



ISSN:1306-3111
 e-Journal of New World Sciences Academy
 2009, Volume: 4, Number: 1, Article Number: 1A0002

ENGINEERING SCIENCES

Received: June 2008
 Accepted: January 2009
 Series : 1A
 ISSN : 1308-7231
 © 2009 www.newwsa.com

Oğuzhan Keleştemur
 Servet Yıldız
 University of Firat
 okelestemur@firat.edu.tr
 Elazig-Turkiye

DUAL-FAZ ISIL İŞLEMİ UYGULANMIŞ BETONARME ÇELİĞİNİN ÇEKME EĞRİSİNE TEMPERLEME ISIL İŞLEMİNİN ETKİSİ

ÖZET

Bu çalışmada, inşaat sektörünün temel yapı malzemesi olan ve yurdumuzda bol miktarda üretilen düşük karbonlu SAE1010 inşaat çeliğinden dual-faz çeliği üretilerek, elde edilen bu çeliğin kuvvet-uzama eğrisi üzerine temperleme ısıl işleminin etkisi incelenmiştir. İnşaat çeliğine, ($\alpha+\gamma$) bölgesinde 20, 40 ve 60 dk süre ile ostenitleme yapıldıktan sonra buz+sü karışımında su verilerek farklı martenzit hacim oranlarına sahip dual-faz çelikleri elde edilmiştir. Daha sonra bu dual-faz çelikleri 200, 300 ve 400 °C sıcaklıklarda 45 dk süre ile temperlenerek sakin havada soğutulmuştur. Elde edilen dual-faz çeliklerinin metalografik incelemeleri tamamlandıktan sonra, çekme deneyine tabi tutularak kuvvet-uzama eğrileri elde edilmiştir. Elde edilen bu eğriler yardımıyla numunelerin çekme dayanımı, akma dayanımı ve tokluk gibi mekanik özellikleri belirlenmiştir. Temperleme ısıl işlemi ile birlikte bu çeliklerin çekme ve akma dayanımı değerlerinin düştüğü, tokluk değerlerinin ise arttığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İnşaat Çeliği, Dual-faz Çeliği, Temperleme, Kuvvet-Uzama Eğrileri, Beton

EFFECT OF TEMPERING HEAT TREATMENT ON THE TENSILE CURVE OF REINFORCED STEEL SUBJECTED TO DUAL-PHASE HEAT TREATMENT

ABSTRACT

In this study, dual-phase steel by producing from SAE1010 structural carbon steel, which is the fundamental construction material of construction industry and wide range of product in our country, effect of tempering heat treatment on the tensile curve of this steel has been investigated. Dual-phase steel having different martensite volume ratio has been obtained by applying different quenching conditions; its ($\alpha+\gamma$) structure, is immersed into the ice+water medium and then it is annealed for various duration; 20, 40 and 60 minutes. Additionally, these dual-phase steels have been tempered at 200, 300 and 400 °C for 45 minutes and then cooled to the room temperature. After the metallographic examination of the steels has been done, load-elongation curves of these steels have been obtained. The mechanical properties as tensile strength, yield strength and toughness have been determined with aid of load-elongation curves. It is determined that tensile strength and yield strength values of the steels have reduced, toughness values has been also increased upon to the tempering heat treatment.

Keywords: Reinforcing Steel, Dual-Phase Steel, Tempering, Load-Elongation Curves, Concrete



1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Özellikle otomotiv endüstrisinde yüksek dayanımlı çeliklere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyaç konstrüksiyonun yüksek dayanımlı ve daha düşük ağırlıkta olması arzusundan kaynaklanmaktadır. Bu nedenle yüksek dayanımlı düşük alaşımlı (HSLA) çelikler geliştirilmiştir [1].

1970'li yılların ortalarında yaşanan petrol krizi, otomobillerde yakıt tüketimini azaltıcı yönde önlemler alınmasını gerektirmiştir. Bu amaçla daha hafif otomobillerin üretimi için mukavemet/ağırlık oranı yüksek malzemelerin kullanımı gündeme gelmiştir. Konvansiyonel çelikler ile mukayese edildiğinde plastik şekil verilebilirlik özellikleri iyi olmayan HSLA çeliklerin bu dezavantajı bu alanda yeni malzemelerin gerekliliğini ortaya koymuştur. Bundan dolayı, HSLA çeliklerinin bir türü olan dual-faz (DP) çelikleri geliştirilmiştir [2, 3, 4 ve 5].

DP çeliklerinin mikroyapıları; yumuşak ferrit fazı ile birlikte, sert martenzit fazlarından oluşmaktadır. Martenzitin perlitte göre daha sert, dayanıklı ve hatta az da olsa uzama kabiliyeti yüksektir. Bunların bir sonucu olarak, DP çelikleri mekanik özellikler açısından ferrit-perlit faz karışımından oluşan çeliklere göre daha üstündür [6, 7, 8 ve 9].

