



Makale / Research Paper

Sıcak Haddelenmiş Düşük Karbonlu Gemi İnşa Çeliklerinin Farklı Ortamlarda Soğutulmasının Mekanik Özelliklerin Değişimine Tesirinin İncelenmesi

Mehmet AKKAŞ^{a*}, Osman ÇULHA^b

^aKocaeli Haddecilik San. Tic. ve A.Ş. Yeni Foça Yolu Üzeri 3.Km İzmir/TÜRKİYE

^bManisa Celal Bayar Üniversitesi Müh. Fak. Met. ve Malz. Müh. Böl. 45140 Manisa/TÜRKİYE

m.akkas@kocaergroup.com, osman.culha@cbu.edu.tr

Received/Geliş: 21.06.2018

Revised/Düzeltilme: 06.08.2017

Accepted/Kabul: 27.08.2017

Öz: Çalışmada, sıcak haddelenmiş düşük karbon içeriğine sahip gemi inşasında kullanılan çelik numunelere aynı östenitleme sıcaklığı tatbik edilip, farklı soğuma ortamlarında soğuma işlemi gerçekleştirilerek malzemenin mekanik özelliklerine ve iç yapısına olan etkileri araştırılmıştır. Malzemeler programlanabilir devre kontrollü kutu fırında 960 °C sıcaklığa çıkarılmış ve 23,5 dakika bekletilmiştir. Yağda, suda, fanda ve fırında soğumaya tabii tutulup standart numune ile kıyaslanmıştır. Çekme testleri, çentik darbe testleri, mikro sertlik ölçümleri neticesinde yapıdaki farklılaşmalar tespit edilmiştir ve optik mikroskoptan alınan içyapı görüntülerinden mikro ölçekte malzemedeki değişim gözlemlenmiştir. Tatbik edilen deneyler neticesinde 960 °C'den farklı ortamlarda soğumaya bırakılan numunelerde su, yağ, standart, fan ve fırın dizilimiyle gevreklikte düşme ve dayanımda artma olduğu sonucuna varılmıştır

Anahtar kelimeler: Çekme Dayanımı, Çentik Deneyi, Östenitleme, İçyapı, Mikro Sertlik.

Investigation of the Effect of Cooling of Hot Rolled Low Carbon Ship Building Steels in Different Media on the Change of Mechanical Properties

Abstract: In this study, the same austenitizing temperature was applied to the steel samples used in construction of ship building with hot rolled low carbon content and the cooling properties of different cooling media were investigated to investigate the mechanical properties and internal structure of the material. The materials were warmup to 960 °C temperature and waited for 23.5 minutes in the box furnace with the programmable circuit control. It is subjected to cooling in oil, in water, at fan and at oven and compared with standard sample. As a result of tensile tests, notch impact tests, micro hardness measurements, structural variations were determined and microstructural changes were observed in microstructure images taken from an optical microscope. As a result of the experiments carried out, water, oil, standard, fan and oven were decreased in brittleness and increase in strength respectively in samples cooled at 960 °C.

Keywords: Tensile Strength, Notch Experiment, Austenitization, Internal Structure, Micro Hardness.

1. Giriş

Gelişen teknolojik ihtiyaçlar doğrultusunda geliştirilen tasarımların ve bu tasarımlarda kullanılan yarı mamullerin maksimum özgül mukavemete sahip olması gemi inşa, otomotiv ve savunma sanayi başta olmak üzere birçok sektörde beklenen bir özellik haline gelmiştir [1-3].

Bu makaleye atıf yapmak için

Akkaş, M., Çulha O., "Sıcak Haddelenmiş Düşük Karbonlu Gemi İnşa Çeliklerinin Farklı Ortamlarda Soğutulmasının Mekanik Özelliklerin Değişimine Tesirinin İncelenmesi" El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2018 5(3); 862-874

How to cite this article

Akkaş, M., Çulha O., "Investigation of the Effect of Cooling of Hot Rolled Low Carbon Ship Building Steels in Different Media on the Change of Mechanical Properties" El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2018, 5(3); 862-874

Haddelme yöntemi ile çelik profil üretiminde ise, beklenen yüksek özgül mukavemet özelliğini sağlayan mukavemet, süneklik ve tokluk gibi özellikler kimyasal kompozisyona, mikroyapıya bağlı olarak değişim göstermektedir. Demir esaslı malzemelerde mikroyapı mikro-alaşımına yöntemlerinin yanı sıra haddelme prosesi gibi termomekanik işlemler ile de geliştirilebilmektedir. Sıcak haddelmenin son aşaması olan soğuma prosesinin kontrollü bir şekilde ve en uygun soğutucu akışkanın kullanılması ile tasarlanması içyapıda kırılma fazların oluşumunu kontrol altında tutarak ince taneli mikroyapıya sahip profillerin elde edilmesini sağlayarak demir esaslı profillerin özgül mukavemet değerlerinin yükseltilmesinde etkili olmaktadır[4-8].

Gemi inşa sektöründe kullanılan ve sıcak haddelme tekniği ile üretilen asimetric kesitli çelik profillerin mekanik özelliklerinin incelenmesine ilişkin literatürde bir dizi çalışma bulunmasına rağmen[9-12]., asimetric kesite sahip gemi inşa profillerinin sıcak haddelme ile üretimindeki soğuma prosesinde kullanılan farklı soğuma şartlarının profilin mekanik ve metalurjik özelliklerine olan etkisini içeren çalışma bulunmamaktadır.

Akma dayanımı, soğutma oranlarının 5°C/s 'den 1000°C/s 'ye çıkmasıyla artar. Maksimum çekme dayanımı, n değerleri ve uzama oranları tüm farklı soğutma oranlarında çok az değişmektedir[13]. Zhou X. ve arkadaşları, 2017 yılında yaptıkları çalışmada; soğutma hızı ile östenit öncesi tane boyutunun değişiminin delta ferritin tamamlanmamış bir transformasyonu ile ilgili olduğunu, delta ferrit miktarlarının makul soğutma oranı (30 ve 50°C/s) altında en küçük değerleri sergilediğini, martenzit başlangıç sıcaklığının 200°C/s 'de 1°C/s deki değerinden daha küçük olduğunu, ancak 30 ve 50°C/s değerinden daha büyük olduğunu, martenzit başlangıç sıcaklığı östenit tane büyüklüğü ve göreceli delta ferrit miktarı ile yakından ilişkili olduğunu vurgulamışlardır[14].

