

## Investigation of Cooling Rate on Hardness and Microstructure in Casting Fittings Materials

<sup>1</sup>Burak Öztürk\*, <sup>2</sup>Hasan Öktem, <sup>3</sup>Galip Said, <sup>4</sup>Hüseyin Alp Çetindağ and <sup>5</sup>Fehmi Erzincanlı

\*<sup>1,4</sup> R & D Division of Konak Rakor Corporation, Ankara, Turkey

<sup>2</sup>University of Kocaeli, Hereke Vocational School, Machine and Metal Technologies, Kocaeli, Turkey

<sup>3</sup>Bartın University, Department of Mechanical Engineering, Bartın, Turkey

<sup>5</sup>Düzce University, Department of Mechanical Engineering, Düzce, Turkey

### Abstract

During the set up of piping lines, nodular cast iron fittings which have high hardness values are fractured by the effect of external forces so problems might be occur such as floods. Hardness of the casted product is decreased by austempering heat treatment in order to resolve these problems thus threading operations can be operated easily. However, this treatment significantly increases the production costs.

In this study, cooling rates, hardness values and change of microstructures of nodular cast iron fittings were investigated. It was decided to analyze various austempering temperatures and periods for diversified materials in order to reduce cost of production. Cooling rate of casting operation was determined with the help of an infrared heat meter. At the products which have 3-5 mm wall thickness values, 100% cementite formation was observed due to cooling rates. It was determined that the cementite structure of the microstructure has the hardness value of 340 HB. This hardness formation contributes to shorten the tool life of threading equipments.

**Anahtar Kelimeler:** Cast Iron, Cooling Rate, Microstructure

### Özet

Boru tesisatlarının döşenmesi sırasında ve döşendikten sonra küresel grafitli dökme demir malzemelerinden üretilmiş olan boru bağlantı elemanları sert olduğundan, oluşan kuvvetlerin etkisi ile kırılmakta ve su basması gibi problemler ortaya çıkmaktadır. Bu problemi ortadan kaldırmak için östemperleme ısıl işlemi uygulanarak, dökülen malzemenin sertliği azaltılmakta, bu sayede dış çekme işlemi de kolaylıkla yapılabilmektedir. Ancak, bu işlem üretim maliyetlerini önemli ölçüde arttırmaktadır.

Bu çalışmada, küresel grafitli dökme demir malzemesinden üretilen numunelerin soğuma hızları, sertlik ve mikroyapı değişimleri incelenmiştir. Üretim maliyetlerini azaltmak için belirlenen gruplardaki malzemelere göre farklı östemperleme sıcaklıkları ve sürelerinin araştırılmasına karar verilmiştir. Döküm soğuma hızı, bir ısıölçer yardımıyla belirlenmiştir. Et kalınlığı 3-5 mm olan malzemelerde soğuma hızından dolayı, ürünlerde %100 sementit oluştuğu gözlenmiştir. Mikroyapıdaki bu sementit yapısının sertliğinin 340 HB olduğu tespit edilmiştir. Oluşan bu sertlik, dış açma aparatlarının kullanım ömrünün azalmasına sebep olmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Dökme Demir, Soğuma Hızı, Mikroyapı

## 1. Giriş

Boru bağlantı elemanları günümüzde doğalgaz ve sıhhi tesisat sektöründe kullanılmaktadır. Küresel grafitli dökme demirden üretilen bu malzemelerde, östemperleme işlemi yapılması gerekmektedir. Endüstride östemperleme işlemi yapılmadan üretimi gerçekleştirilen bu ürünler kırılmalı bir yapıya sahip olup, deprem veya montaj işlemleri gibi fiziksel bir kuvvet etkisiyle kırılmaktadır. “T” boru bağlantı elemanlarının kuvvet altında sıvı sızdırma özellikleri araştırılmıştır [1]. 6 kN kuvvet etkisi altında sızdırma gözlenmiştir. “T” ve dirsek boru bağlantı elemanlarının üç boyutlu düzleminde maksimum gerilme diyagramı oluşturulmuştur [2]. “T” boru bağlantı elemanlarının 1-8 Mpa basınç aralığındaki dayanım analizleri sonlu elemanlar yöntemi ile yapılmış olup yer değiştirme miktarı ve şekilleri gözlemlenmiştir [3]. Boru dirsek üretimi sonlu elemanlar yöntemi ile şekillendirilmesi tez çalışması olarak incelenmiştir [4]. 57, 89 ve 102 mm'lik kaynak birleştirmeli “T” boru bağlantı elemanlarının mekanik özellikleri incelenmiştir [5].