Yapılan araştırmalar, dual-fazlı çeliklerin üretildikleri çeliklere göre yüksek akma ve çekme dayanımı, yüksek pekleşme (sertleşme), yorulma direnci ve düşük süneklik özelliklerine sahip olduğunu göstermiştir. Üretildikleri çeliklere göre, üstün mekanik özellikleri parça ağırlığının %15-20 oranında azalmasını sağlamaktadır [10 ve 11]. Bu özelliklerinden dolayı dual-fazlı çelikler özellikle otomotiv endüstrisinin vazgeçilmezi haline gelmiştir.

Doğal afetler sonucu meydana gelebilecek maddi ve can kaybını en aza indirmek için betonarme yapılarda dayanıklılığın artırılması gerekmektedir. Bu durum beton takviye elemanlarının daha üstün mekanik özelliklere sahip olması ile sağlanabilir. Beton takviye elemanı olarak kullanılan ferritik-perlitik çeliklerin yerine, yine bu çeliklerden üretilen ve üstün mekanik özelliklere sahip olan ferritik-martenzitik çeliklerin kullanılması betonarme yapıların dayanımını artırabilir. Dual-fazlı çeliklerin beton takviye elemanı olarak kullanılması için araştırmalar mevcut olmakla birlikte henüz yeterli olgunluğa ulaşmamıştır [6, 7, 12 ve 13]. Bu nedenle bu konu araştırmaya açıktır. Ayrıca, DP yapısı kazandırılmış inşaat çeliğinin mekanik özellikleri üzerine temperleme ısıl işleminin etkisi ile ilgili bir çalışmanın literatürde mevcut olmaması da yapılan bu çalışmaya farklılık sağlamıştır. İnşaat çeliğinin mekanik dayanımının artırılmasının ülke ekonomisi ve insan hayatı bakımından önemi ortadadır.

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Bu çalışma, inşaat sektörünün temel yapı malzemesi olan düşük karbonlu SAE1010 inşaat çeliğine dual-faz mikroyapısı kazandırmak ve elde edilen DP çeliğine temperleme ısıl işlemi uygulanarak kuvvet-uzama eğrilerinde meydana gelen değişimi belirleyebilmek amacıyla yapılmıştır.

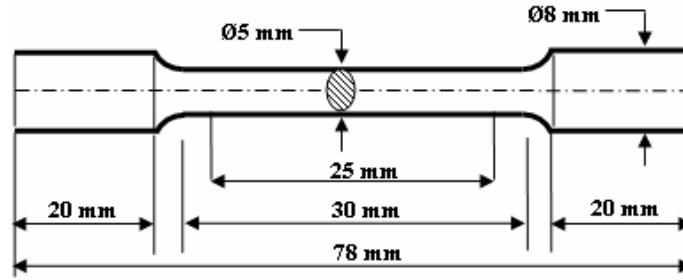
3. MATERYAL VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

DP çeliği elde edebilmek amacıyla İskenderun Demir ve Çelik Fabrikalarında üretilmiş 12 mm çapındaki SAE1010 inşaat çeliği kullanılmıştır. Bu çeliğin kimyasal analizi Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Çeliğin Kimyasal Analizi
(Table 1. Chemical Composition of the Steel)

Alaşım Elemanı	C	Si	Mn	Al	P	S
% Ağırlık	0.17	0.23	0.55	0.00	0.01	0.02
	6	1	7	8	1	7

Tablo 1'de kimyasal analizi verilen bu çelikten metalografik incelemelerde kullanılmak üzere 15 mm boyunda küçük numuneler kesilmiştir. Ayrıca, çekme deneyi içinde numuneler kesilip tornalanarak Şekil 1'de gösterilen ölçülere uygun hale getirilmiştir.



Şekil 1. Çekme Deney Numunesi
(Figure 1. Configuration of the Tensile Specimen)