Hui W. ve arkadaşları, 2016 yılında gerçekleştirdikleri çalışmada; gleeble-3800 termal simülöründe tekli sıkıştırma deneyleri kullanarak sıcak deformasyondan sonra iki seviye vanadyum içeriğine sahip (% 0,15 V ve % 0,28 V) mikro alaşımlanmış bir tür orta karbon çeliğinin mikroyapısı ve sertliği üzerindeki soğuma hızının etkisini bildirmişlerdir[15].

Güler H. ve arkadaşlarının 2014 yılındaki çalışmalarında yüksek karbon içeriğine sahip malzemeye su verme işleminin dayanıma etkilerini incelemişlerdir. Fırında bekletme ve soğutma sonrasında yaptıkları çekme ve sertlik deneyleri sonrasında malzemenin gevrekleşmesiyle birlikte dayanımının düştüğü sonucuna varmışlardır[16].

Çalığülü U. ve arkadaşları 2016'da iki farklı kompozisyona sahip mikroalaşımlı çelik malzemeyi 900°C tavlama ve yağ ortamında soğutmaya uygulamışlardır. Soğutulan malzemeleri daha sonrasında 300°C , 400°C ve 500°C sıcaklıklarda temperleme işlemine tabii tutup malzemenin mekanik ile mikroyapısal özelliklerinin değişimini incelemişlerdir. Bunun neticesinde temperleme sıcaklığına bağlı olarak martenzitik yapıdan beytinik yapıya dönüşümün gerçekleştiğini ve sertlik değerlerinde de düşme olduğunu gözlemlemişlerdir[17].

Uzkut M. ve arkadaşları 2001 yılında yaptıkları çalışmada, düşük karbon, orta karbon ve düşük alaşım seviyesine sahip çeliklerin farklı ısıtma hızlarına sahip ortamlarda mekanik özelliklerinin değişimini incelemişlerdir. Isıtma ortamı olarak; oda sıcaklığı, sıcak fırın ve tuz banyosunu almışlardır. Ortam etkilerinin belirlenmesi için normalizasyon uygulanmış ve uygulanmamış olarak iki deney gurubu almışlardır. Devamında sertlik ve mukavemet değerlerini belirlemişlerdir. Artan ısıtma hızına bağlı olarak en yüksek mukavemet artış oranının düşük alaşım seviyesine sahip çelik olduğunu saptamışlardır[18].

Demir H. ve arkadaşları 2011 yılında yaptıkları çalışmada; iki farklı çelik malzemenin ısı işlem görmüş ve görmemiş halinin işlenebilirlik üzerine etkisini karşılaştırmışlardır. Deneylerini 4 farklı kesme hızında ve sabit ilerleme, sabit dalma derinliğinde gerçekleştirmişlerdir. Deneysel çalışmalar

sonunda farklı ısıl işlem prosesleri sonucunda sertliğin, faz morfolojilerinin, yüzey pürüzlülüğünün ve kesme kuvvetlerinin önemli derecede etkilendiğini vurgulamışlardır [19].

Bu çalışmada asimetrik kesite sahip %0,04 V mikroalaşımli çelik profilin standart soğuma hızındaki profile göre farklı soğuma hızlarındaki sertlik, akma, kopma ve mikroyapı değişimlerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

1. Materyal ve Metot

Deney için ticarileşmiş ürünlerden AH 36 kalite düşük karbon içeriğine sahip sıcak haddeleme yöntemi ile üretilmiş uluslararası pazarlarda “Bulb Flat” olarak adlandırılan ülkemizde ise “Hollanda Profili” ismiyle anılan ürün seçilmiştir. AH 36 kalite çeliğin mekanik özellikleri Tablo 1’de ve kimyasal kompozisyonu Tablo 2’de verilmiştir. Kimyasal kompozisyona istinaden yapılan karbon eşdeğeri hesaplamasında 0,37 değeri bulunmuştur. %0.15 karbon içeriğine sahip olmasından ötürü düşük karbonlu çelik olduğu teyit edilmiştir.

Tablo 1. AH 36 Çeliğinin mekanik özellikleri

Mekanik Özellikler		
Akma Noktası MPa	Çekme Muk. MPa	Kopma Uzunluğu %
401	537	33

Tablo 2. AH 36 Çeliğinin kimyasal özellikleri

Alaşım No	Kimyasal Kompozisyon (Kütlece Yüzde)									
	% C	% Si	% Mn	% P	% S	% Cu	% V	% Al	% Cr	% Fe
AH 36	0,15	0,2	1,1	0,035	0,035	0,3	0,04	0,04	0,03	Kalan

Malzemenin kimyasal kompozisyonuna bağlı olarak denge diyagramından östenitleme sıcaklığı 960 °C olarak belirlenmiştir. Soğuma ortamı olarak su, yağ, fan ve fırın olarak seçilmiştir.

2. Deneysel Çalışmalar

Çalışmada kullanılan numuneler 250 x 100 x 7 mm boyutlarında hazırlanmıştır. Sabit östenitleme sıcaklığında ve seçtiğimiz soğuma ortamlarına istinaden belirlenen 5 adet deney grup'u Tablo 3’de gösterilmiştir.

Tablo 3. Deney grupları

Grup Adı	Soğuma Ortamı	Östenitleme Sıcaklığı (°C)	Bekleme Süresi (Dk.)
1.Grup	Su	960	23.5
2.Grup	Yağ	960	23.5
3.Grup	Fan	960	23.5
4.Grup	Fırın	960	23.5
5.Grup	Standart	-	-

Malzemelere fırında işlem sırasında bekletme süresinin tespiti için; “Bekletme Süresi= 20+D/2 (Dakika)”, D= Parça Çapı (mm) deneysel formülünden yararlanılmıştır [20].

Numuneler 960 °C olarak belirlenen östenitleme sıcaklığına 16 °C/dk. hızla çıkarılmıştır. Her bir deney grubu için numuneler fırında; çentik darbe deneyi, çekme deneyi, sertlik ölçme ve mikroyapı incelemeleri için belirlenen sıcaklıkta 23.5`er dakika bekletilmiştir. Numuneler bu süre bitiminde fırınlardan alınarak belirlenen (Su, Yağ, Fan, Fırın) soğuma ortamlarında soğutulmuştur. Yağ soğuma ortamı olarak “Total Azolla ZS 68” kullanılmıştır. Su soğuma ortamı olarak şebeke suyu

kullanılmıştır. Fan soğuma ortamı olarak 25 °C ortam havasında 1x3400 m³/h debili endüstriyel fan kullanılmıştır. Fırın soğuma ortamı olarak Protherm marka östenitlemede kullanılan fırın kullanılmıştır.