Endüstride döküm boru bağlantı elemanları TS 11 standartlarına göre ölçüsel olarak modellenmekte ve dış çekme işlemi gerçekleştirilmektedir. Dış çekme işlemi esnasında farklı sertlikteki malzemelerin kalıba bağlanması sonucunda kılavuzlarda körelme ve kırılma oluşmaktadır [6]. Boru bağlantı elemanlarının dış çekme işlemleri bazı çalışmalarda incelenmiştir [7-9]. Endüstride farklı et kalınlıklarında olmasına rağmen aynı fırından çıkan malzemelerde sertlik değişimleri ve kılavuz kullanım ömründe değişiklikler gözlemlenmiştir. Bu hata maliyetleri artırmaktadır. Fittings elemanlarında yapılan bu incelemelerde farklı et kalınlıklarına bağlı olarak mekanik özelliklerin incelenmediği anlaşılmıştır.

Farklı et kalınlıklarına bağlı soğuma hızları ve farklı östemperleme sıcaklıkları ile ilgili dökme demirlerde çalışmalar bulunmaktadır. Küresel grafitli dökme demirlerde 350, 370, 390, 410 °C sıcaklıklarda; farklı miktarlardaki tuzlu çözelti içerisinde yapılan östemperleme işleminin mikroyapıya etkileri araştırılmıştır. Buna ilave olarak, darbe dayanımları incelenmiştir [10]. 1420 °C'de dökülen gri dökme demir malzemedeki üretilen 83,5\*55, 52,5\*24,2, 51,5\*15,8, 51,5\*10, 48,5\*5 mm ölçülerinde tasarımlar için; 1,9, 3,14, 8,87, 13,53 ve 17,67 °C/sn soğuma hızları (1100-1000 °C) tespit edilmiştir. Soğuma hızı arttıkça, DAS (dendrite characteristics) özelliği artmıştır. Hızlı ve yavaş soğuma esnasında ince dentritler meydana gelmiştir [11]. DAS üzerine soğuma hızının etkisi östemperlenmiş dökme demirler içinde araştırılmıştır [12]. Yapılan çalışma sonucunda, 25, 75, 125, 175 ve 225 mm' lik ölçülerde çil oluşumu ve çekme dayanımı incelenmiştir. 1-20 mm et kalınlığında 12 farklı çekme model numunesi üretilmiştir ve döküm sonrası 2, 6 ve 10 mm'lik modellerin mikroyapısı incelenmiştir [13]. 0-10 mm aralığındaki malzemelerin nodularitesi araştırılmıştır.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, farklı kesit kalınlığına bağlı olarak döküm parçalarda oluşan sertlik değişimlerinin incelenmediği gözlenmiştir. Fittings elemanlarında yapılan dış çekme işleminde kılavuz ömrü sertlik miktarı ile ters orantılıdır. Farklı et kalınlıklarındaki fittings malzemelerin sertlik değişimi ve sertlik değişimine etki eden ferritik, perlitik ve sementit ağına sahip mikroyapıların incelenmesinin gerekliliği anlaşılmıştır.