Hazırlanan numuneler, A_1 - A_3 kritik sıcaklıkları arasında ki çalışma sıcaklığında ostenitlenmiştir. A_1 ve A_3 kritik sıcaklıkları ısıl işlem görmüş numunelerin mikroskopik incelemeleri sonucu belirlenmiştir. Bu amaçla, 680 °C başlangıç sıcaklığından itibaren, sıcaklık 10 °C artırılarak, her sıcaklıkta 30 dk bekletilen numuneler buzlu suda hızla soğutulularak mikroyapısı incelenmiştir. Bu şekilde, 730 °C'de martenzit tanelerinin yeterince oluştuğu belirlenmiş ve 730 °C A_1 sıcaklığı olarak belirlenmiştir. Aynı işleme devam edilerek, A_3 sıcaklığı 840 °C olarak tespit edilmiştir. 840 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ostenitin düşük karbon içeriğinden dolayı, yeterli martenzit dönüşümü sağlanamamıştır. 730 °C'nin altında ise, perlitin dönüşümü yeterince sağlanamamıştır. Ostenit fazının karbon oranını yüksek tutmak amacıyla çalışma sıcaklığı olarak 730 °C seçilmiş ve bu sıcaklıkta ostenitleme yapılmıştır. Çalışma sıcaklığında farklı oranlarda ostenit fazı elde etmek için ostenitleme süreleri farklı tutulmuştur. Bu amaçla, 730 °C çalışma sıcaklığında 20, 40 ve 60 dakika süre ile tavlanan numuneler buz + su (+1 °C) karışımından meydana gelen soğutma ortamında hızla soğutulmuştur.

Su verilen numunelerin tamamına 200, 300 ve 400 °C sıcaklıklarda 45 dakika süreyle temperleme ısıl işlemi uygulanmıştır. Temperlenen numuneler sakın havada soğutulmuştur.

Tüm ısıl işlemler ± 1 °C hassasiyetinde sıcaklık kontrolü cihazına sahip olan, nötr tuz banyosu ile ortam kontrolü sağlanan tav fırınında yapılmıştır.

Metalografik incelemelerde kullanılmak üzere kesilen numuneler, ısıl işleminin tamamlanmasının ardından zımparalama, parlatma ve dağlama işlemleri için bakalite alınmıştır. Standart metalografik parlatma ve %2'lik nital ile dağlama işlemlerinin ardından numuneler optik mikroskopta 100 büyütmede incelenerek, her numunenin kenarından merkezine doğru 5 farklı noktasından fotoğrafı çekilmiştir. Elde edilen bu fotoğraflar üzerinden, ASTM E112 standardında belirtilen lineal analysis yöntemi ile faz hacim oranları tayin edilmiştir [14].

Mikroyapıda yer alan fazların sertlik değerlerinin bulunması için ısıl işlem görmüş numunelerin ferrit ve martenzit, kontrol numunesinin ise ferrit ve perlit fazı mikrosertliği ölçülmüştür. Mikrosertlik

ölçümleri "Leitz" mikrosertlik cihazında, 15 gr ağırlık kullanılarak yapılmıştır. Mikrosertlik değerleri HV (Vickers Hardness) olarak belirlenmiştir. Bu amaçla, her numunenin kenarından merkezine doğru 100 adet ölçüm yapılarak elde edilen değerlerin ortalaması alınmıştır. Çekme deneyi, 50 kN yüklemeye kapasitesine sahip "Hounsfield" marka çekme cihazında 10 mm/dk çene hızıyla gerçekleştirilmiştir. Deney esnasında cihaza bağlı olan x-y grafik çizicisi ile kuvvet-uzama eğrileri elde edilmiştir. Elde edilen bu eğrilerinden faydalanılarak çekme dayanımı, akma dayanımı ve tokluk değerleri belirlenmiştir. Isıl işlem görmemiş çelik ile bu çelikten elde edilen dual-faz çeliğinin çekme özellikleri, her biri için en az üçer adet çekme numunesinin deneye tabi tutulmasıyla belirlenmiştir.

Üzerinde çalışılan numuneler ve yapılan işlemler Tablo 2'de verilmiştir.

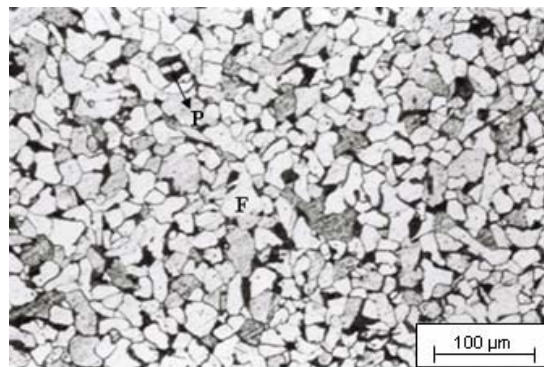
Tablo 2. Numune Kodları ve Açılımları
(Table 2. Codes and Definitions of the Specimens)

Numune	Östenitleme Sıcaklığı ve Süresi	Temperleme Sıcaklığı ve Süresi
C	---	---
D20	730 °C, 20 dk	---
D22	730 °C, 20 dk	200 °C, 45 dk
D23	730 °C, 20 dk	300 °C, 45 dk
D24	730 °C, 20 dk	400 °C, 45 dk
D40	730 °C, 40 dk	---
D42	730 °C, 40 dk	200 °C, 45 dk
D43	730 °C, 40 dk	300 °C, 45 dk
D44	730 °C, 40 dk	400 °C, 45 dk
D60	730 °C, 60 dk	---
D62	730 °C, 60 dk	200 °C, 45 dk
D63	730 °C, 60 dk	300 °C, 45 dk
D64	730 °C, 60 dk	400 °C, 45 dk

4. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

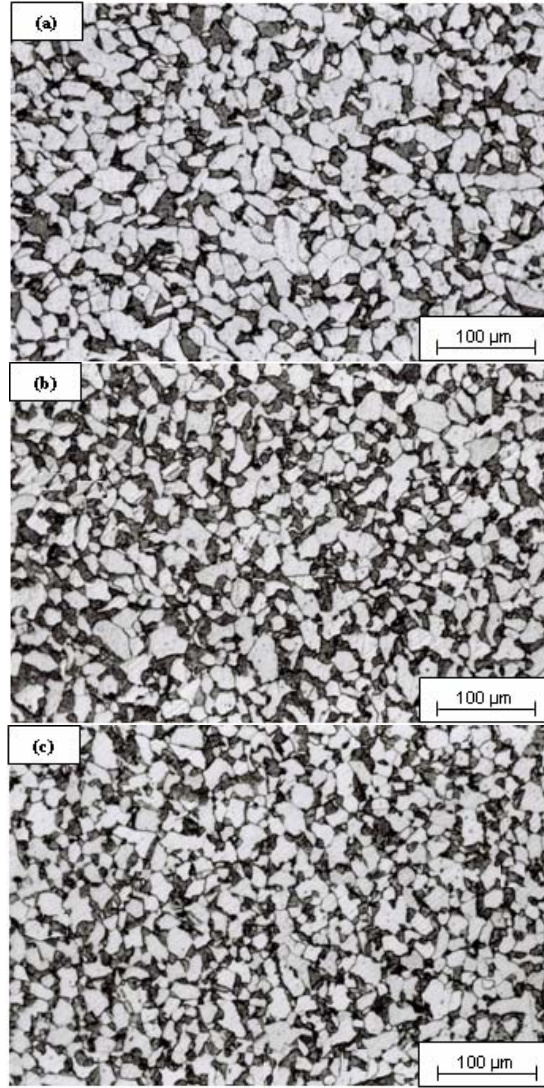
4.1. Mikroyapı (Microstructure)

Yumuşak ferrit yapı içerisinde üniform olarak dağılmış perlit kolonilerinden oluşan yapıya sahip işlemsiz numunenin optik mikroskop görüntüsü Şekil 2'de verilmiştir. Fotoğraf üzerindeki açık alanlar ferrit (F), koyu alanlar ise perlit (P) yapısını göstermektedir.



Şekil 2. C Numunesinin Mikroyapı Fotoğrafı
(Figure 2. Microstructure Photography of C Specimen)

DP çeliklerinin mikroyapı fotoğrafı Şekil 3'de verilmiştir. Fotoğraflar üzerindeki açık alanlar ferrit fazını, koyu alanlar ise martenzit fazını ifade etmektedir.



Şekil 3. Dual-Faz Çeliklerinin Mikroyapı Fotoğrafları: **(a)** D20, **(b)** D40 ve **(c)** D60

(Figure 3. Microstructures of Dual-Phase Steels: **(a)** D20, **(b)** D40 and **(c)** D60)

C numunesinin çalışma sıcaklığında ostenitlenerek buzlu suda hızla soğutulması neticesinde, ferrit tanelerini çevreleyen ince martenzit tanelerinin oluştuğu Şekil 3'den görülmektedir. Elde edilen bu yapı literatüre uygunluk göstermektedir [6, 7, 10, 12 ve 13]. Ostenitleme süresindeki artışa bağlı olarak ferrit taneleri küçülmekte, martenzit hacim oranı (MHO) ise artmaktadır. Ostenitleme süresine bağlı olarak fazların hacim oranları ve boyutlarında meydana gelen bu değişim Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Numunelerin Faz Hacim Oranları ve Tane Boyutu Değerleri
(Table 3. Phase Ratios and Grain Sizes of the Specimens)

Numune	MHO (%)	Ferrit Tane Boyutu (µm)	Martenzit Tane Boyutu (µm)	Ortalama Tane Boyutu (µm)
C	13.71*	44.61	18.69**	38.43
D20	22.68	43.99	21.37	36.03
D40	28.06	40.12	21.28	31.63
D60	30.58	39.3	22.74	30.3