Çalışmada uygulanan ısıtma işlemleri; Protherm marka maksimum 1600 °C sıcaklığa ısıtılabilen ve sıcaklığı zamana bağlı olarak kontrol edilebilir olan ısıtma işlem fırını ile gerçekleştirilmiştir. Tablo 3' de verilen sıcaklıkta ve sürede fırında bekletilen numuneler, daha sonra maşa yardımıyla fırından çıkarılıp verilen ortamlarda soğutulmuşlardır.

Farklı soğuma hızlarında soğutulmuş numunelere soğuma hızlarına göre çentik darbe tokluklarının belirlenmesi amacı ile TS EN ISO 148-2 [21] standardında belirtilen ölçüler doğrultusunda çentik darbe numuneleri oluşturulmuş ve -40°C, -20°C, 0°C sıcaklıklarda soğutulmuş deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyler “U Test” marka 300 Joule kapasiteli cihaz ile gerçekleştirilmiştir. Numunelerin soğutulması için ise “Tamson” marka -50°C'ye maksimum soğuma kapasiteli cihaz kullanılmıştır.

Mekanik özelliklerin belirlenmesi amacıyla TS EN ISO 6892-1'e [22] göre çekme numuneleri talaşlı imalat atölyesinde dik işlem tezgâhın da işlenmiştir. Numunelerin keskin köşeleri, çekme testi esnasında çentik etkisini minimize etmek için taşlanmıştır.

Isıl işlem uygulanmış olan tüm numunelerin çekme deneyleri “Zwick / SP T600” marka 60 ton maksimum çekme kabiliyetine sahip cihaz ile gerçekleştirilmiştir. Isıl işlem sonrası çekme işlemine tabi tutulan malzemelerde kullanılan çekme hızı 10 mm/ dk. ve yük hücresi 600 kN dur.

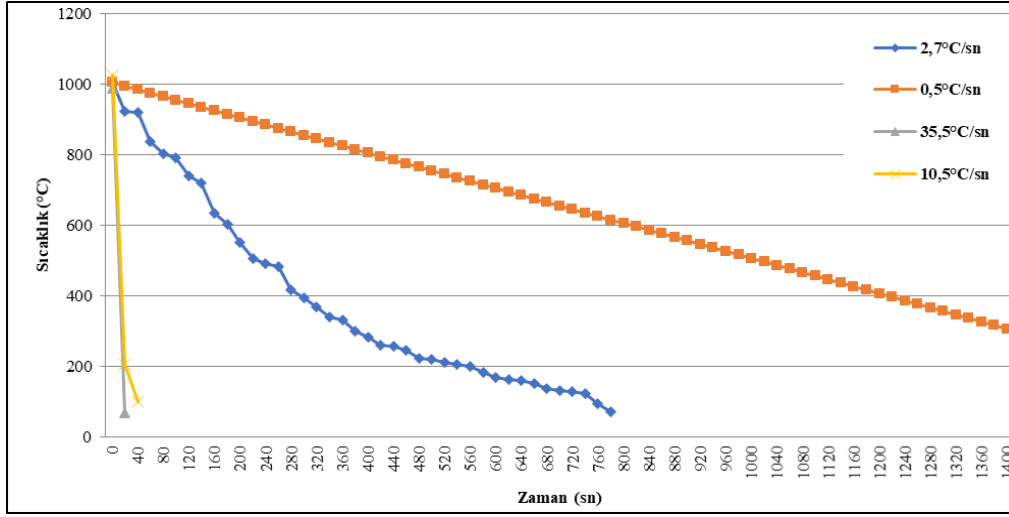
Çalışmada, ısıtma işlem sonrası sertlik değişimini belirlemek amacıyla Mikro Vickers sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen sertlik ölçümlerinde 0.1 kg.lık yük uygulanmıştır. Isıl işlem uygulanmış çekme numunelerinden kesilen dilimlerin 4'er bölgesi üzerinden 0.3 mm lik aralıklarla ölçümler gerçekleştirilip değerler alınmıştır. Kullanılan cihaz Qness marka Q10 model olup 50 gr. – 10 kg. 'lık yük aralığında ölçüm yapılabilmektedir.

3.1 Test Sonuçları

960°C sıcaklıkta östenitlenen numunelerin farklı soğuma süreçlerindeki soğuma eğrilerinin elde edilmesi amacı ile testler süresince termal kamera kullanılarak sürekli ölçümler alınmıştır. Her bir grup için tespit edilen soğuma hızları Tablo 4'de verilmiştir. Gruplara ait oluşturulan soğuma eğrileri Şekil 1'de verilmiştir.

Tablo 4. Deney gruplarına ait soğuma hızları

Grup Adı	Soğuma Ortamı	Soğuma Hızı (°C/sn.)
1.Grup	Su	35.5
2.Grup	Yağ	10.5
3.Grup	Fan	2.7
4.Grup	Fırın	0.5
5.Grup	Standart	-



Şekil 1. Soğuma hız grafikleri

A. Çentik darbe deneyi sonuçları

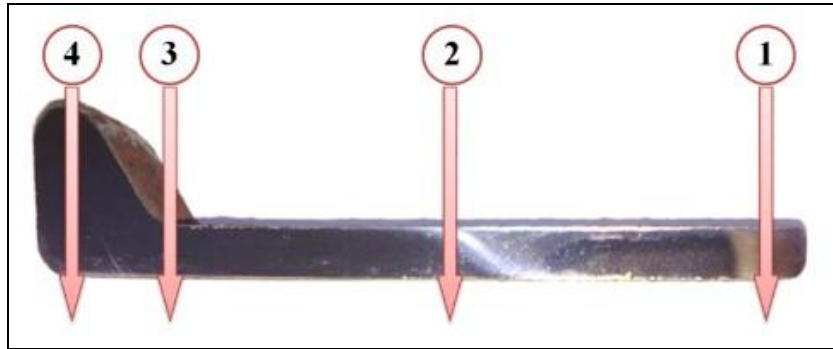
Her grup için 3 farklı sıcaklıkta 3'er adet numuneye çentik darbe deneyi uygulanmıştır. Sonuçlar Tablo 5`de verilmiştir.