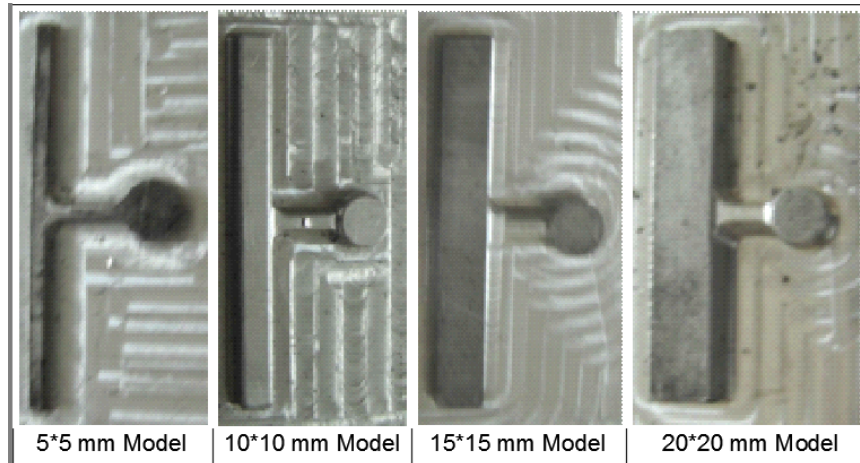
## 2. Malzeme ve Yöntem

Boru bağlantı elemanları üretimi yapan firmalar TS11-EN10242 standartlarına göre üretim yaparak TSE tescil belgesi alırlar. Toplam 200 farklı çeşit ürün yer almaktadır. Problemin çözülebilmesi için boru bağlantı elemanları malzemelerinin gruplandırılarak deneylerinin yapılması gereklidir. Endüstride ürünlerin 3-20 mm et kalınlıkları aralığında üretimi yapılır. Fittings ürünlerinde farklı et kalınlıklarındaki döküm soğuma hızı, mikroyapı ve sertlik miktarındaki değişiklikleri gözlemlemek için 4 farklı gruba malzemelere ayrılmıştır (Tablo 1.).

Tablo1. Boru bağlantı elemanlarının et kalınlıklarına göre gruplandırması

Et Kalınlığı (mm)	Malzemeler
(A Grubu) 3-5	- ½, - 1 inç maçalı ürünler - ½", ¾ " inç maçasız ürünler
(B Grubu) 5-10	- 1,4 inç maçalı ürünler - 1 inç ölçülerinde; maçasız ürünler
(C Grubu) 10-15	- 5, 6 inç maçalı ürünler - 1 ¼, 1½ inç maçasız ürünler
(D Grubu) 15-20	- 2-4 inç maçasız ürünler

Boru bağlantı elemanları malzemesi olarak endüstride GGG 40-42 malzeme kullanılmaktadır. Inductotherm R250 marka, 350 kg'lık ocak ve 100 kg'lık küreselleşme potası kullanılarak döküm gerçekleştirilmektedir. Şekil 1.'de verilen toplam 4 farklı tip malzemenin mikroyapı ve sertlik değişimlerinin gözlenmesi için, farklı et kalınlıklarında modeller alüminyum malzemelerden CNC freze tezgahında işlenmiştir.



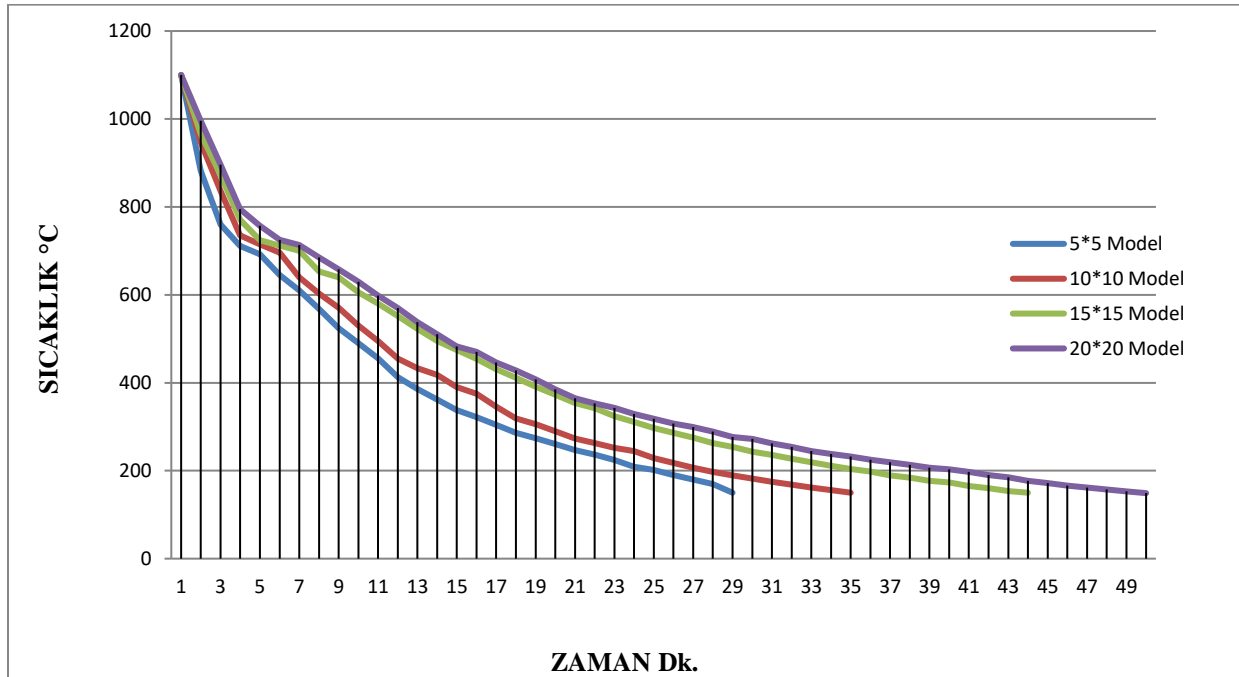
Şekil 1. Farklı et kalınlıklarına göre deney model malzemeleri

