dır.



Şekil 10.7. BZ-001/60 DÇM demir çekme cihazı.

10.6. YORULMA DENEYİ

Şekil 10.8’te gösterilen MTS marka 100 kN Servo Hidrolik Dinamik yorulma test cihazında numuneler yorulma testine tabi tutulmuştur. Kuvvet kontrollü yorulma yapıp, yorulma testi için numuneler maksimum 10^6 çevrime kadar yorulmuştur.



Şekil 10.8. MTS marka 100 kN servo hidrolik dinamik.

Yorulma hasarı çevrimsel gerilme, çekme gerilmesi ve plastik deformasyon gibi eş zamanlı hareketlerden kaynaklanmaktadır. Çevrimsel gerilmeden kaynaklanan plastik deformasyon etkisiyle enine çatlaklar çekirdeklenmeye başlar. Yorulma sırasında yavaş bir şekilde mikro çatlaklar haline gelir. Çekme gerilmesi çatlak büyümesine ve yayılmasına destek olur. Çıplak gözle görülebilecek makro çatlaklar oluşuna kadar bu dönüşüm devam eder. Bir mikro çatlak kritik boyuta ulaştığında kararsız hale gelir. Sonuçta numunenin kırılması felaketle sonuçlanabilir. Basma gerilmeleri yorulmaya sebep olmamakla birlikte, basma yükleri lokal çekme gerilmeleri oluşturabilir [30].

Mühendislikte deformasyon sebeplerinin en yaygın olanı yorulmadır. Çekme, basma, sürünme ve kırılma testlerinde yüklemeler statik ya da sürekli artan kuvvetler şeklindedir. Yorulma yüklemeleri ise; ileri-geri kuvvet değişimi, açık-kapalı basınç

değişimine benzer yüklemelerdir. Yorulmaya sadece dışarıdan etki eden kuvvetler sebep olmaz. Isıl genleşme ve büzölmeler neticesinde oluşan gerilmelerde yorulma hasarına sebep olabilir. Bu olaya da termal yorgunluk adı verilir. Yorulma olayında hasar bir çatlak sonucu oluşur. Bu çatlak da yüzeydeki bir süreksizlikten kaynaklanır. Yüzeyde pürüz, çentik, çizik, kılcal çatlak ya da ani bir kesit değişimi yorulma çatlağının oluşumu için yeterlidir [31].

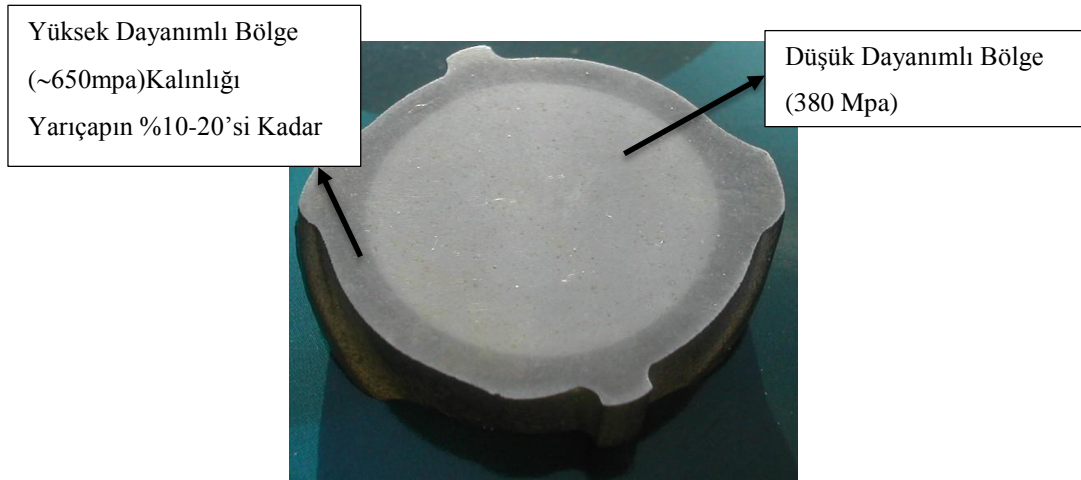
Malzemelerin çekme mukavemetlerini artıran tüm işlemler aynı zamanda yorulma dayanımına da artırır. Özellikle uygun su verme ve menevişleme neticesinde sertliği ve çekme mukavemeti artan çeliklerin yorulma dayanımları da artar. Alaşım elementleri ile su alma derinlikleri artan çeliklerde de ısıt işlemler neticesinde yorulma dayanımında artış görölmektedir. Sünek malzemelerin son mekanik işlemleri, inklüzyon, segregasyon gibi çekme mukavemetini düşüren olumsuzlukların giderilmesi de yorulma dayanımını artırır. Kısacası malzemenin mekanik mukavemet değerlerini artıran işlemlerin hemen hepsi yorulma dayanımı da artırır [32].

BÖLÜM 11

DENEY SONUÇLARI

11.1. MİKROYAPI MUAYENE

Tempcore sistemi ile üretilen betonarme çeliklerde makro yapı incelendiği zaman malzemenin yarıçapının %10 ile %20 arası alan dış çapa yakın kısımları yüksek mukavemet değerine sahip martensit yapıdadır. Bu kısım betonarme çeliğin su ile temas süresinin artması ve azalması ile doğrudan bağlantılıdır. Betonarme çeliğin tempcore soğutma sisteminden geçerken su ile temas süresi arttığı zaman kalınlığı artmakta ve buna bağlı olarak akma dayanımı artmaktadır. Ancak malzeme uzun süre su ile temasta kalırsa gevrekliği artacağı için çok kısa süre su ile temas halinde kalmalıdır. Tabii betonarme çeliğin çapı arttıkça su ile temas süresi artmaktadır. Kalınlığı yarıçapının %80 ile %90'nı kapsayan kısım ise düşük mukavemet değerine sahip ferrit-perlit yapıda olan kısımdır. Bu kısmın mukavemet değeri yüksek dayanımlı mukavemet değerinin neredeyse yarısı kadardır. Ancak betonarme çeliğine mükemmel sünekliliği ve tokluğu sağlayan yapı bu kısımdadır. Şekil 11.1'de yüksek mukavemet değerine sahip ve düşük mukavemet değerine sahip yapılar gösterilmiştir.



Şekil 11.1. Tempcore ile üretilen betonarme çeliğin iç yapısı [33].

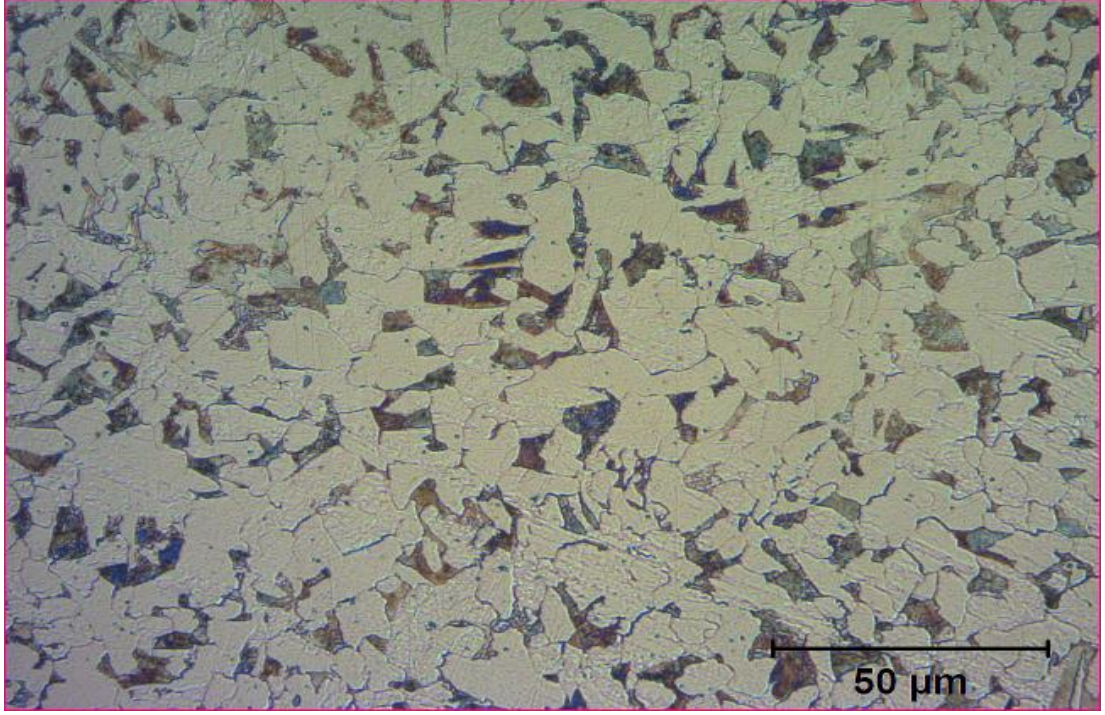


Şekil 11.2.Tempcore işlemi ile üretilmiş B420C kalite betonarme çeliğin dış yüzey mikro yapısı (200X).