Tablo 5. Çentik darbe dayanımı sonuçları

Soğuma Hızı	Çentik Darbe Dayanımı														
	-40°C					-20°C					0°C				
	No1	No2	No3	Ort	Enerji J	No1	No2	No3	Ort	Enerji J	No1	No2	No3	Ort	Enerji J
Standart	31	45	47	41.0	61.5	36	48	43	42.3	63.5	50	56	48	51.3	77.0
2,7°C/sn	84	81	81	82.0	123.0	86	85	84	85.0	127.5	80	93	88	87.0	130.5
0,5°C/sn	63	86	58	69.0	103.5	79	75	82	78.7	118.0	82	80	81	81.0	121.5
35,5°C/sn	25	23	35	27.7	41.5	32	62	54	49.3	74.0	34	76	73	61.0	91.5
10,5°C/sn	59	52	80	63.7	95.5	92	80	50	74.0	111.0	89	90	92	90.3	135.5

B. Sertlik testleri

Farklı soğuma hızlarının malzeme sertliği üzerindeki etkisinin belirlenmesi amacı ile Vickers Mikro Sertlik testleri gerçekleştirilmiştir. Bu Kapsamda hazırlanan numunelerin Şekil 2`de gösterilen bölgelerinden sertlik ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 2. Sertlik ölçüm noktaları

Ölçüm öncesinde ısıl işlemleri tamamlanan numuneler 180, 320, 600, 800 ve 1200 nolu zımparalardan ve keçeden geçirilerek parlatılmıştır. Sertlik ölçümlerinde, numunelere 100 g yük

uygulanmıştır. Numune dört noktadan ölçüm yapıp ortalama, en yüksek ve en düşük değerleri hesaplanmış ve sonuçları Tablo 6'dan başlayarak Tablo 10'a kadar verilmiştir.

Tablo 6. 35,5°C/sn soğuma hızına sahip soğuma prosesi ortalama sertlik verileri

Ölçüm Bölgesi	Ortalama Sertlik HV _{0,1}	En Yüksek Sertlik HV _{0,1}	En Düşük Sertlik HV _{0,1}
1. Bölge	286,8	367	252
2. Bölge	272,5	312	243
3. Bölge	272,8	305	241
4. Bölge	253,7	328	192
Genel Ort.	271,5	328	232

Tablo 7. 10,5°C/sn soğuma hızına sahip soğuma prosesi ortalama sertlik verileri

Ölçüm Bölgesi	Ortalama Sertlik HV _{0,1}	En Yüksek Sertlik HV _{0,1}	En Düşük Sertlik HV _{0,1}
1. Bölge	233,74	267	186
2. Bölge	209,64	233	186
3. Bölge	207	253	192
4. Bölge	206,16	230	188
Genel Ort.	214,1	245,75	188

Tablo 8. 2,7°C/sn soğuma hızına sahip soğuma prosesi ortalama sertlik verileri

Ölçüm Bölgesi	Ortalama Sertlik HV _{0,1}	En Yüksek Sertlik HV _{0,1}	En Düşük Sertlik HV _{0,1}
1. Bölge	181,55	197	167
2. Bölge	183,85	202	168
3. Bölge	173,52	197	158
4. Bölge	169,85	207	148
Genel Ort.	177,2	200,75	160,25

Tablo 9. 0,5°C/sn soğuma hızına sahip soğuma prosesi ortalama sertlik verileri

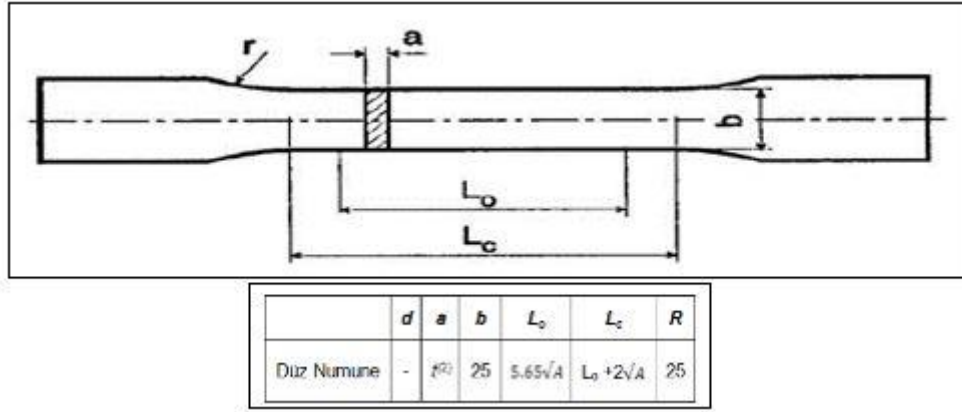
Ölçüm Bölgesi	Ortalama Sertlik HV _{0,1}	En Yüksek Sertlik HV _{0,1}	En Düşük Sertlik HV _{0,1}
1. Bölge	146,85	156	133
2. Bölge	167,29	199	147
3. Bölge	168,58	191	150
4. Bölge	166,92	197	141
Genel Ort.	162,4	185,75	142,75

Tablo 10. Standart soğuma hızına sahip numunenin ortalama sertlik verileri

Ölçüm Bölgesi	Ortalama Sertlik HV _{0,1}	En Yüksek Sertlik HV _{0,1}	En Düşük Sertlik HV _{0,1}
1. Bölge	191,77	206	181
2. Bölge	209,96	239	189
3. Bölge	205,21	234	172
4. Bölge	212,57	237	190
Genel Ort.	204,9	229	183

C. Çekme testleri

Numunelerin ısı işleme tabi tutulup farklı soğuma hızlarında soğutulmasının ardından Şekil 3' de gösterildiği üzere çekme test numuneleri hazırlanmıştır. Çekme test sonuçları Tablo 11'den Tablo 15'e kadar verilmiştir. Çekme sonrası kopan numuneler Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Çekme numunesi boyutları hesaplaması



Şekil 4. Çekme testi gerçekleştirildikten sonraki numuneler

Tablo 11. 35,5°C/sn soğuma hızında soğutulan numunelerin çekme test sonuçları

Numune No	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	% Uzama
1	958	973	9,7
2	820	844	8,7
3	822	886	6,7
Genel Ort.	866,7	901,0	8,4

Tablo 12. 10,5°C/sn soğuma hızında soğutulan numunelerin çekme test sonuçları

Numune No	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	% Uzama
1	409	587	13,1
2	435	629	14,3
3	388	545	17,9
Genel Ort.	410,7	587,0	15,1

Tablo 13. 2,7°C/sn soğuma hızında soğutulan numunelerin çekme test sonuçları

Numune No	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	% Uzama
1	366	484	26,9
2	372	492	28,2
3	368	503	25,5
Genel Ort.	368,7	493,0	26,8