### 3.Deneysel Sonuçlar

Tasarlanan fittings modeller, kumla kalıplama yöntemiyle hazırlanmıştır. Gaz atımının sağlanması için şiş çekilmiştir. Döküm potada küreselleştirilmiş malzemelerden alınarak yapılmıştır. Soğuma hızları, Extech-42570 marka kızıl ötesi sıcaklık ölçer ile 1100-200°C sıcaklık aralığında yolluk topuzlarından ölçülmüştür (Şekil 2.). Ölçülen sonuçlar, her 15 saniyede bir olacak şekilde gösterilmiştir. Tablo 2.'de farklı sıcaklık aralıkları için hesaplanan soğuma hızları yer almaktadır.

Tablo 2. Sıcaklık aralıklarına bağlı soğuma hızları.

SICAKLIK ARALIKLARI (°C)	MODEL ADI			
	A Grubu	B Grubu	C Grubu	D Grubu
	(SOĞUMA HIZI °C/Sn)			
1100-950	3.63	2.55	2.23	1.73
950-800	2	1.85	1.7	1.6
800-650	0.65	0.52	0.49	0.45
650-500	0.65	0.52	0.48	0.43
500-350	0.57	0.42	0.38	0.34
350-150	0.42	0.31	0.23	0.19



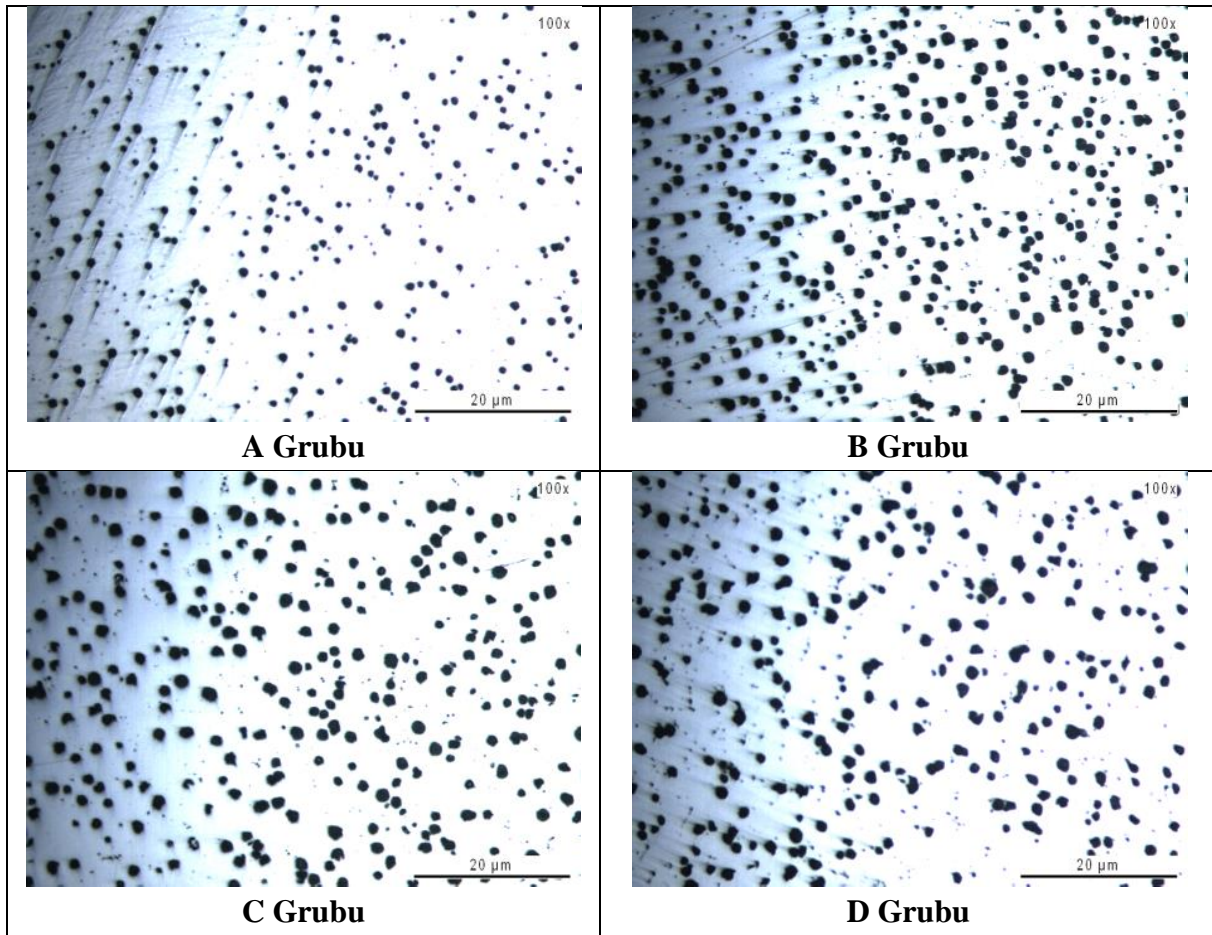
Şekil 2. Soğuma hızı grafiği (°C/Dk.)