* Perlit Hacim Oranı, ** Perlit Tane Boyutu

Ostenitleme süresindeki artışa bağlı olarak martenzit hacim oranında meydana gelen artışın sebebi, süre uzadıkça ostenit fazının miktarının artmasına bağlanmaktadır [15, 16 ve 17]. Tablo3'den anlaşılacağı gibi, ostenitleme süresindeki artış ile birlikte martenzit tane boyutunda bir miktar artış meydana gelirken, ferrit tane boyutunda azalma meydana gelmiştir. Çünkü ostenit, önce perlit tanelerinden dönüşmektedir. Dönüşümün ilerlemesi, ferrit taneleri içerisinde olduğundan, ferrit taneleri küçülürken, ostenit taneleri büyümektedir. Ferrit tane boyutundaki bu küçülme sebebiyle mikroyapıyı oluşturan fazların ortalama tane boyutunda da küçülme meydana gelmiştir [18].

4.2. Mikrosertlik Ölçümleri (Microhardness Measurements)

Elde edilen mikrosertlik değerleri Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. Numunelerin Ferrit ve Martenzit Fazı Mikrosertlik Değerleri
(Table 4. Microhardness Values of the Ferrite and Martensite Phases in the Specimens)

Numune	Ferrit Fazı Sertliği, (HV)	Martenzit Fazı Sertliği, (HV)
C	157.6	298.6*
D20	249.9	1052.3
D22	222.2	867.1
D23	200.9	714.1
D24	191.7	520.1
D40	254.4	926.3
D42	224.3	781.7
D43	204.4	651.8
D44	198.5	504.4
D60	266.7	832.9
D62	226.1	758.5
D63	210.4	621.0
D64	202.6	468.6

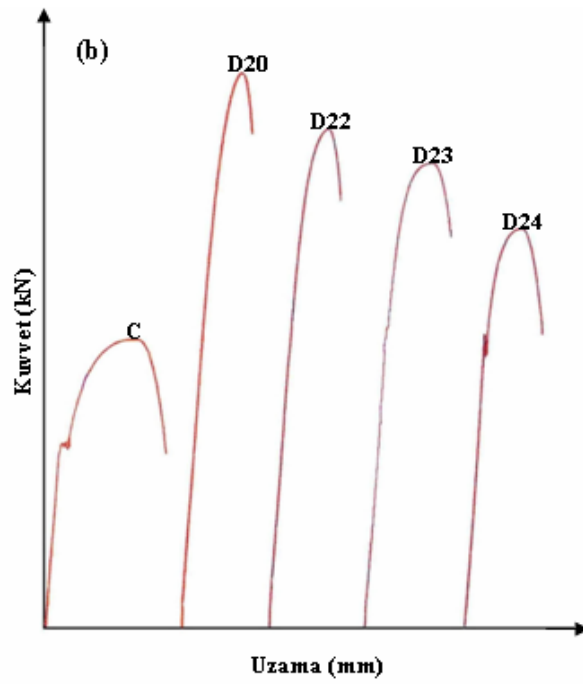
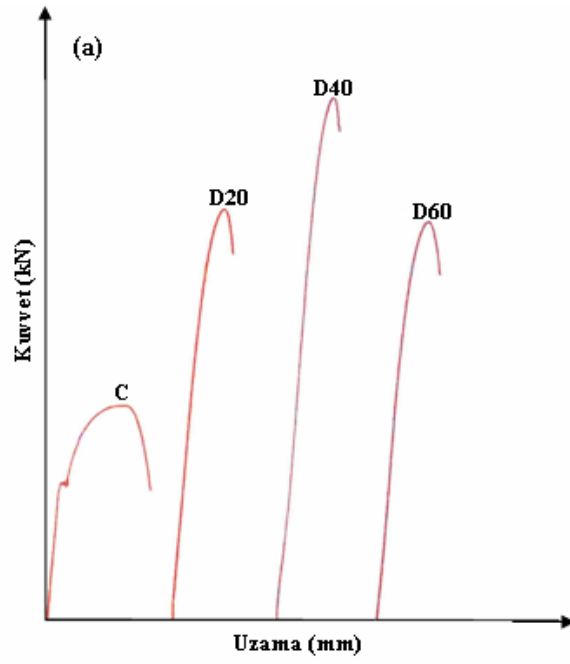
* Perlit Fazı Sertliği