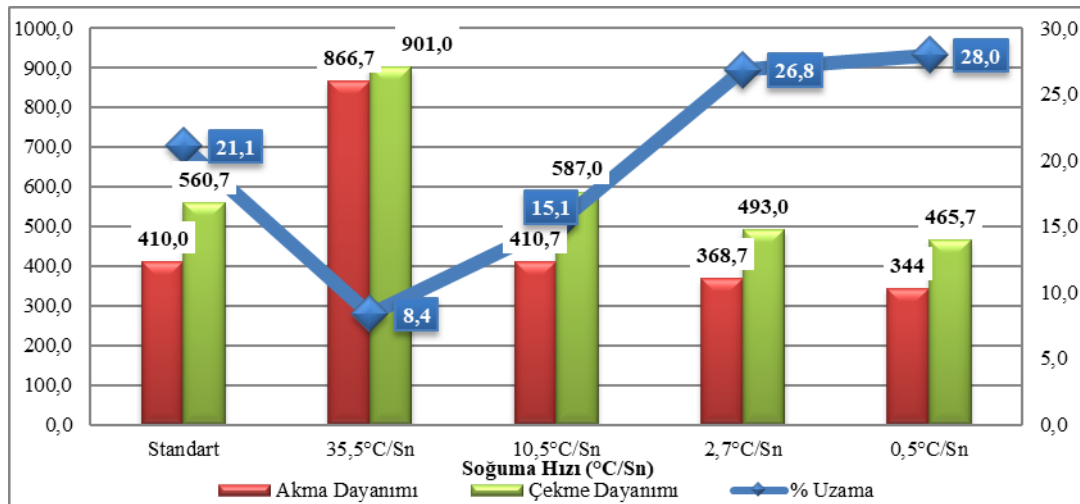
Tablo 14. 0,5°C/sn soğuma hızında soğutulan numunelerin çekme test sonuçları

Numune No	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	% Uzama
1	340	464	27
2	363	465	28,7
3	329	468	28,3
Genel Ort.	344	465,7	28,0

Tablo 15. Standart numunelerin çekme test sonuçları

Numune No	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	% Uzama
1	417	555	30,4
2	394	556	21,5
3	419	571	11,2
Genel Ort.	410,0	560,7	21,1

Çekme sonuçları karşılaştırmalı olarak Şekil 5`de verilmiştir.



Şekil 5. Çekme testi sonuçları

D. Mikroyapı incelemeleri

Östenitleme sıcaklığında bekletildikten sonra farklı soğuma hızlarında soğutulan numunelerin mikroyapı değişimleri, faz dağılımları, inklüzyon oranlarının ve dekarbürizasyona uğrayıp

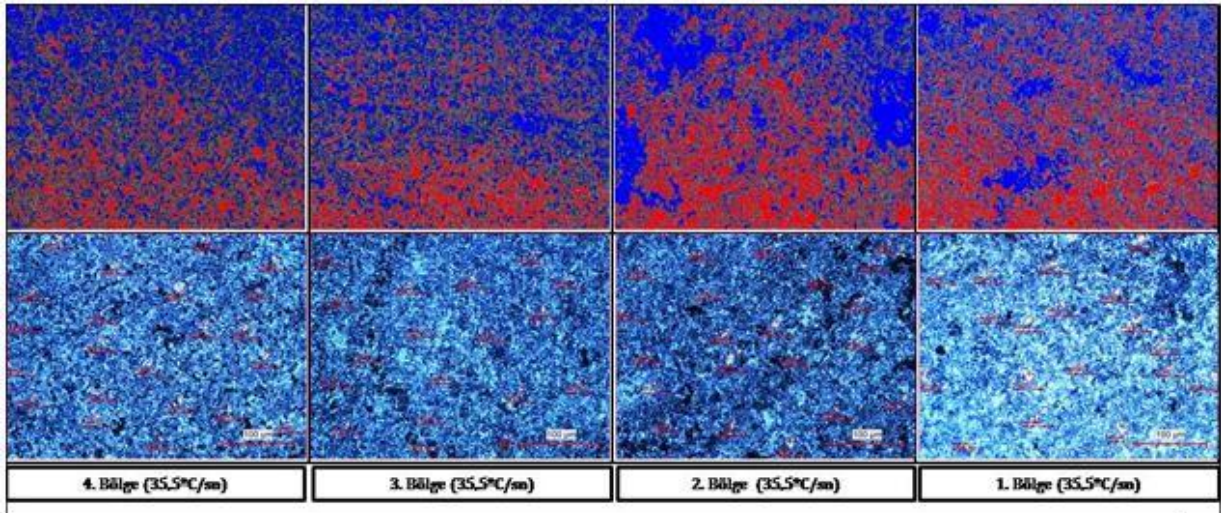
uğramadığının belirlenmesi amacı ile Şekil 6' da gösterilmekte olan mikroyapı numuneleri elde edilmiştir. Mikro yapının incelenmesi için 5 deney grubundan birer dilim numune ısıtma işlemlerinden sonra sırasıyla 180, 320, 600, 800 ve 1200'lik zımparalardan geçirilmiş ve son olarak 1µm'luk alümina pasta ile parlatılmıştır. Parlatma işlemi yapılan numuneler %4'lük nital çözeltilisinde yaklaşık 4 saniye tutularak dağlanma işlemi gerçekleştirilmiştir. İyiyapı görüntüleri optik mikroskop ile 200X büyütme yapılarak verilmiştir. Şekil 7'de gösterildiği gibi numunelerin 4'er bölgesinden örnekler alınıp incelenmiştir. Şekil 8'den Şekil 12'ye kadar verilen şekillerde soğuma ortamlarına ait faz dağılımı ve mikroyapı görüntüleri verilmiştir.



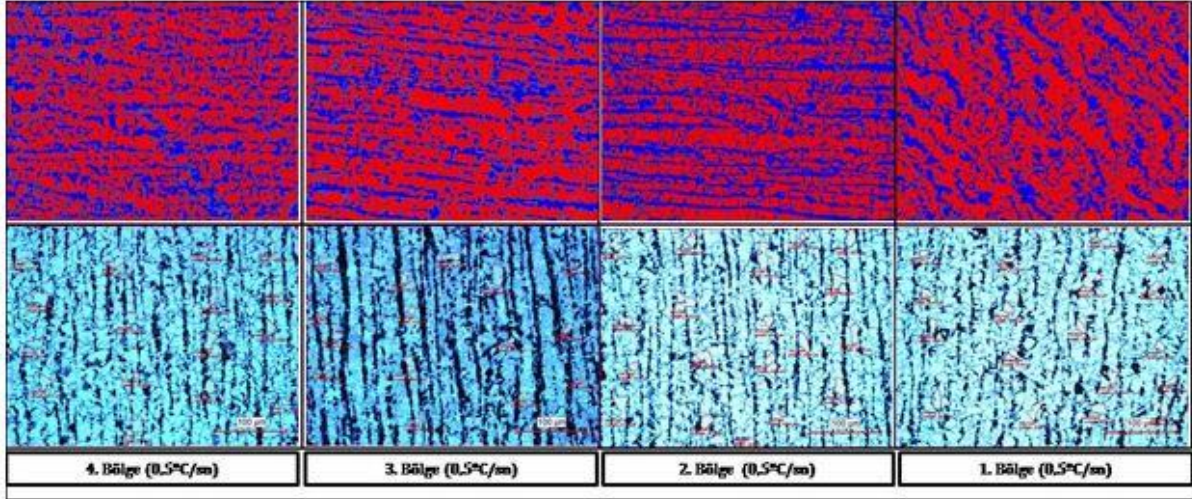
Şekil 6. Mikroyapı incelemesi için hazırlanan numuneler