Şekil 11.2 ve şekil 11.3'te nervürlü betonarme çeliğinin dış yüzeyinden alınan mikroyapı görülmektedir. Malzemenin yüksek akma dayanımına sahip ve ince taneli bir yapı olup temperlenmiş martenzit yapıya sahiptir.

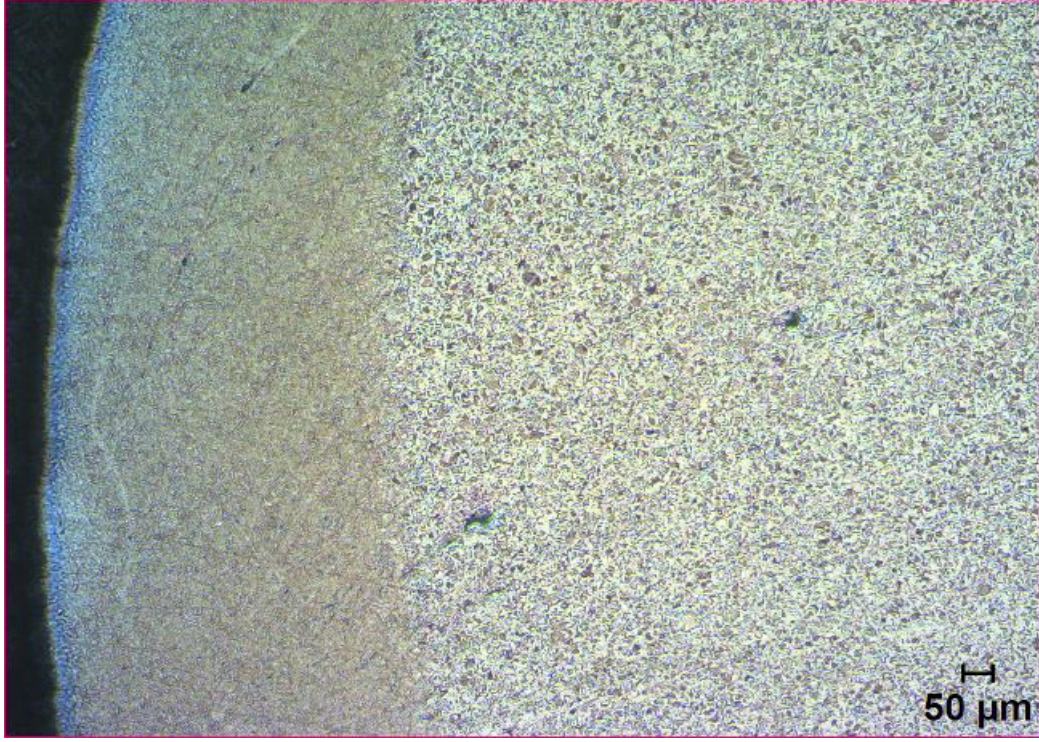


Şekil 11.3.Tempcore ile üretilmiş betonarme çeliğin yüzey bölgesi mikroyapısı (50X).



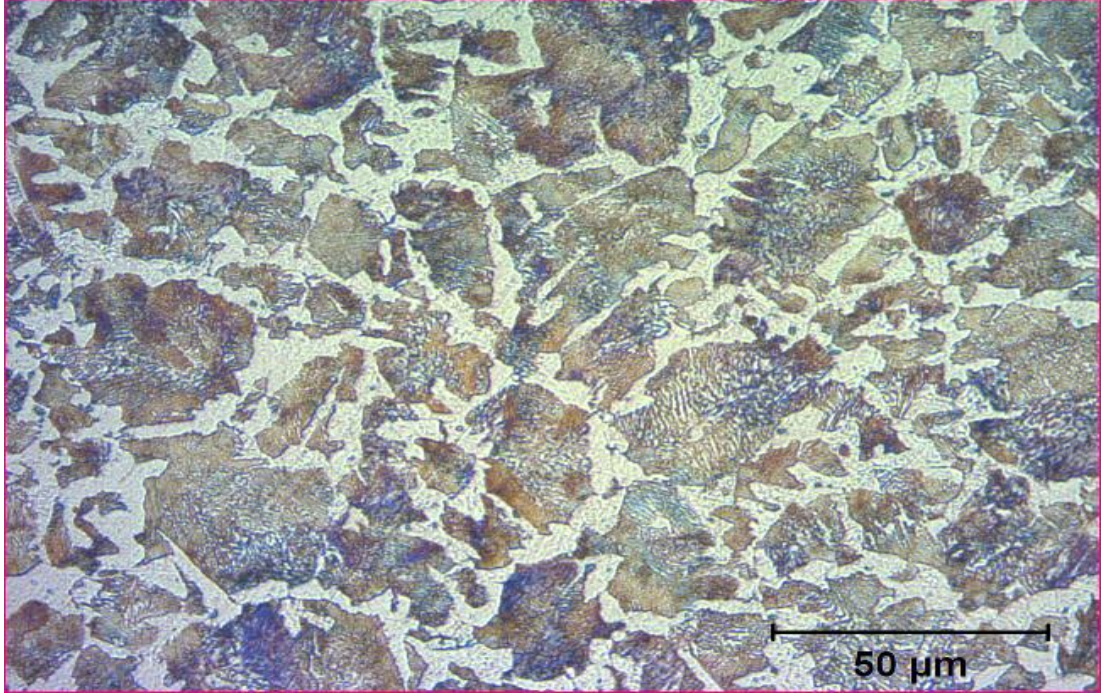
Şekil 11.4.Tempcore ile üretilmiş betonarme çeliğin merkez bölgesi mikroyapısı (500X).

Şekil 11.4'te tempcore ile üretilmiş betonarme çeliğin merkez bölgesinin mikroyapısı gözlemlenmiştir. Burada ferrit ve perlit ağırlıklı yapı görülmektedir. Betonarme çeliğine mükemmel süneklik, tokluk ve eğilme özelliğini sağlayan yapıdır. Tüm ısını dış yüzeye vererek yapıda bulunan östenitin tamamen ferrit ve perlit yapısına dönüştüğü, tane sınırlarının çok açık ve homojen bir tane oluşumunun gözlemlendiği bu yapının malzemenin mükemmel süneklik özelliği gösteren en yumuşak ve en geniş alana sahip olan bölgesidir [34].

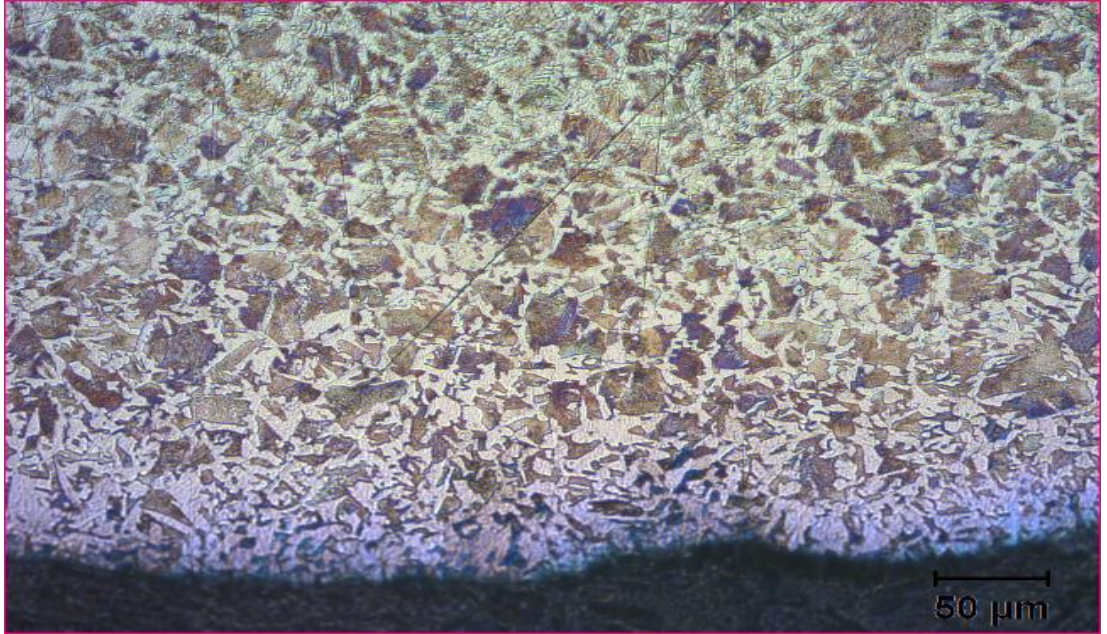


Şekil 11.5. Elektrik ark ocağında üretilen hammaddeden tempcore ile üretilmiş betonarme çeliğın mikroyapısı(50X).