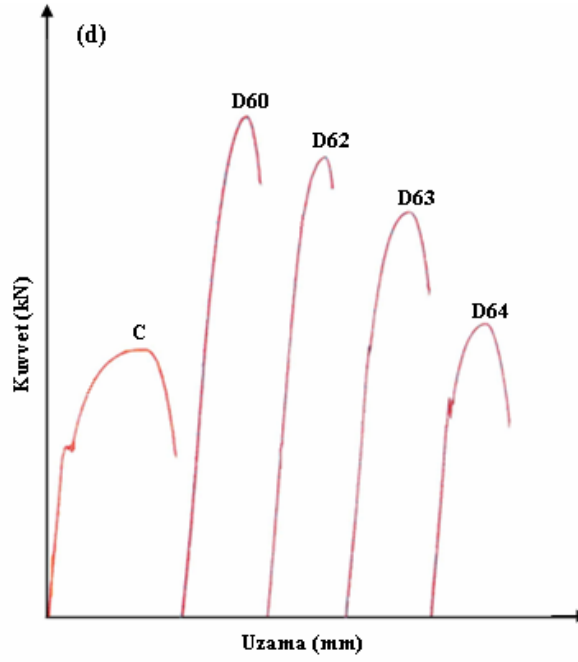
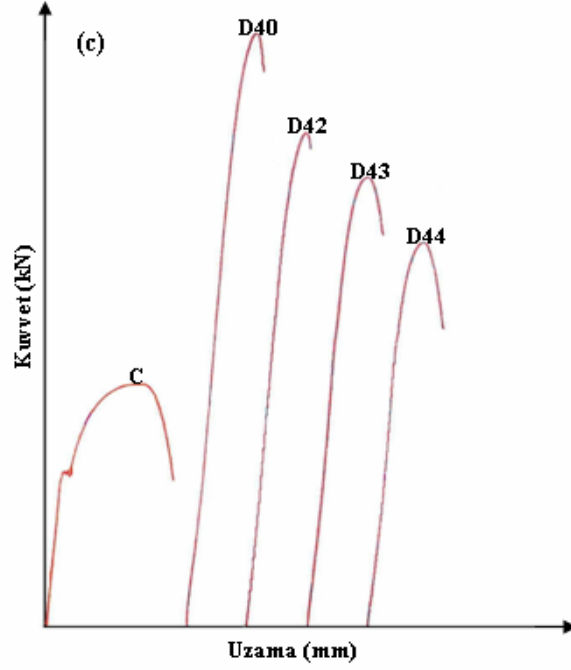
Tablodan anlaşılacağı gibi, işlem görmüş numunelerdeki ferrit fazının sertliği işlemsiz numunenin sertliğinden yüksektir. Bu sonuç iki sebebe bağlanabilir. Birinci sebep, ostenitleme ve hızlı soğutma sebebiyle, ferrit fazı içerisinde karbon miktarının artmasıdır. İkinci sebep ise, hızlı soğutma sırasında ostenit fazının, martenzit fazına dönüşmesi ile meydana gelen hacim artışına bağlı olarak, ferrit fazındaki deformasyon sertleşmesidir [10]. Martenzit fazının artmasıyla birlikte ferrit fazının deformasyon oranı da artar. Bu nedenle ferrit fazının sertliği artmıştır.

Temperlenmiş numunelerde temper sıcaklığının artmasına karşılık, hem ferrit hem de martenzit fazının sertliği azalmaktadır. Martenzit fazının sertliğinin azalması beklenen bir sonuçtur. Temperleme sıcaklığındaki artışa bağlı olarak ferrit fazının sertliğinin azalmasının sebebi, temper işleminin ferrit fazındaki iç gerginlikleri azaltması ve bu faz içerisindeki karbon atomlarının fazdan ayrılmasına bağlanabilir.

4.3. Çekme Deneyi Sonuçları (Results of Tensile Experiment)

Çekme deneyi neticesinde elde edilen kuvvet-uzama eğrileri Şekil 4(a), (b), (c) ve (d)'de verilmiştir. Kuvvet-uzama eğrileri üzerinden hesaplanan çekme dayanımı (σ_{max}), akma dayanımı ($\sigma_{0,2}$) ve tokluk (W) değerleri Tablo 5'de verilmiştir.





Şekil 4. Numunelerin Kuvvet-Uzama Eğrileri
(Figure 4. Load-Elongation Curves of the Steels)

Tablo 5. Numunelerin Mekanik Özellikleri
(Table 5. Mechanical Properties of the Specimens)

Numune	$\bar{\sigma}_{max}$ (N/mm ²)	$\bar{\sigma}_{0,2}$ (N/mm ²)	W (N/mm ²)
C	455	313	118
D20	827	681	65
D22	681	561	73
D23	611	466	86
D24	594	423	91
D40	900	812	61
D42	758	675	67
D43	680	582	75
D44	627	534	81
D60	739	591	78
D62	672	519	80
D63	580	452	81
D64	507	358	85