Döküm bileşim elementleri Oxford Foundry Master spektra makinesinde küreselleşmeden önce ocaktan (a) ve küreselleşme sonrası potadan (b) alınan numuneler yardımıyla ölçülmüştür (Tablo 3.).

Tablo 3. GGG 42 Malzemelerin ocak (a) ve pota(b) için spektral analiz sonuçları

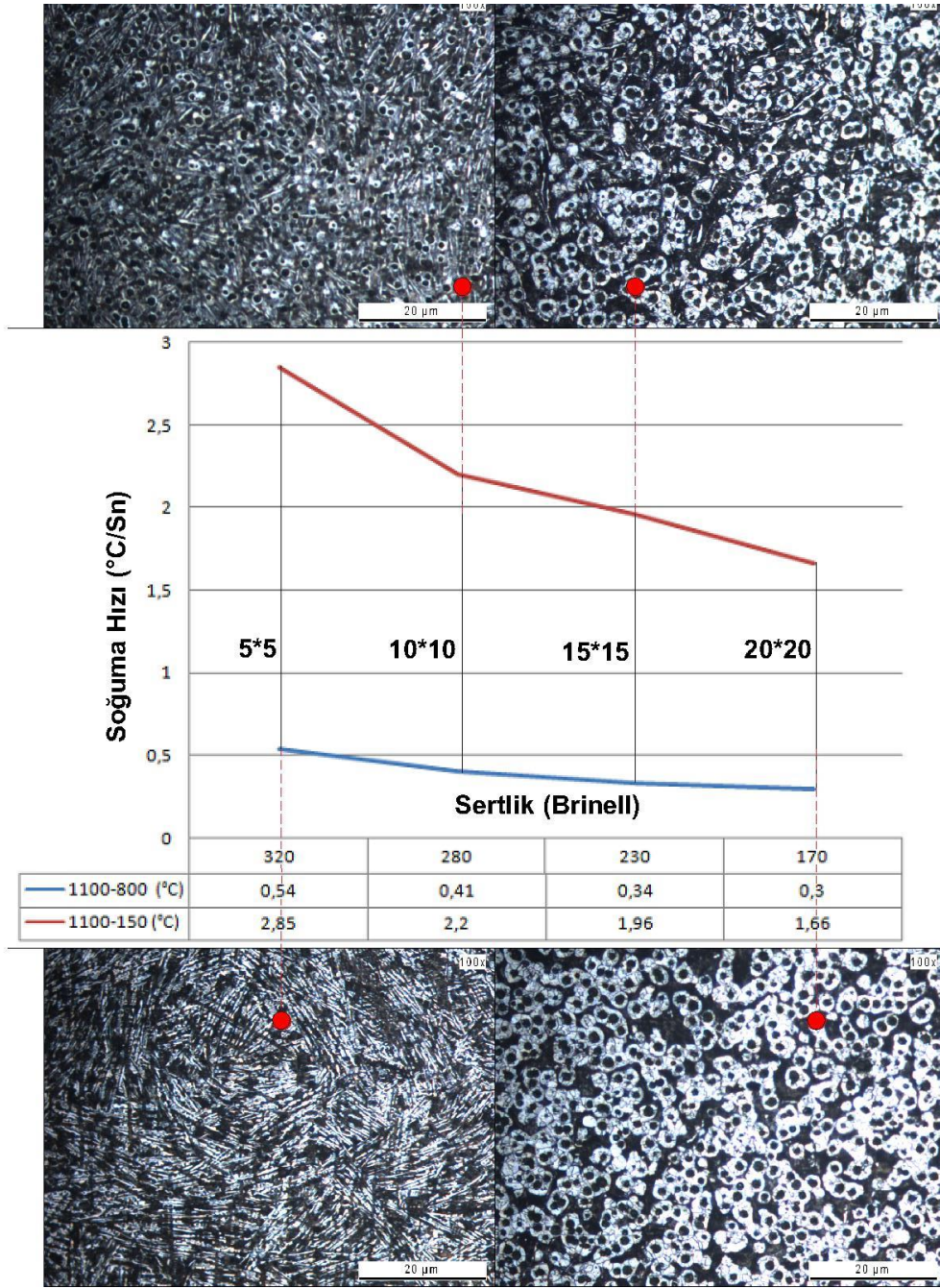
Elementler	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
a) Küreselleşmeden Önce (%)	94.4	3.64	1.63	0.14	0.02	0.013	0.02	0.0036	0.017
b) Küreselleştikten Sonra (%)	93.3	3.58	2.64	0.14	0.03	0.015	0.02	0.0050	0.018

Dökümü gerçekleştirilen deney numunelerinin dağlanmamış mikroyapısı optik mikroskop yardımıyla gözlemlenmiştir. Küreselleşmenin %95 oranında olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3.).



Şekil 3. Dağlanmamış mikroyapı

Şekil 2.'de gösterilen soğuma hızı eğrisi incelendiğinde 1100-800 °C aralığında yavaş soğuma, 1100-150°C aralığında ise hızlı bir soğuma meydana geldiği görülmüştür. Soğuma hızları ve diğer gözlemlenen özellikler, Tablo 4.'de yer almaktadır. Boru bağlantı elemanlarında soğuma hızının sertlik ve mikroyapı üzerindeki etkisi, Şekil 4.'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Soğuma hızının sertlik ve mikroyapıya etkisi