Şekil 11.5'te elektrik ark ocağında üretilmiş yarı mamulden haddeleme işlemi yapıp sonrasında tempcore sisteminden geçirelen nervürlü betonarme çeliğın mikroyapısı görölmektedir. Çelikhanede üretimi yapılan yarı mamule göre martenzit bölgesi ile içyapı kısmı daha net bir şekilde ayrışmıştır. Şekil 11.3'te gösterilen çelikhanede üretimi yapılmış yarı mamuldeki mikroyapı görüntüsü ile şekil 11.5'de gösterilen elektrik ark ocağında üretimi yapılan yarı mamülün ikiside akma dayanımı olarak 480 MPa değerinde dayanıma sahiptir.



Şekil 11.6. S420 kalitesindeki hammaddeden tempcore işlemi uygulanmadan üretilen betonarme çeliğin merkez bölgesinin mikroyapısı(500X).



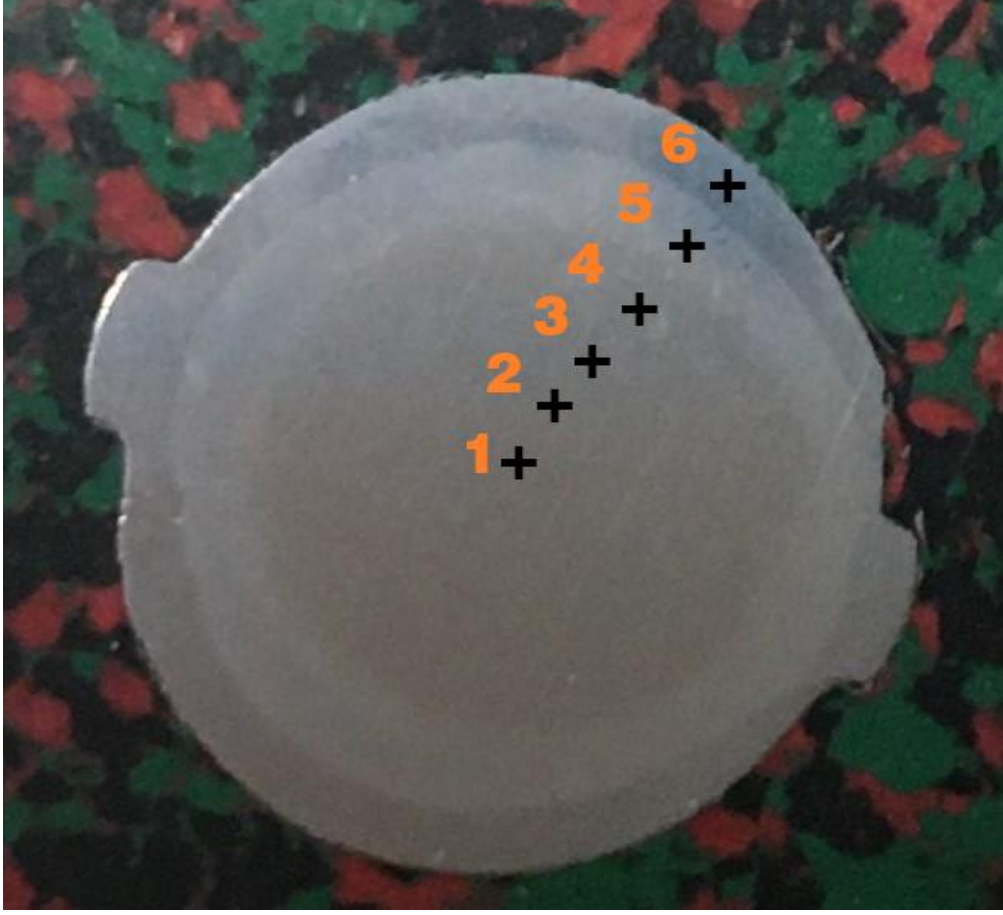
Şekil 11.7. S420 kalitesindeki hammaddeden tempcore işlemi uygulanmadan üretilen betonarme çeliğin yüzey bölgesinin mikroyapısı(200X).

Şekil 11.6 ve şekil 11.7’de karbon miktarı B420C kalitesindeki yarı mamule göre neredeyse 2 kat fazla olan S420 kalitesinde hammaddeden sıcak haddeleme ile üretilip hava ile soğutulan betonarme çeliğin merkez ve yüzey bölgesinin mikroyapısı görülmektedir. Burada görüldüğü gibi merkez ve yüzey bölgesinde herhangi bir farklılık yoktur. Martenzit ve ferrit-perlit yapıları yüzey ve merkezde benzer dağılımdadırlar. B420C kalitesinde ise yüzey martenzit yapının daha yoğun olduğu bölge iken merkez bölgesinde ise ferrit-perlit yapıları hâkimdir. S420 kalitesinde mukavemeti sağlayan karbon miktarının yüksek olması iken B420C kalitesinde S420’ye göre daha düşük karbon miktarı olmasına rağmen mukavemeti daha yüksek değerlerde olmasını sağlayan şekil 11.3’de gösterilen yüzeydeki martenzit bölgesidir.

11.2. SERTLİK DENEYİ

Sertlik testinin sonuçları kıyaslandığında tempcore sistemi kullanılmadan önce geleneksel yöntemlerle üretilen karbon miktarı yüksek S420 standartındaki nervürlü betonarme çeliğin merkez bölgesinden yüzeye doğru 0,8 mm mesafe alarak yapılan test sonucunda her bölgede birbirine çok yakın sonuçlar alınmıştır. Tempcore sistemi ile üretilen düşük karbon miktarına sahip B420C standartındaki nervürlü betonarme çeliğin sertlik değeri ise merkezden yüzeye doğru 0,8 mm mesafe aralıklarında yüzeye yaklaştıkça sertlik değerlerinde artış meydana geldiği gözlemlenmiştir. Merkez bölgesi ile yüzey arasındaki sertlik değeri farkı 100 HV’dir. Bunun nedeni tempcore sisteminde yapılan soğutma işleminden kaynaklı olan yüzeydeki martenzit tabakanın vermiş olduğu sertlik sayesinde. Martenzitin vermiş olduğu bu sertlik betonarme çelikte normalde gevrek bir yapı kazandırması gerekirken tempcore sisteminden çıkan nervürlü betonarme çeliğin merkez bölgesindeki sıcaklık ve soğutma platformunda diğer betonarme çubukların ısıları sayesinde martensit temperleme sıcaklığına ulaşarak temperlenir ve kırılgan olan martenzit yapı kırılganlığını yitirip elastik bir yapı kazanarak betonarme çeliğe hem mukavemet hem de süneklik özelliği kazandırır. Çizelge 11.2’de sertlik testi sonuçları gösterilmiştir. Çelikhane ve elektrik ark ocağında üretilen B420C standartındaki betonarme çeliğin sertlik sonuçları kıyaslandığında elektrik ark ocağında üretilen betonarme çelik daha yüksek sertlik sonuçları verdiği gözlemlenmiştir. Bunun nedeni olarak kullanılan

hurdalardaki karbon miktarının ve karışımın homojen olmamasından kaynaklı olabileceği varsayılmaktadır.



Şekil 11.8. B420C nervürlü betonarme çeliğinden sertlik testinin alındığı noktalar.

Şekil 11.8’de gösterilen sertlik testi için hazırlanmış tempcore sistemi ile üretilmiş Ø10 mm çapındaki B420C standartındaki nervürlü betonarme çeliğin görüntüsü verilmiştir. Alınan bu görüntüde betonarme çeliğin içyapısı ile dış yapıdaki farklılık net bir şekilde görülmektedir. Sertlik testi sonuçlarında Şekil 11.8’de görülen merkezden yüzeye doğru değişen görüntünün farklılığının nedeninin yüzey kısmının su verilen bölge olduğundan daha sert yapı olan martensit, merkez bölgesinin ise daha sünek olan ferrit ve perlit yapı olduğunu ispatlamaktadır.