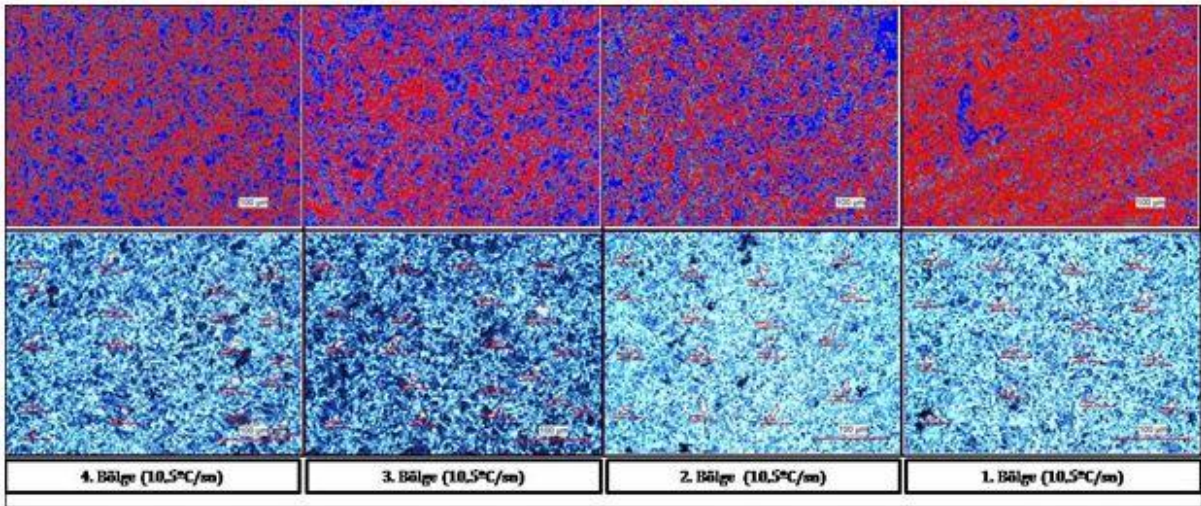
Şekil 7. Mikroyapı incelemesi için profilden çıkarılan numunelerin bölgeleri



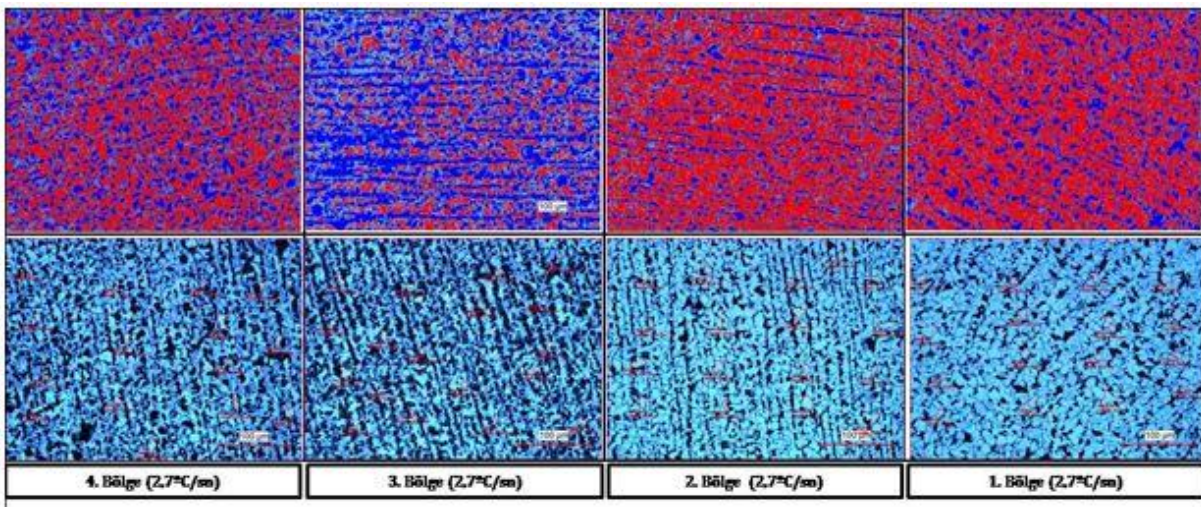
Şekil 8. Su ortamında soğuyan numunelerin faz dağılımı ve 200X büyütmede mikroyapısı



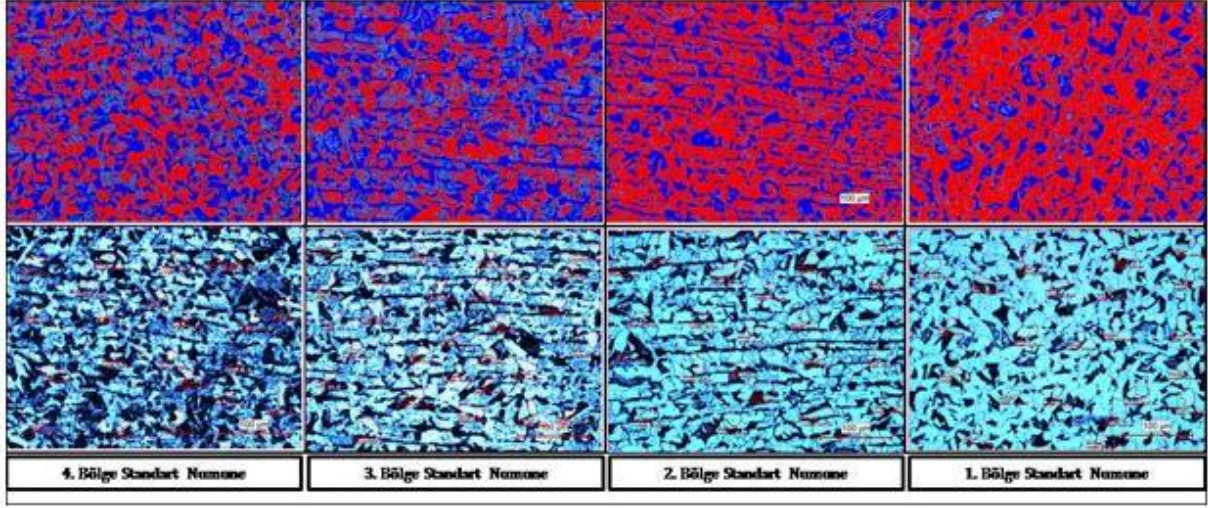
Şekil 9. Fırın ortamında soğuyan numunelerin faz dağılımı ve 200X büyütmede mikroyapısı