Tablo 4. Küresel grafitli dökme demir numunelerin mikroyapıları soğuma hızları-süreleri ve sertlik değişimleri

Model Grubu	Mikroyapılar	Soğuma Hızı 1100-800(°C/sn)	Soğuma Hızı 1100-150 (°C/sn)	Soğuma Süresi (Dk.)	Sertlik HB
A Grubu	% 100 Sementit	0.54	2.85	28	320
B Grubu	% 70 Perlit, %30 Ferrit	0.41	2.20	36	280
C Grubu	% 30 Perlit, %70 Ferrit	0.34	1.96	44	230
D Grubu	% 100 Ferrit	0.30	1.66	50	170

#### 4. Sonuçların Değerlendirilmesi

Küresel grafitli dökme demirlerde küreselleşme oranının yüksek olması; malzemenin akma ve çekme dayanımını artırmaktadır. Malzememizin küreselleşmesinde bir problem gözlenmemiştir. Mikroyapılar incelendiğinde, ince malzemelerde kılavuzların kırılma oranın yüksek olmasının nedeni açık bir şekilde görülmüştür. Bu grubun deney modelinin tamamında sementit yapı gözlenmiştir. Bu sementit yapı aynı zamanda, tesisat döşenirken veya döşendikten sonra oluşan çatlama ve kırılmaların ana kaynağıdır. Dördüncü deney grubunda yer alan ürünlerin; kolay işlenmesinin sebebinin % 100 ferritik yapıya sahip olmasıdır.