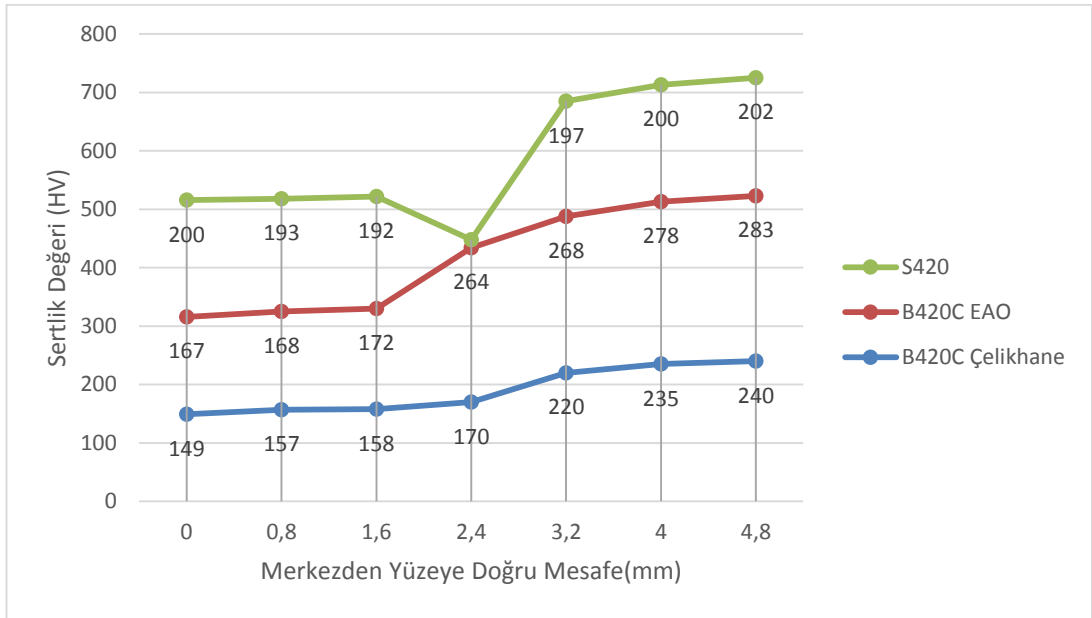


Şekil 11.9. S420 nervürlü betonarme çeliğinden sertlik testinin alındığı noktalar.

Şekil 11.9’da gösterilen sertlik testi için hazırlanmış geleneksel yöntemler ile üretilmiş karbon miktarı yüksek olan S420 standartındaki nervürlü betonarme çeliğin sertlik testinin yapıldığı noktalar gösterilmiştir. Şekil 11.8’de gösterilen B420C nervürlü betonarme çeliğe göre S420 nervürlü betonarme çeliğin görüntüsü her noktada aynı şekildedir. Sertlik testi sonuçları da farklı noktalar olmasına rağmen birbirine yakın değerler elde edilmiştir.

Çizelge 11.1. Tempcore işlemine tabi tutulmuş çelikhane ve elektrik ark ocağında üretilmiş hammaddelerin sertlik deney sonuçları.

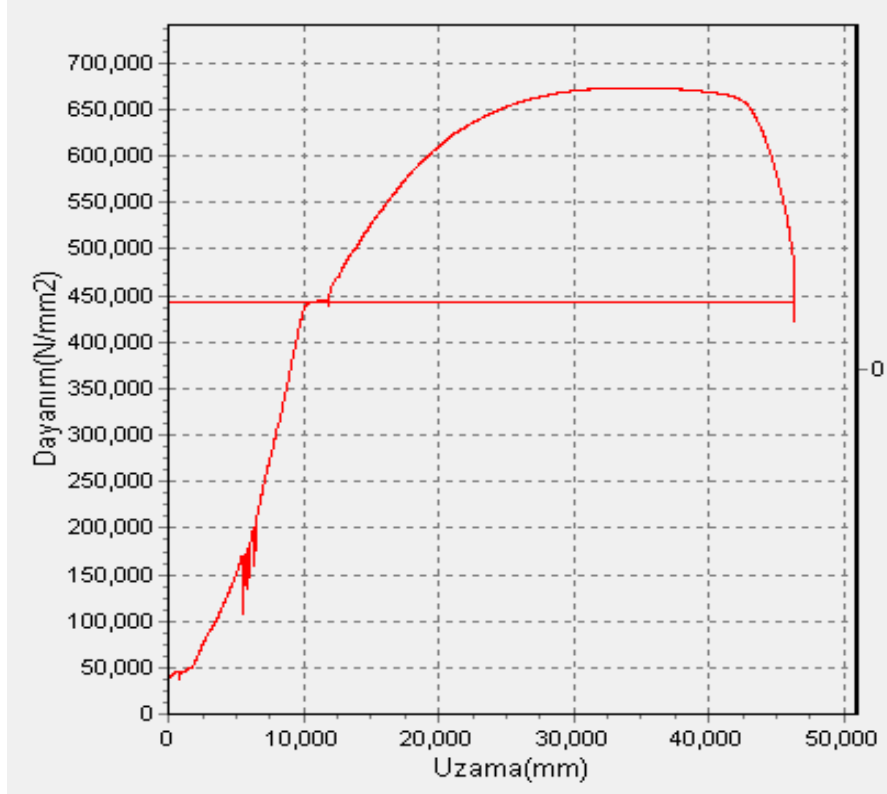
Sertlik Testi Yapılan nokta	Mesafe (Merkezden Yüze) mm	B420C Çelikhane	B420C Elektrik Ark Ocağı	S420
1	0	149 HV	167 HV	200 HV
2	0,8	157 HV	168 HV	193 HV
3	1,6	158 HV	172 HV	192 HV
4	2,4	170 HV	264 HV	440 HV
5	3,2	220 HV	268 HV	197 HV
6	4	235 HV	278 HV	200 HV
	4,8	240 HV	283 HV	202 HV



Şekil 11.10. B420C hammaddesinden çelikhane ve elektrik ark ocağında üretilen betonarme çubuk ve S420 hammaddesinden üretilen betonarme çubuk sertlik grafiği.

11.3. ÇEKME TESTİ

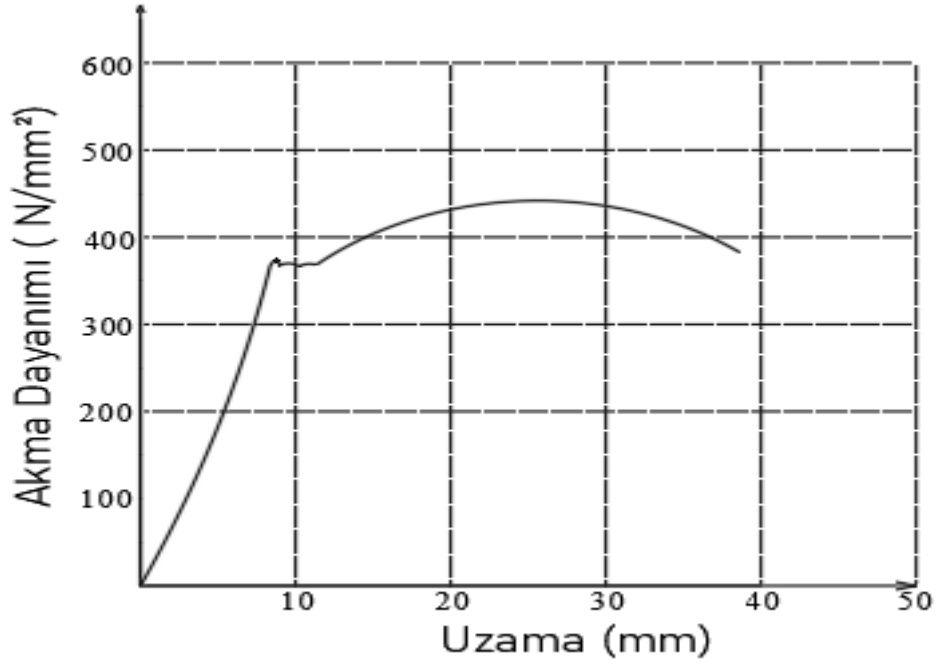
Şekil 11.11’da gösterilen Ø10 mm çapındaki S420 standartında geleneksel yöntem ile sıcak olarak haddelendikten sonra havada soğutulmuş betonarme çeliğin çekme testi sonucudur. S420 standartında üretilen bu numunenin karbon miktarı % 0,45 ve mangan miktarı ise % 1,15’dir.



Şekil 11.11. S420 standartındaki Ø10 mm çapında nervürlü betonarme çeliğin çekme testi grafiği.

Çizelge 11.2. S420 standartındaki Ø10 mm çapında nervürlü betonarme çeliğin çekme testi sonucu.