Şekil 10. Yağ ortamında soğuyan numunelerin faz dağılımı ve 200X büyütmede mikroyapısı



Şekil 11. Fan ortamında soğuyan numunelerin faz dağılımı ve 200X büyütmede mikroyapısı



Şekil 12. Standart numunelerin faz dağılımı ve 200X büyütmede mikroyapısı

4. Sonuçlar ve Tartışma

Türk Loydu, ABS gibi sertifikasyon kuruluşlarının onay talimatları incelendiğinde; gemi inşa faaliyetlerinde kullanılan çeliklerin çentik darbe enerji gereksinimlerinin minimum 34 J değerini karşılaması gerektiği görülmektedir. Dolayısı ile farklı soğuma hızlarına sahip ortamlarda soğutulan profillerden elde edilen darbe numunelerinin test sonuçları incelendiğinde genel olarak soğuma hızındaki artış ile darbe enerjisinin azalış gösterdiği görülmektedir. CCT diyagramları ile birlikte darbe enerjileri yorumlandığında ise soğuma oranındaki artışın, mikroyapıda daha ince ve sert fazların oluşumuna ve dolayısıyla süneklik değerlerinde, darbe enerjisinde azalmaya neden olduğu görülmektedir. Soğuma hızındaki azalış ile birlikte diyagramda sağa doğru eğri eğimleneceğinden dolayı yüksek soğuma hızlarındaki yapıya kıyasla daha yumuşak ve kaba ferrit-perlit yapılarının oluşumu ile darbe enerjileri artış göstermektedir.

Soğuma hızının artışı ile malzeme içyapısında martenzit fazı gibi sert fazlar meydana gelmekte dolayısıyla sertlik değerlerinde bir artış gözlemlenmektedir. Bunlara ek olarak artan soğuma hızı ile tane boyutu küçülmektedir. Artan tane sınırları ile birlikte dislokasyon hareketine karşı bir direnç oluşmakta; dislokasyonlar tane sınır engeli ile karşılaştığında hareket edememekte ve bunun sonucunda tane sınırlarında dislokasyon yığılmaları oluşmaktadır. Bu sayede sertlikte bir miktar artış gerçekleşirken mukavemet artmaktadır.

Asimetrik kesitli gemi inşa profiline ait sertifikasyon gereklilikleri incelendiğinde de profile ait akma dayanımının en az 355 MPa, çekme dayanımının en az 490 MPa, yüzde uzamanın ise en az %21 olması beklenmekle birlikte araştırma kapsamında elde edilen ürünlerin mukavemet değerlerinin gereklilikleri karşıladığı görülmüştür fakat değişen ortamlarda uzama değerlerinin istenilen değerin altına indiği veya üzerinde çıktığı görülmüştür.

Hadde şartlarındaki soğuma prosesi (standart) neticesinde elde edilen numunelerin mukavemet değerlerinin; suda soğuma prosesi (35,5°C/sn) ile havada soğuma prosesi (0,5°C/sn) mukavemet değerleri arasında olması beklenmek ile birlikte, gerçekleştirilen testlerin sonuçlarına göre elde edilen verilerin istenilen seviyede gerçekleştiği görülmektedir.

Östenitin ferrite dönüşümünde soğuma hızının ve soğuma hızına bağlı oluşan farklı ferrit morfolojilerinin çeliğin metalurjik özelliklerine doğrudan etki ettiği görülmektedir. Gerçekleştirilen mekanik testler doğrultusunda da firmanın haddeleme prosesi için kullanmakta olduğu soğuma platformu parametrelerinin suda soğuma – havada soğuma prosesleri neticesinde elde edilen

ürünlerin sahip olduğu mekanik özelliklerin arasındaki değerlerde mekanik mukavemete sahip ürünlerin elde edildiği görülmektedir. Soğuma platformunda elde edilen ürünlerin sertifikasyon kuruluşlarının gerekliliklerini yerine getirdiği ise mekanik testler aracılığı ile doğrulanmıştır. Proje kapsamında elde edilen bilgiler ışığında; sıcak haddeme prosesleri ile ürün üretiminde ezme-basma oranlarının yanı sıra soğuma sürecinin optimize edilmesi ile mekanik özelliklerin geliştirilebileceği görülmüştür.

Mikroyapı incelemelerine istinaden oluşturulan tanelerin bölgesel alanlarına bakacak olursak suda soğutmada ortalama $67,43 \mu\text{m}^2$, yağda soğutmada ortalama $94,74 \mu\text{m}^2$, fan`da soğutmada $112,35 \mu\text{m}^2$, fırın`da soğutmada $184,5 \mu\text{m}^2$ ve standart soğutmada $215,12 \mu\text{m}^2$ olarak elde edilmiştir. Beklenildiği üzere soğuma hızına bağlı olarak tane boyutları küçülmüştür. Mikroyapı görüntülerine göre perlit, ferrit ve martenzitten oluşan bir yapı elde edilmiştir. Martenzitik yapının suda soğutmaya ve yağda soğutmaya maruz bırakılmış numunelerde ortaya çıktığı tespit edilmiştir. Çentik darbe deneyi, sertlik ölçümleri ve çekme deneyi sonuçlarının mikroyapı görüntüleri ile uyumlu olduğu görülmüştür. Hava`da, fırın`da ve standart soğutulmuş numuneler genel itibari ile perlit yoğun olmakla birlikte perlitik-ferritik yapı elde edilmiştir. Literatür`de yer alan çalışmalar incelendiğinde uyguladıkları işlemler ve inceledikleri malzemelerin karbon, alaşım elementleri gibi mikroyapıyı, mekanik özellikleri etkileyen ana unsurların farklılaşması neticesiyle yakın olmakla birlikte her birinde özgün sonuçlara varıldığı irdelenmiştir.

Ceschini L. ve arkadaşlarının 2012 yılında yaptıkları çalışmada da farklı soğuma hızlarının orta karbonlu ve mikroalaşımli sıcak haddelenmiş çelikler üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Burada düşük hızlı olan soğumada iyi uzama değerleri fakat düşük darbe tokluğu elde edilmiştir. Hızlı soğumada ise yüksek çekme dayanımı, düşük uzama ve yüksek darbe tokluğu elde etmişlerdir. Mikroyapı incelemelerinde ise yapmış olduğumuz çalışmamızda çıkan mikroyapıya benzer sonuçlar bulmuşlardır [23].

Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde çelik malzemelerin sahip olduğu karbon muhteviyatı ve alaşım elementine sahip olup olmaması durumuna göre farklı soğutma ortamlarında ayrı ayrı yapılan çalışmalarda sertlik ve iç yapı üzerine belirgin bir şekilde etkisinin olduğu gözlemlenmiştir. Yapmış olduğumuz çalışma ile ilk kez birden fazla soğutma ortamının temperleme işlemi olmaksızın birbiri ile mukayesesi yapılmıştır, çalışma bundan sonraki yapılacak olan yayınlara ışık tutacaktır. Ülkemizde hızla gelişmekte olan gemi inşaa sektöründe yoğun şekilde kullanımı olan bu kompozisyona ait çelik profillerin farklı soğutma ortamlarında soğutulmuş ve farklı sıcaklıklarda temperlenmesi ardından sahip olacağı kaynaklanabilirliği gibi konuların araştırılması faydalı olacaktır.

Teşekkür

Projedeki deney çalışmalarının gerçekleştirilebilmesi için laboratuvar olanaklarını kullanımımıza açan Kocaer Haddecilik Sanayi ve Ticaret A.Ş.'ye teşekkürü bir borç biliriz. Bu vesile ile tüm Kocaer Ar-Ge Merkezi personeline projemize verdikleri destek için de ayrıca teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] Wang W., Yang M., Yan D., Jiang P., Yuan F., Wu X., "Deformation mechanisms for superplastic behaviors in a dual-phase high specific strength steel with ultrafine grains", *Materials Science & Engineering A*, 2017, 702: 133-141.
- [2] Yang M.X., Yuan F.P., Xie Q.G., Wang, Y.D., Ma E., Wu X.L., "Strain hardening in Fe-16Mn-10Al-0.86 C-5Ni high specific strength steel", *Acta Materialia*, 2016, 109: 213-222.

- [3] Raabe D., Springer H., Gutierrez-Urrutia I., Roters F., Bausch M., Seol J.B., Koyama K., Choi P.-P., Tsuzaki K., "Alloy design, combinatorial synthesis, and microstructure-property relations for low-density Fe-Mn-Al-C austenitic steels", *JOM*, 2014, 66 (9): 1845-1856.
- [4] Dou R.F., Wen Z., Zhou G., Liu X.L., Feng X.H., "Experimental study on heat transfer characteristics of circular water jet impinging on high-temperature stainless steel plate", *Applied Thermal Engineering*, 2014, 62 (2): 738-746.
- [5] Ravikumar S.V., Jha J.M., Sarkar I., Pal S.K., Chakraborty S., "Enhancement of heat transfer rate in air-atomized spray cooling of a hot steel plate by using an aqueous solution of non-ionic surfactant and ethanol", *Applied Thermal Engineering*, 2014, 64 (1-2): 64-75.
- [6] Raghavan V., "Physical Metallurgy: Principles and Practice", Second edition, PHI Learning Pvt Ltd., New Delhi, (2006).
- [7] Cahn R.W., Hassen P., "Physical Metallurgy", Elsevier Science B.V., North-Holland, (1996).
- [8] Gibbons S. L., Abrahams R.A., Vaughan M.W., Barber R.E., Harris R.C., Arroyave R., Karaman I., "Microstructural refinement in an ultra-high strength martensitic steel via equal channel angular pressing", *Materials Science and Engineering: A*, 2018, 725: 57-64.
- [9] Danielson D. A., Wilmer A., "Buckling of stiffened plates with bulb flat flanges", *International journal of solids and structures*, 2004, 41 (22-23): 6407-6427.
- [10] Rahbar-Ranji A., "Elastic buckling analysis of longitudinally stiffened plates with flat-bar stiffeners", *Ocean engineering*, 2013, 58: 48-59.
- [11] Gellert M., Wittrick W. H., "A finite prism element for stability analysis of bulb flat stiffeners", *International Journal of Mechanical Sciences*, 1975, 17 (7): 469-473.
- [12] Cui J., Wang D., Ma N., "Elastic buckling of stiffened panels in ships under bi-axial compression", *Ships and Offshore Structures*, 2017, 12 (5): 599-609.
- [13] Zheng R., Song R., Fan W., "Effects of annealing cooling rates on mechanical properties, microstructure and texture in continuous annealed IF steel", *Journal of Alloys and Compounds*, 2017, 692: 503-514.
- [14] Zhou X., Liu Y., Qiao Z., Guo Q., Liu C., Yu L., Li H., "Effects of cooling rates on δ -ferrite/ γ -austenite formation and martensitic transformation in modified ferritic heat resistant steel", *Fusion Engineering and Design*, 2017, 125: 354-360.
- [15] Hui W., Zhang Y., Shao C., Chen S., Zhao X., Dong H., "Effect of cooling rate and vanadium content on microstructure and hardness of medium carbon forging steel", *Journal of Materials Science & Technology*, 2016, 32 (6): 545-551.
- [16] Güler H., Özcan R., "Yüksek karbonlu çeliklere su verme işleminin mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi", *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 2014, 19 (2): 77-84.
- [17] Çalığülü U., Aras M., Türkmen M., "Temperleme işleminin yağda soğutulan çeliklerin mikroyapı ve sertlik özelliklerine etkisi", 4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, Alanya, 600-607, 3-5 November 2016.
- [18] Uzkut M., Özdemir İ., "Farklı çeliklere uygulanan değişen ısıtma hızlarının mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi" *Deü Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2001, 3 (3): 65-73.
- [19] Demir H., Çiftçi İ., Türkmen M., Gündüz S., "Orta karbonlu alaşımlı ve alaşımsız çeliklerde ısıtma şartlarının ve sertliğin işlenebilirliğe etkisi" *International Advanced Technologies Symposium*, Elazığ, 94-97, 16-18 May 2011.
- [20] Topbas, M. A., "Isıl işlemler", *Prestij Basın*, İstanbul: İTÜ, (1993).
- [21] TS EN 148-2, "Metalik malzemeler-Charpy vurma deneyi - Bölüm 2: Deney makinasının doğrulanması (sarkaçla vurma)", (2017).
- [22] TS EN ISO 6892-1, "Metalik malzemeler - Çekme deneyi - Bölüm 1: Ortam sıcaklığında deney metodu", (2016).
- [23] Ceschini L., Marconi A., Martini C., Morri A., Di Schino A., "Tensile and impact behaviour of a microalloyed medium carbon steel: Effect of the cooling condition and corresponding microstructure", *Materials and Design*, 2013, 45: 171-178.