Endüstride, bu sementit ve perlitik yapılar östemperleme işlemiyle maksimum seviyede ferritik yapılara dönüştürülmektedir. Malzemelerin 320 HB sertlikten 170 HB sertlik değerine düşürülmesi için gerekli olan soğuma hızının 1.66 °C/Dk olması gerektiği gözlenmiştir. Bu soğuma hızının sağlanması ile östemperleme işlemi gerçekleşmeden, %100 ferritik bir yapı ve 170 HB sertlikte ürün elde edilebileceği gözlenmiştir. Enerji ve zaman kayıplarının önlenmesi bu hızda bir soğuma ile sağlanacaktır. Farklı et kalınlıklarındaki malzemeler için farklı östemperleme süreleri ve derecelerinin araştırılması ile üretimde optimizasyonun sağlanması için yeni bir deney düzeneğinin kurulmasına karar verilmiştir.

#### 5. Teşekkür

Deney numunelerinin dökümlerinin gerçekleştirildiği, Konak Rakor ve mekanik özelliklerin belirlendiği Alfa Döküm firmalarına, çalışmalarımıza yaptıkları katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

#### 6. Kaynaklar

[1] Ju BS, Gupta A, Seismic fragility of threaded Tee- joint connections in piping systems, International Journal of Pressure Vessels and Piping, 2015, 132; 106-118.

[2] Dudko BN, Neiman Eya. Investigation of the Stressed State and Strength of Forced High-Forced High-Pressure Pipe Fittings, Design and Construction of Machinery and Equipment, 1976, p: 865-867.

- [3] Maoa J, Bao S, Comparative studies on buckling behaviors of T joint and pipe by varying geometric parameters and analysis methods", *International Journal of Mechanical Sciences*, 2015, 90;113-121.
- [4] Karabulut H, Boru dirsek parçalarının sonlu elemanlar yöntemi ile şekillendirilmesi, Gebze Technical University, Institute of Science, Thesis of master degree, 2007.
- [5] Makhutov NA, Serikov V, Kotousov AG, Increasing the design strength of piping fittings, State Scientific-Research Institute for Mechanical Engineering, Moscow, 1990, p:77-80.
- [6] Öztürk B, Fittings Boru Bağlantı Elemanlarında Cidar Kalınlığına Bağlı Olarak Sertlik ve Mikroyapı Değişimleri, Bartın University, Institute of Science, Thesis of master degree, 2013.
- [7] Khoshdarregi M, Altintas Y., Generalized modeling of chip geometry and cutting forces in multi-point thread turning", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 21-32, 2015.
- [8] Lee SW, Kasten A, Nestler A, Analytic mechanistic cutting force model for thread milling operations, 14th CIRP Conference on Modeling of Machining Operations, 2013, p: 546– 551.
- [9] Bairamov G, Abdulaliev Z, Optimization of Cutting Conditions and Tool Geometry in Multiple Threading of Tool Joint Threads, *Candidate Eng. Sci. S*, 1965, p: 35-37.
- [10] Kim YJ, Shin H, Park H, Lim JD, Investigation into mechanical properties of austempered ductile iron (ADI) in accordance with austempering temperature, Materials Research Team, Corporate R & D Division of Hyundai - Kia Motors, 772-1, *Materials Letter*, Republic of Korea, 2007,62;357-360.
- [11] Behnam MMJ, Davami P, Varahram N, Effect of cooling rate on microstructure and mechanical properties of gray cast iron, *Materials Science and Engineering A*, 2010, 528: 583-588.
- [12] Hemenanth J, Effect of cooling rate on dendrite arm spacing (DAS), eutectic cell count (ECC) and ultimate tensile strength (UTS) of austempered chilled ductile iron, *Materials and Design*, 2000, 21: 1-8.
- [13] Alabbasian F, Boutorabi SMA, Kheirandish S, Effect of inoculation and casting modulus on the micro structure and mechanical properties of ductile Ni-resist cast iron, *Materials Science & Engineering A*, 2010 651: 467-473.