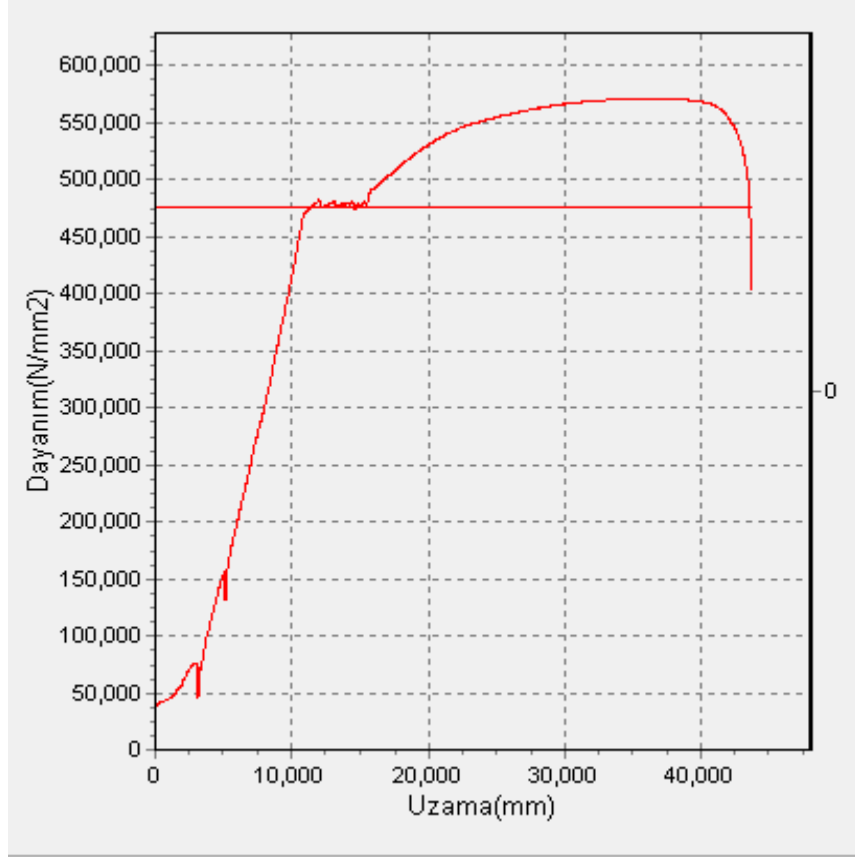
Çelik Sınıfı	Kütle m/kg	Anma Çapı (mm)	Kesit (mm ²)	İlk Boy mm	Son Boy mm	Kopma Uzaması %	Akma Dayanımı N/mm ²	Çekme dayanımı N/mm ²	Çekme/Akma
S420	0.610	10	78.54	300	346.2	15.41	445	674	1.52



Şekil 11.12. Düşük karbon miktarlı hammadden üretilmiş betonarme çeliğin tempcore yöntemi uygulanmadan alınan çekme testi grafiği.

Tempcore sistemi düşük karbon miktarlı hammaddeden yüksek karbonlu betonarme çeliği olan S420 standartından üretilen betonarme çeliğinin mekanik özellikleri elde etmesini sağlayan mükemmel bir sistemdir. Şekil 11.12’de gösterilen çekme testinde düşük karbon miktarlı hammaddeden geleneksel yöntemle ile üretilmiş ve hava ile soğutulmuş betonarme çeliğinin çekme testi sonucudur. Grafik kontrol edildiğinde S420 kalitesindeki betonarme çeliğinden 65 MPa daha düşük akma dayanımı alındığı görülmektedir. Karbon miktarı yaklaşık 2 kat daha çok olan S420standartındaki betonarme çeliği ile aynı şekilde üretilen düşük karbonlu betonarme çeliği alaşım elementleri düşük olduğundan dolayı mukavemet olarak daha düşük değerler vermiştir. B420C düşük karbonlu çeliğine tempcore sisteminden geçirildiğinde Şekil 11.13’de gösterilen grafik elde edilmiştir.

Şekil 11.13’da gösterilen çekme testi sonucunda B420C standartında üretilmiş kullanılan hammaddenin karbon miktarı % 0,17 ve mangan miktarı ise % 0,55 olan Ø10 mm çapındaki nervürlü betonarme çeliğine tempcore sisteminin kazandırdığı dayanım görülmektedir.



Şekil 11.13. B420C standartındaki Ø10 mm çapında nervürlü betonarme çeliğin çekme testi grafiği.

Çizelge 11.3. B420C standartındaki Ø10 mm çapında nervürlü betonarme çeliğin çekme testi sonucu.

Çelik Sınıfı	Kütle m/kg	Anma Çapı (mm)	Kesit (mm ²)	İlk Boy mm	Son Boy mm	Kopma Uzaması %	Akma Dayanımı N/mm ²	Çekme dayanımı N/mm ²	Çekme/Akma
B420C	0.610	10	78.54	300	343.2	14.54	475	575	1.20

Çizelge 11.4. Tempcore prosesinde üretilen iki farklı hammaddenin aynı şartlardaki debi miktarları ve çekme testi sonucu akma dayanımı değeri.

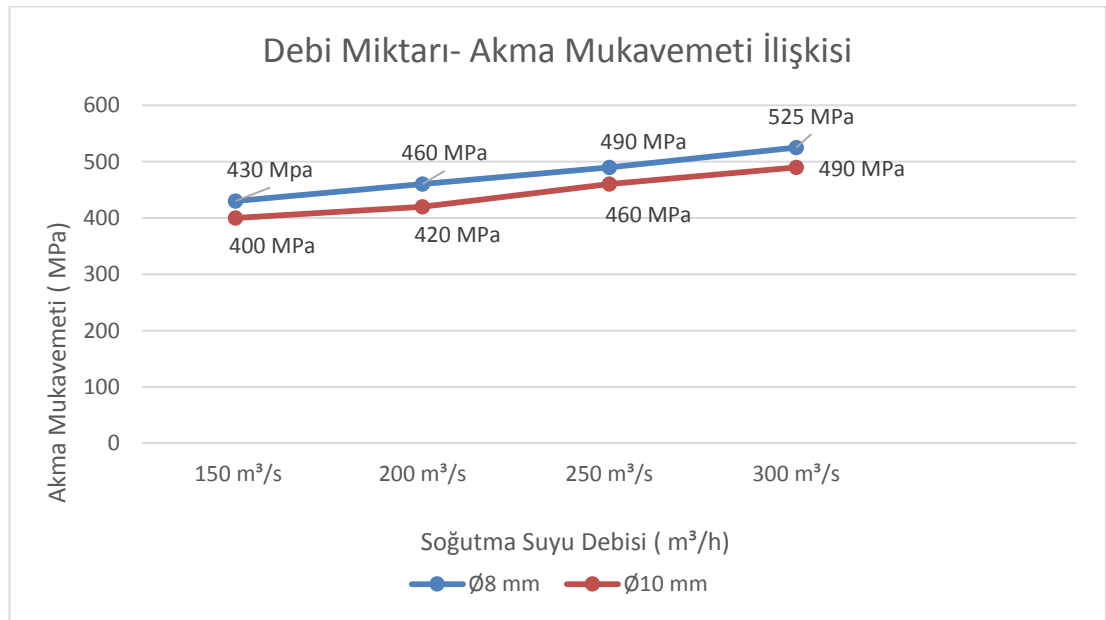
Üretim Metodu	Ortam Sıcaklığı (°C)	Soğutma Suyu Sıcaklığı (°C)	%C	%Mn	Akma Mukavemeti (Mpa)	Debi (m ³ /s)
Çelikhane	15 °C	25 °C	0,176	0,534	482 MPa	180 m ³ /s
Elektrik Ark Ocağı	15 °C	25 °C	0,182	0,724	482 MPa	150 m ³ /s

Çizelge 11.5. Farklı kimyasal kombinasyona sahip hammaddelerin aynı çapta çekme testi sonuçları.