Şekil 4(a)'dan görüleceği üzere, elde edilen dual-faz çeliklerinde çekme deneyi esnasında sabit akma noktası (üst ve alt akma noktası) görülmemiştir. Bu durum, dual-faz çelikleri için karakteristik bir özelliktir. Ferrit-ostenit bölgesindeki sıcaklık aralığında oluşan ostenitin martenzite dönüşümü sırasında meydana gelen %2-4 oranındaki hacim genişlemesi, ferrit fazının plastik deformasyonuna sebep olduğundan, ferrit tanelerinin ferrit-martenzit ara yüzeyine yakın bölgelerinde serbest dislokasyonlar ve kalıntı gerilmeler oluşmaktadır. Bu serbest dislokasyonlar, kalıntı gerilmelerin tesiri ile dislokasyon yoğunluğu düşük olan ferrit tanelerinin iç bölgelerine kolayca ilerleyebildiklerinden, dual-fazlı çeliklerde sürekli akma meydana gelmektedir [19]. Temperleme sıcaklığındaki artışa bağlı olarak iç gerginlikler azalmaktadır. Bu nedenle, özellikle 400 °C'de temperlenen dual-faz çeliklerinde akma bölgelerinde süreksizlik meydana gelmiştir. Bu durum, Şekil 4(b), (c) ve (d)'de verilen kuvvet-uzama eğrilerinden görülmektedir.

Tablo 5'den anlaşılacağı üzere, bütün DP numunelerinin çekme dayanımı ve akma dayanımı değerleri işlemsiz numuneden yüksektir. Tokluk değerleri ise düşüktür. Bu durum, ısıl işlem görmüş numunelerde, perlit fazı yerine martenzit fazının bulunmasına bağlanır [17, 20 ve 21].

Dual-faz yapısı kazandırılmış numuneler kendi aralarında karşılaştırıldığında, temperleme sıcaklığının artmasına bağlı olarak akma ve çekme dayanımı değerlerinin azaldığı tokluk değerlerinin ise arttığı gözlenmiştir. Bu değerler, ostenitleme süresine göre karşılaştırılacak olursa, akma ve çekme değerlerinin en yüksek, tokluk değerlerinin en düşük olduğu ostenitleme süresi 40 dakikadır. 20 dakika ostenitleme süresinde martenzit fazı sertliğinin en yüksek olmasına karşılık, MHO düşüktür, 60 dakika ostenitleme süresinde ise MHO'nun artmasına karşılık martenzit fazı sertliği düşmüştür. Hâlbuki 40 dakika ostenitleme süresinde, fazların sertlik ve oranları, mukavemet değerlerini en yüksek olacak şekilde etkilemiştir.

Ayrıca, 40 dakika ostenitleme süresi sonunda martenzit tane boyutunda meydana gelen küçülmenin, bu ostenitleme süresindeki çekme dayanımının yüksek çıkmasının bir diğer sebebi olabileceği düşünülmektedir.



5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Dual-faz mikroyapısı kazandırılmış inşaat çeliğinin kuvvet-uzama eğrileri üzerine temperleme ısıl işleminin etkisini belirlemek amacıyla yapılan bu çalışma neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenmiştir.

- Yapılan çalışma ile inşaat çeliğinden, ($\alpha+\gamma$) bölgesinde ostenitleme ve su verme işlemiyle mekanik özellikleri geliştirilmiş bir dual-faz çeliğinin imal edilebileceği ortaya konmuştur.
- Elde edilen dual-faz yapısındaki fazların hacim oranları ve tane boyutları ostenitleme süresine bağlı olarak değişmiştir. Artan ostenitleme süresi ile martenzit hacim oranı artmış, tane boyutu küçülmüştür.
- Ostenitleme süresi ve temperleme sıcaklığına bağlı olarak dual-faz yapısındaki fazların sertliği değişmiştir. Artan ostenitleme süresi ile birlikte ferrit fazı sertliği artarken, martenzit fazı sertliği azalmıştır. Ancak, temperleme sıcaklığındaki artışa bağlı olarak her iki fazın sertliğinde azalma meydana gelmiştir.
- Elde edilen dual-faz çeliklerinde çekme deneyi esnasında sabit akma noktası (üst ve alt akma noktası) görülmemiştir. Ancak, temperleme ısıl işlemi sonrasında dual-faz çeliklerinin akma bölgelerinde temperleme sıcaklığındaki artışa bağlı olarak süreksizlik meydana gelmiştir.
- Elde edilen dual-faz çeliklerinin mukavemeti martenzit fazının sertlik ve oranına bağlı olarak değişmiştir.
- Dual-faz yapısı kazandırılmış numunelerde temperleme sıcaklığının artmasına bağlı olarak akma ve çekme dayanımı değerlerinin azaldığı, tokluk değerlerinin ise arttığı gözlenmiştir.