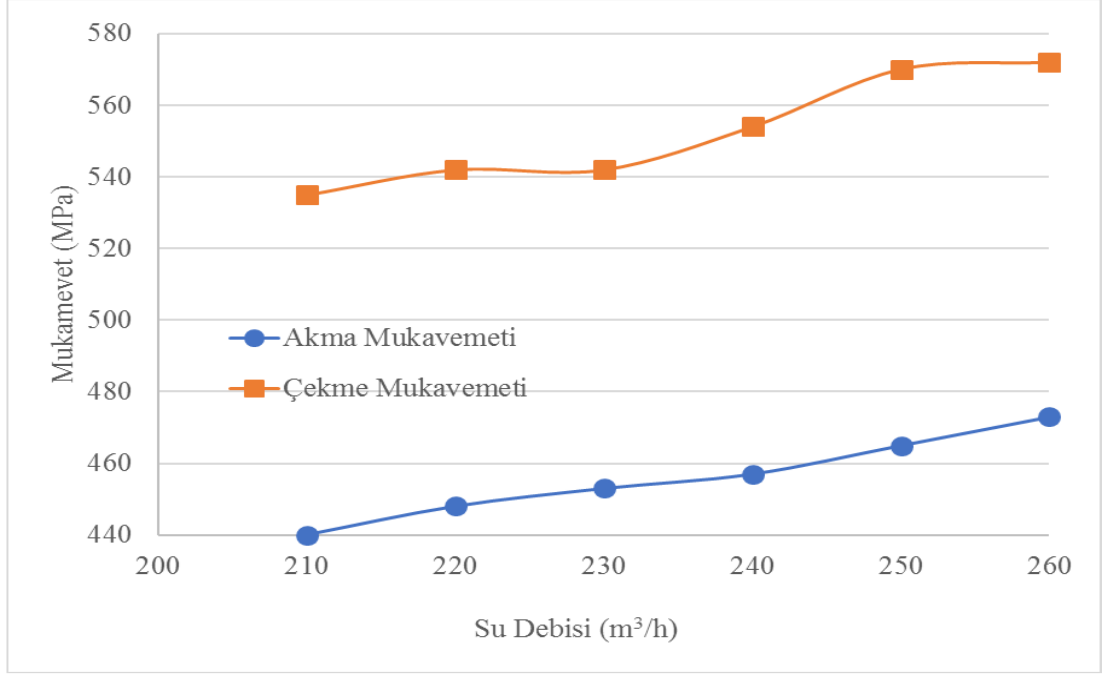
Numune Çapı(mm)	%C	%Mn	Akma Mukavemeti(σ_a)	Çekme Mukavemeti($\sigma_ç$)	Çekme/Akma ($\sigma_a/\sigma_ç$)
Ø8	0,18	0,55	491 MPa	578 MPa	1,18
Ø8	0,19	0,57	487 MPa	572 MPa	1,16
Ø8	0,19	0,56	497 MPa	585 MPa	1,19
Ø8	0,17	0,59	500 MPa	582 MPa	1,17
Ø8	0,16	0,50	495 MPa	579 MPa	1,17
Ø8	0,20	0,66	494 MPa	631 MPa	1,28
Ø8	0,21	0,69	482 MPa	622 MPa	1,29
Ø8	0,19	0,70	477 MPa	614 MPa	1,29
Ø8	0,22	0,72	500 MPa	537 MPa	1,28
Ø8	0,20	0,68	505 MPa	639 MPa	1,27

Çizelge 11.6. Farklı kimyasal kombinasyona sahip hammaddelerin aynı çapta çekme testi sonuçları.

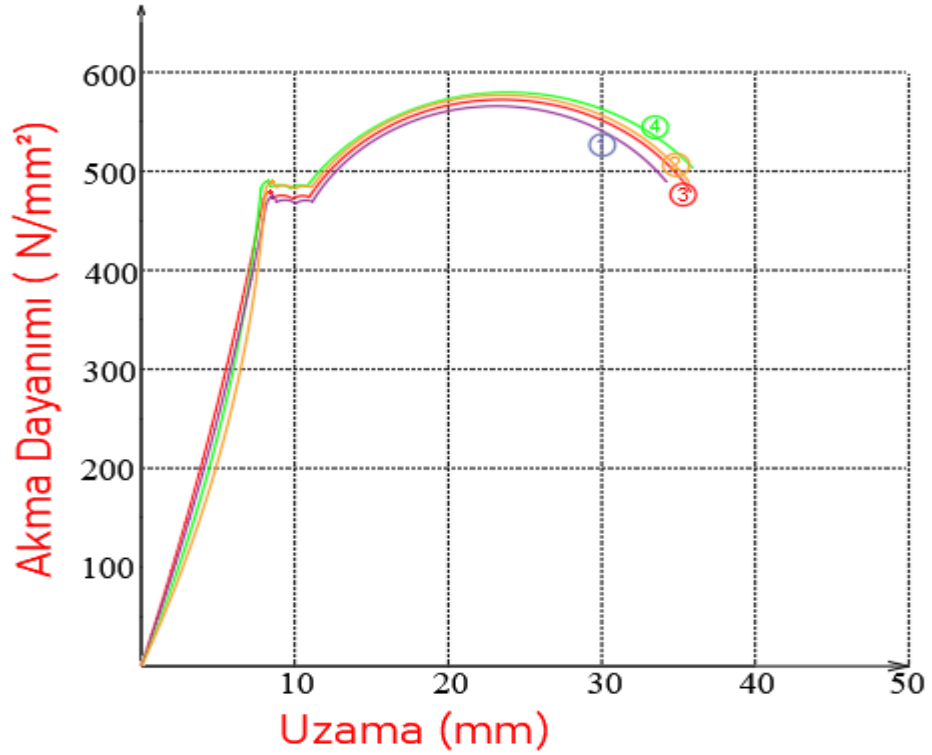
Numune Çapı(mm)	%C	%Mn	Akma Mukavemeti(σ_a)	Çekme Mukavemeti($\sigma_ç$)	Çekme/Akma ($\sigma_a/\sigma_ç$)
Ø10	0,18	0,55	474 MPa	562 MPa	1,19
Ø10	0,19	0,57	484 MPa	570 MPa	1,18
Ø10	0,19	0,56	475 MPa	569 MPa	1,20
Ø10	0,17	0,59	496 MPa	578 MPa	1,17
Ø10	0,16	0,50	469 MPa	558 MPa	1,19
Ø10	0,20	0,66	469 MPa	591 MPa	1,26
Ø10	0,21	0,69	470 MPa	595 MPa	1,27
Ø10	0,19	0,70	480 MPa	602 MPa	1,29
Ø10	0,22	0,72	500 MPa	537 MPa	1,28
Ø10	0,20	0,68	505 MPa	639 MPa	1,27



Şekil 11.14. Aynı şartlarda farklı çaptaki numunelerin debi ile orantılı akma mukavemeti grafiği.



Şekil 11.15. Su debisine göre akma çekme mukavemeti [35].



Şekil 11.16. Aynı şartlarda üretilen ve aynı anda üretimi gerçekleştirilen betonarme çubukların çekme testi sonuçları.

Şekil 11.16’de 4 adet Ø8 mm çapında betonarme çubuğun çekme testi sonuçları gösterilmiştir. Deney yapılan fabrikada Ø8 mm çapındaki inşaat çeliği 4’lü slit diye adlandırılan üretim ile üretilmektedir. Bu üretim şeklinde inşaat çeliği haddeleme esnasında yarma olarak adlandırılan tezgâhtan geçtikten sonra Ø8 mm çapındaki inşaat çeliğini 4 parçaya ayırarak aynı anda 4 farklı yoldan Ø8 mm çapında inşaat çeliği üretmektedir. Ø10 mm çapında inşaat çeliğini ise yarma tezgâhından 3 parçaya ayırarak üretimini yapmaktadır. Bu sebepten dolayı Şekil 11.16’de yapılan çekme testi aynı anda üretilen numunelerden alınmış parçalardan yapılan testin sonucudur. Deney yapılan fabrikada üretim esnasında her bir saatte soğutma platformundan çekme testi için numune alınmaktadır. Bunun amacı inşaat çeliğinin mekanik özelliklerinin TSE standartlarına uygun olup olmadığı kontrol etmek, gözetim altında tutmak ve sonuçları raporlamak içindir. Şekil 11.16’deki farklılık dört farklı numune tempcore sisteminde farklı yollardan geçmektedir. Bu farklılığın nedeni tempcore sistemindeki soğutmada kaynaklı değildir. Çünkü tempcore sistemine soğutma suyu tek bir pompa ile gelmektedir. Bu yüzden debi miktarı sabit bir pompadan aynı miktarda ve sürekli geldiği için soğutma suyu kaynağından değildir. Bir diğer sebep tempcore sisteminde bulunan soğutma suyunun çıkış yaptığı nozullardan kaynaklı olabilir. Ancak tempcore sisteminde deney için yapılan hazırlıkta nozullar kontrol edilerek ve her birinin ölçüsü kalibrasyonu yapılmış ölçüm cihazları ile ayarlanmıştır. Şekil 11.16’deki farklılık bu sebepten kaynaklı değildir. Bir diğer neden olarak üretim esnasında tempcore sistemi içinde bulunan nozullarda tıkanıklık olma ihtimali de olabilir. Ancak böyle bir durumda tempcore sisteminde bulunan manometrelerdeki basınç değerlerinde tıkanıklıktan dolayı bir artış meydana gelmesi gerekmektedir. Şekil 11.16’de tempcore sisteminde böyle bir durum olmamıştır. Şekil 11.16’de akma mukavemetlerindeki farklılığın sebebi test yapılan numunenin çaplarındaki farklılıktır. Yeşil renkte gösterilen en yüksek akma mukavemetine sahip numunedeki çap Ø7.70 mm, turuncu renkteki numunenin çapı Ø7.95, kırmızı renkteki numunenin çapı ise Ø8.10 mm ve mor renkte görülen numunenin çapı Ø8,25 mm olarak ölçülmüştür. Buradan anlaşılacağı gibi çap küçüldükte aynı soğutma suyu debisinde üretimi yapılan numunelerin akma mukavemetleri çapı büyük olana göre daha yüksek olmaktadır.

11.4. YORULMA DENEYİ

Yorulma test cihazına bağlanan Ø8 mm ve Ø10 mm çapında betonarme çeliği deney malzememizde çevrim sayısına göre değişen yük miktarı sonuçları incelendiğinde akma dayanımının üstündeki yüklerde deney numunesi hasara uğramıştır. Akma mukavemeti değerinin üzerindeki yüklerde frekans değerleri negative değerlerde olduğu gözlemlenmiştir. Akma mukavemeti değerine yakın ve altındaki yüklerde deney malzemesi 10^6 çevrim sayısına kadar dayanmıştır. TSE/708 standardına göre bu değer istenilen aralıktadır. Deney malzemesi deformasyona uğradığı zaman kesitinde büzülme olup daralma meydana gelmiştir. Deney malzemesinde deney tamamlanmadan sünek davranış gözlemlenmiştir.

Çizelge 11.7. Tempcore sistemi ile üretilen Ø8 mm çapındaki betonarme çeliğin tse laboratuvarında yapılan yorulma testi sonucu.

NUMUNE	TEST PARAMETLERİ						SONUÇ
	Gerilme Oranı $\sigma_{min} / \sigma_{max}$	Gerilme aralığı $\sigma_{max} - \sigma_{min}$	σ_{min}	σ_{max}	Frekans	Çevrim sayısı	
B420C 8mm- 2021097	0,40	150	100	250	1-200 Hz	2×10^6	Çıplak gözle yapılan muayenede numunede çatlama, kopma görülmemiştir.

Çizelge 11.8. Tempcore sistemi ile üretilen Ø10 mm çapındaki betonarme çeliğin tse laboratuvarında yapılan yorulma testi sonucu.

NUMUNE	TEST PARAMETLERİ						SONUÇ
	Gerilme Oranı $\sigma_{min} / \sigma_{max}$	Gerilme aralığı $\sigma_{max} - \sigma_{min}$	σ_{min}	σ_{max}	Frekans	Çevrim sayısı	
B420C 10mm- 2031159	0,40	150	100	250	1-200 Hz	2×10^6	Çıplak gözle yapılan muayenede numunede çatlama, kopma görülmemiştir.

2018 yılında değişen TSE/708 inşaat çeliği standartında C miktarı değerine sınır getirilen ve $C_{eş}$ değerine 0,55 sınırı getirildiğinden dolayı hammaddelerde kullanılan alaşım elementlerinin miktarlarındaki azalmadan kaynaklı mukavemet değeri

tempcore sistemi ile daha önceden kullanılan S420 standartında üretilen ve C değeri %0,45 değerlerinde olduğu için yüksek dayanıma sahip inşaat çeliği ile aynı dayanıma sahip olmuştur. Tempcore sistemi ile betonarme çeliğe uygulanan ısı işlemin malzemedeki faydası karbon miktarı yüksek inşaat çeliği ile kıyaslanarak kanıtlanmış olmuştur. Çizelge 11.8’de gösterilen %0,45 karbon miktarına sahip S420 standartında üretilen Ø10 mm çapındaki inşaat çeliğinin TSE laboratuvarında yapılan yorulma testi sonucu verilmiştir. Çizelge 11.8’deki yorulma testi değerlerinin karbon miktarı %0,18 değerinde olan Çizelge 11.7’de gösterilen Ø10 mm çapındaki B420C standartında üretilen inşaat çeliği tempcore sistemi sayesinde karbon miktarı yüksek S420 inşaat çeliği ile aynı yorulma değerlerinde yüke dayanabilmiştir.

Çizelge 11.9. Sıcak haddeleme ile üretilen %0,45 karbon miktarında sahip betonarme çeliğin tse laboratuvarında yapılan yorulma testi sonucu.

NUMUNE	TEST PARAMETLERİ						SONUÇ
	Gerilme Oranı $\sigma_{min} / \sigma_{max}$	Gerilme aralığı $\sigma_{max} - \sigma_{min}$	σ_{min}	σ_{max}	Frekans	Çevrim sayısı	
S420 10mm- 918321	0,40	150	100	250	1-200 Hz	2×10^6	Çıplak gözle yapılan muayenede numunede çatlama, kopma görülmemiştir.

BÖLÜM 12

DEĞERLENDİRME VE İRDELEME

- 1) Düşük karbon miktarlı hammaddeden betonarme çeliğinin üretimi geleneksel yöntemler ile üretildiğinde mukavemet değerleri karbon miktarının düşüklüğünden kaynaklı olarak azalmaktadır. Düşük karbon miktarlı hammaddeden yüksek dayanımlı betonarme çeliği üretmek için diğer yöntemler ile kıyaslandığında zaman ve maliyet açısından en uygun yöntem tempcore soğutma yöntemi olduğu görülmüştür.
- 2) Tempcore sistemi, betonarme çeliklerin üretiminde kullanılan hammaddelerde bulunan alaşım elementlerinin miktarlarında azalmayı sağlayarak maliyeti az hammadde kullanımı sağlamaktadır.
- 3) Tempcore sistemi ile sıcak haddeleme ile üretilen betonarme çeliklerinin haddeleme sistemine dahil ederek üretim esansında betonarme çeliğe ısıl işlem yapma imkanı sağlayarak üretimi aksatmamakta ve ek bir işlem gerek kalmadan istenilen dayanımda betonarme çeliği üretimi imkanı sağladığı için hem zamandan hemde maliyetten kazanç sağlamaktadır.
- 4) Tempcore sistemi ile üretilen betonarme çeliklerin düşük karbon ve mangan elementleri kullanımı sayesinde kaynak kabiliyetini artırmaktadır.
- 5) Tempcore soğutma yöntemi ile üretilmiş betonarme çeliğin mikroyapıları incelendiğinde merkez bölgesinin yoğun olarak ferrit-perlit yapıda olduğu gözlemlenmiştir. Bu bölge betonarme çelikte istenilen süneklik özelliğini mükemmel olarak sağlamaktadır. Bu sayede betonarme çeliklerden istenilen bükülebilirlik özelliği kazandırılmış ve tempcore soğutma yöntemi ile betonarme çeliği güçlendirildiği gözlemlenmiştir.

- 6) Tempcore soğutma yöntemi ile üretilen betonarme çeliklerinde yüzey kısımlarının mikroyapılarında martensit yapının yoğun olarak olduğu gözlemlenmiştir. Gözlemlenen bu martenzit yapı tempcore sisteminden sonra soğutma platformunda diğer betonarme çubuklarla yan yana geldiğinde oluşan yaklaşık 800°C ölçülmüş ve martensit temperlenmiş olduğu tespit edilmiştir. Temperlenen martenzit betonarme çeliğinde yüksek akma dayanımını sağladığı yapılan çekme testi sonuçlarında gözlemlenmiştir.
- 7) Tempcore sistemi uygulandığında akma dayanımında, soğutma yoğunluğuna bağlı olarak 150 ile 230 MPa'lık bir artış görüldüğü tespit edilmiştir.. Artan akma dayanımına rağmen kopma uzaması azalmaktadır. Ancak kopma uzamasındaki azalma standartlarda istenilen kopma uzaması değerlerinden oldukça yüksek olduğu gözlemlenmiştir.
- 8) Tempcore sistemi ile üretimi yapılan düşük karbonlu çeliğin 2 kat daha fazla karbon miktarında sahip S420 standartındaki betonarme çeliğin çekme deney sonucundaki akma dayanımı değeri 450 MPa olarak gözlemlenmiştir. Bu değer tempcore ile üretimi yapılan düşük karbonlu betonarme çelikte su verme süresi ve miktarına bağlı olarak 600 MPa değerlerine ulaştığı gözlemlenmiştir.
- 9) Tempcore soğutma yöntemi ile üretilen betonarme çelikleri ile 2018 yılından önce üretimi yapılan yüksek karbon miktarlı betonarme çeliklerinin sertlik deney sonuçları kıyaslandığında tempcore ile üretilmiş betonarme çeliğinin merkez bölgesinden yüzeye doğru gidildikçe sertlik değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Deneylerden elde edilen bu sonuçlar ile tempcore soğutma sistemi ile üretilen betonarme çeliklerinin yüzey kısımları yüksek dayanım sağlamakta iken merkez bölgesinin daha düşük sertlikteki yapısı sayesinde yüksek esneme kabiliyetine sahip olduğu anlaşılmaktadır.
- 10) Tempcore soğutma sisteminin parametrenin kolay kontrolü sayesinde üretim esnasında betonarme çeliğin testlerinin sonuçları kontrol edilerek üretimin başından sonuna bağlantı sağlayan tempcore sistemi sayesinde tav fırınından hadde hızına birçok parametrenin uyumlu çalışmasını sağlanmaktadır.