TEŞEKKÜR/THANKS

Bu çalışma FÜBAB 1119 nolu proje kapsamında ve Prof.Dr. Mustafa AKSOY ve Y.Doç.Dr. Servet YILDIZ danışmanlığında tamamlanan doktora tezinden derlenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Hayami, S., Furukawat, T., (1977). A Family of High-Strength, Cold Rolled Steels, Micro Alloying 75, Union Carbide, pp: 311-321, New York.
2. Cai, X. L., Feng, J. and Owen, W. S., (1985). The Dependence of Some Tensile and Fatigue Properties of a Dual-Phase Structures from Different Starting Microstructures, Metallurgical Transactions A, 16, pp: 543-557.
3. Chen, H. C., Cheng, G. H., (1989). Effect of Martensite Strength on the Tensile Strength of Dual Phase Steels, Journal of Mater. Sci., 24, pp: 1991-1994.
4. Ishihara, T., (1983). Microstructural Effect of Fatigue Crack Growth in a Two-Phase Steels, Journal of Mater. Sci., 18, pp: 103-108.
5. Ball, A., Chauhan, Y. and Schaffer, G. B., (1987). Microstructure, Phase Equilibria and Transformations in Corrosion Resistant Dual Phase Steel Designated 3CR12, Mater. Sci. Technol., 3, pp: 189-196.
6. Trejo, D., Monteiro, P., Thomas, G. and Wang, X., (1994). Mechanical Properties and Corrosion Susceptibility of Dual-Phase Steel in Concrete, Cement and Concrete Research, Vol. 24, No. 7, pp: 1245-1254.



7. Trejo, D., Monteiro, P., Gerwick B. and Thomas G., (2000). Microstructural Design of Concrete Reinforcing Bars for Improved Corrosion Performance, *ACI Journal*, 97, pp: 78-83.
8. Chen, D. L., Wang, Z. G., Jiang, X., Ai, S. H. and Shih C. H., (1987). Near-Threshold Corrosion Fatigue Crack Growth in Dual-Phase Steels, *Scripta Metallurgica*, Vol. 21, No. 12, pp: 1663-1667.
9. Wang, Z., Ai, S., (1986). Corrosion Fatigue Behavior of an as-rolled Dual Phase Steel, *Scripta Metallurgica*, Vol. 20, No. 12, pp: 1733-1738.
10. Aksoy, M., (1985). İnşaat Çeliğinin Mekanik Özelliklerinin Dual-Faz Yöntemiyle Geliştirilmesi Üzerine Bir Çalışma, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elazığ.
11. Speich, G. R., (1997), Dual Phase Steels, Heat Treating, *ASM Handbook*, Fifth Printing, pp: 424-429.
12. Aksoy, M., Esin, A., (1988). Improving the Mechanical Properties of Structural Carbon Steel by Dual-Phase Heat Treatment, *J. Materials Engineering*, 10(4), pp: 281-287.
13. Keleştemur, O., Yıldız, S., (2008). Effect of Various Dual-Phase Heat Treatments on the Corrosion Behavior of Reinforcing Steel Used in the Reinforced Concrete Structures, *Construction&Building Materials*, Article in Press.
14. Speich, G. R., Szirmae, A., (1969). Formation of Austenite from Ferrite and Ferrite-Carbide Aggregates, *Trans. Met. Soc. of AIME*, Vol. 245, pp: 1063-1075.
15. Rigsbee, J. M., Vanderarend, P., J., (1977). Laboratory Studies of Microstructures and Structure-Property Relationships in Dual-Phase HSLA Steels, Paper Presented at TMS-AIME Fall Meeting, pp: 56-86, Chicago.
16. Morrow, J., Tither, G., (1978). Molybdenum in Interferically Annealed Dual-Phase Steel Strip, *Journal Metals*, pp: 16-19.
17. Aksoy, M., (1989). Dual-faz Çeliklerin Mekanik Özelliklerine Mikroyapının Etkisi, 3.Denizli Malzeme Sempozyumu Bildirisi, ss: 33-44.
18. Keleştemur, O., (2008). Betonarme Yapılarda Dual-Faz Çeliğinin Kullanılabilirliğinin ve Korozyon Direncinin Araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
19. Mould, P. R., Skena, C. C., (1977). Structure and Properties of Cold-Rolled Ferrite-Martensite Steels, Formable HSLA and Dual-Phase Steels, ed. By: Devanport A. T. AIME, pp: 128-143.
20. Tamura, I., Tomata, Y., Akao, A., Yamaoha, Y., (1973). On the Strength and Ductility of Two Phase Iron Alloys, *Transactions of ISIJ*, 13, pp: 283-293.
21. Davies, R. G., (1978). The Deformation Behaviour of a Vanadium Strengthened Dual-Phase Steel, *Met. Trans.*, A:9, pp: 41-52.