- 11) Tempcore sistemi kullanılmadan üretilen karbon miktarı yüksek betonarme çeliklerdeki çekme testindeki akma mukavemetini düşük karbon miktarlı betonarme çeliğine tempcore soğutma sistemi uygulanarak aynı akma dayanımı değeri betonarme çeliğine kazandırılmaktadır. Hatta daha yüksek akma dayanımları değerleri de elde edilmiştir.
- 12) Tempcore sistemi kullanılmadan üretilen yüksek karbonlu betonarme çeliklerinde yorulma dayanımı 2×10^6 çevrim sayısına kadar dayanmaktadır. Karbon miktarı düşük betonarme çeliklerde bu değer karbon miktarının düşüşü oranında azalmaktadır. Ancak tempcore soğutma sistemi ile üretilen düşük karbonlu betonarme çeliklerde yapılan yorulma testlerinde 2×10^6 çevrim sayısına kadar dayanımı gözlemlenmiştir. Yapılan deney sonucuna göre tempcore soğutma sisteminin betonarme çeliğininin yorulma ömrünü güçlendirdiği anlaşılmaktadır.
- 13) Tempcore sistemi ile üretilen betonarme çeliklerinin su ile temas süresinin artmasının martensit kalınlığını artırıp betonarme çeliğine mukavemet kazandırması pozitif yöndedir. Ancak su ile temas süresinin artmasının betonarme çeliğinde korozyon etkisi negatif bir etkiye neden olabilir. Bunun ile ilgili literatürde kapsamlı bir çalışma yapılmamıştır. Korozyon betonarme çeliklerinde önemi yüksek bir konu olduğu için tempcore soğutma sisteminin korozyon etkisi ayrıca incelenmelidir.
- 14) Elde edilen sonuçlar ile tempcore soğutma sisteminin betonarme çeliğinin mekanik özelliklerini güçlendirdiği anlaşılmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Noville, J. F., “Tempcore, the most convenient process to produce low cost high strength rebars from 8 to 75 mm”, *Centre for Research in Metallurgy (CRM)*, Liège, Belgium (2015)
2. Kığılı, E., “Üretim parametrelerinin beton çeliklerinin özelliklerine etkisi”, *İ.T.Ü. Araştırma Fonu Projesi*, İstanbul 1-2 (2003)
3. İnternet: Malzeme Test ve İnovasyon Laboratuvarları A.Ş., “Hurdadan Uzun Çelik Üretim Süreci” <http://www.matil.org/tr/haberler/celik-sektoru/celik-uretim-sureci685.html> (2015)
4. Öznergis, E., “Kalınlık kontrolü için sıcak haddeleme prosesinin modellenmesi” *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi* (2003)
5. Tankut, K., “Tempcore prosesi ile üretilen düşük alaşımlı nervürlü beton çeliklerinin karakteristiği” *Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul* (1995)
6. İ.D.Ç., “İsdemir Tempcore Eğitim Notları”, *T.D.Ç.İ. İsdemir Eğitim Yayınları*, İskenderun, (1997)
7. Kapil, S., Eberhard, P. and Dwivedy, S., K., “Nonlinear dynamic analysis of a parametrically excited cold rolling mill”, *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 136 (2014)
8. Esen, C., “Sonlu elemanlar analizi ile haddeleme parametrelerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Manisa (2019)
9. İnceayan, T. ve Koçali, İ., “Haddeleme Tekniğinin Esasları-I”, *Türkiye Demir Çelik İşletmeleri Eğitim Yayınları*, Ankara (1989).
10. Toptaş, C., “Yassı çelik haddelemede kullanılan sıcak şerit haddeleme hadde merdanelerinin aşınma parametrelerinin optimizasyonu ile servis ömürlerinin uzatılması” Yüksek Lisans Tezi *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul (2015)
11. Panjkovic, V. “Friction and the Hot Rolling of Steel”, 139-142 (2014)

12. Demirkol, M., “Plastik Şekil Verme Teknolojisi Ders Notları”, *İTÜ. Makina Mühendisliği*, İstanbul, 32-44 (2010)
13. Merzalı, C. E., “Zırh çeliklerinde kaynak sonrası ısı tesiri altında kalan bölgenin özelliklerinin ısı işlemi ile iyileştirilmesi” Yüksek Lisans Tezi *İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2013)
14. Çelik, D., “Endüstriyel bir tav fırınının enerji, ekserji ve ekonomik analizi” Yüksek Lisans Tezi, *Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Isparta (2019)
15. Abuluwefa, H. T., “Optimizing the process of steel slab reheating in pusher type reheat furnace prior to hot working”, *Applied Mechanics and Materials*, 325- 326 : 364-370 (2013)
16. Yıldırım, A., “Haddehane Tav fırınlarında ısı kayıpları ve enerji analizi” Yüksek Lisans Tezi, *İskenderün Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Hatay (2018)
17. Morgado, T., Coelho, P. and Talukdar, P. “Assessment of uniform temperature assumption in zoning on the numerical simulation of a walking beam reheating furnace” *Applied Thermal Engineering*, 496-508 (2015)
18. Hadra, M., “Çubuk haddehanesi tav fırınında enerji etüdü ve optimizasyonu” Yüksek Lisans Tezi *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı*, Kocaeli (2018).
19. Topçu, A. “Betonarme Eğitim Notları” *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği*, Eskişehir (2015).
20. İ.D.Ç. “İsdemir Tempcore Eğitim Notları”, *T.D.Ç.İ. İsdemir Eğitim Yayınları, İskenderun* (1997)
21. Ammerling, W.J., “Bar and rod mills – influence of design parameters on economics and properties of rolled products”, *Metallurgical Plant and Technology*, 46-47 (1984)
22. Şeşen, K., “Özel Çelikler Ders Notları”, *İ.T.Ü.Kimya-Metalurji Fakültesi, Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Bölümü*, İstanbul 120-122 (1999)
23. TS 708 / Nisan 2010 “Çelik-Betonarme İçin- Donatı Çeliği Standardı” *Türk Standartları Enstitüsü* (2010)
24. Speich, G. R., and Szirmai, A., “Formation of austenite from ferrite and ferritecarbide aggregates”, *Trans. Met. Soc. of AIME*, 1063–1075 (1969)
25. Barbar, M., “Sıcak haddelemede tempcore prosesindeki soğutma suyu debisinin nervürlü çeliğin özellikleri üzerindeki etkisi” Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük (2019)

26. Respen, Y., Lessel, G. and Steffes, G., “Application of the tempcore process to the fabrication of high yield strenght concrete reinforcing bars”, ***Economopoulos C.R.M***, Belçika (1975)
27. Bhadeshia, H.K.D.H., “High Performance Bainitic Steel”, ***Materials Science Forum***, 500-501: 63-74 (2005)
28. Giordano, L. Mutteazzi, P., Tiziani, A. And Zambon, A., “Retained austenite variation in dual-phase steel after mechanical stressing and heat treatment”, ***Mat. Sci. and Eng.***, A/31, 215-219 (1991)
29. Park, C. S., Yi, H. Y., Kim, Y. T., Han, S. W., Lee, T., and Moon, Y. H., “Tempcore process simulator to analyze microstructural evolution of quenched and tempered rebar” ***Applied. Sciences***, Korea (2019)
30. Bernstein, M. L. and Zaimovsky, V. A., “Mechanical Properties of Metals”, ***MIR Publishers***, Moskova, 89-91 (1983).
31. Özçelik, S., “Mantarı sertleştirilmiş raylarda yorulma davranışı incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, ***Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, İstanbul, 23-25 (2013)
32. Kayalı, E. S., Ensari, C. ve Dikeç, F., “Metalik malzemelerin mekanik deneyleri”, ***İTÜ Kimya Metalürji Fakültesi Ofset Atölyesi***, İstanbul (1990).
33. Emir, N. ve Korkmaz, S., “Yüksek mukavemetli çelik çubuklarının üretimde tempcore prosesi”, ***T.D.Ç.İ. İsdemir Eğitim Yayınları***, İskenderun, 105-107 (1988)
34. Simon, P., “Optimization of tempcore installazations foir rebars”, ***Metalurgical Plant And Techonology***, 2: 61-69 (1990)
35. İkiz, B., “Sıcak haddedeleme tempcore prosesi”, Yüksek Lisans Tezi, ***Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı***, Hatay (2009)

ÖZGEÇMİŞ

Özgür Galip DİKBAŞ, Karabük'te doğdu; ilköğretimi Karabük Demir Çelik 50.Yıl İlköğretim Okulu'nda tamamladı. Liseyi Karabük Fevzi Çakmak Lisesi'nde sayısal bölümünden mezun oldu. 2013 yılında başladığı Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünden 2018 yılında mezun oldu. 2018 Ekim ayında işletme mühendisi olarak başladığı Erhallar Demir Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ş.'de görevine devam etmektedir.