



Farklı Sıcaklıklarda Uygulanan Normalizasyon Isıl İşlem Şartlarının Küresel Grafitli Dökme Demir Mikro Yapı ve Mekanik Özelliklerine Etkisi

Effect on Ductile Iron Microstructure and Mechanical Properties of Normalization Heat Treatment Conditions Applied at Different Temperatures

Hakan GÖKMEŞE¹, Hakan Burak KARADAĞ¹, Şaban BÜLBÜL²

¹Konya Necmettin Erbakan Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 42360, Konya/TÜRKİYE

²Konya Necmettin Erbakan Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 42360, Konya/TÜRKİYE

Başvuru/Received: 18/02/2018

Kabul/Accepted: 11/04/2018

Son Versiyon/Final Version: 29/06/2018

Öz

Yapılan çalışmada, farklı normalizasyon sıcaklık (850-900-950°C) şartları altında, küresel grafitli dökme demir (KGDD) malzemesinin, mikro yapı ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Bu amaçla KGDD malzemesine ait mikro yapısal incelemeler ve çekme testi açısından, mikro yapı-sertlik ve standart çekme deney numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan deney numuneleri, döküm sonrası (ısıl işlem öncesi) malzeme mikro yapı ve mekanik özelliklerine kıyasla, belirtilen normalizasyon sıcaklıklarına ısıtılmıştır. 30 dakika süre ile tavlama işlemi sonrası, deney numuneleri serbest hava ortamında oda sıcaklığına soğutulmuştur. Deney numunelerinin mikroyapısal karakterizasyonu bakımından optik ve taramalı elektron mikroskopu (SEM) çalışmalarda kullanılmıştır. Sertlik ve çekme özellikleri için sırasıyla Rockwell sertlik cihazı (HRA588-60kg yük) ve Shimadzu marka çekme test cihazı kullanılarak 1mm/dakika çekme hızı altında ölçümler gerçekleştirilmiştir. Normalizasyon sıcaklık artışına bağlı olarak KGDD malzemesinin sertlik değerlerinin arttığı görülürken, çekme dayanımlarında ise bir azalma olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler

KGDD, Normalizasyon, Mikro yapı, Sertlik, Çekme dayanımı

Abstract

In the present study, micro structure and mechanical properties of ductile iron material were investigated under different normalization temperature (850-900-950°C) conditions. For this purpose, microstructure-hardness and standard tensile test specimens of ductile iron material were prepared for tensile test and micro structural investigations. The prepared test specimens compared to the material microstructure and mechanical properties of the before heat treatment were heated to the specified normalization temperatures. The test specimens were cooled to room temperature in the free air environment after 30 minutes of annealing. Optical and scanning electron microscope (SEM) were used in studies for micro structural characterization of the test. For hardness and tensile properties, measurements respectively were carried out using Rockwell hardness tester (HRA588-60kg load) and under tensile speed of 1 mm / min by Shimadzu tensile tester. It has been determined that the hardness values of the ductile iron material are increased due to the normalization temperature increase. And also a decrease in tensile strengths was found.

Key Words

Ductile iron, Normalization, Microstructure, Hardness, Tensile strength

1. GİRİŞ

Dökme demirler mükemmel döküm alaşımlarıdır. Kolaylıkla ergitilirler, sıvı halde çok akışkandırlar ve katılaştırken istenilmeyen yüzey filmi oluşturmazlar. Dökme demirler nispeten düşük darbe dayanımına ve sünekliğe sahiptir. Dökme demirlerin yaygın olarak sanayide kullanılmalarının nedeni nispeten ucuz ve geniş bir mühendislik malzeme özellik aralığına sahip olmalarıdır [Cevher, 2006, Erdoğan vd, 2010].

Günümüzde önemli bir dökme demir çeşidi olan Küresel Grafitli Dökme Demirler (KGDD), otomotiv endüstrisi başta olmak üzere birçok endüstriyel alanda mühendislik malzemesi olarak başarıyla kullanılmaktadır. Küresel grafitli dökme demirlerin otomotiv endüstrisinde uygulama alanlarından bazıları dişliler, krank milleri, kam milleri, biyel kolu, ön tekerlek destek mili ve kamyon dingilleridir. Bu malzemenin endüstride yaygın olarak kullanılmasının önemli sebeplerinden birisi, hem dökülmüş halde hem de ısı işlem yapılmış şartlarda kullanıma elverişli olmasıdır [Yalçın vd, 2016, Işık, 2014]. Küresel grafitli dökme demirler, tüm dökme demir türlerinin üretim özelliklerine ve çeliğin mekanik özelliklerine sahip bir malzeme gurubu olarak tanımlanır. KGDD' ler diğer dökme demir türlerine göre yüksek dayanım, süneklik, tokluk gibi özelliklere sahip olup, çeliğe göre daha kolayca dövülebilir ve işlenebilir özelliğine sahiptir. Üstelik üretimdeki büyük maliyet avantajı, kullanım alanını hem çelik hem de diğer dökme demirlere göre her geçen gün biraz daha genişletmiştir [Kaçal vd, 2008].

Karadeniz ve ark döküm süreci odaklı yaptıkları çalışmalarında, KGDD malzemelerin katılma aşamasında aşılama işlemi ve aşılama çeşitleri istenilen mekanik özellikleri elde etmek için en önemli faktör olduğunu ayrıca katılma aşamasında küreleştirme işlemi, aşılama işlemi istenilen mekanik özellikleri elde etmek için en önemli faktör olduğunu vurgulamışlardır [Karadeniz vd, 2017]. Ertürk ve ark ergiyik kalitesinin belirlenmesi amacıyla, KGDD malzemedeki termal analiz üzerine çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. KGDD malzemedeki aşılama kalitesi bakımından besleyicinin önemi ve sınır limitleri üzerine yoğunlaşmışlardır [Ertürk vd, 2016]. Hasırcı tarafından gerçekleştirilen bir başka üretim odaklı çalışmada, KGDD mikro yapı ve mekanik özellikleri üzerine mekanik titreşimin etkileri incelenmiştir. Geleneksel yaş kum kalıplama ile mekanik titreşim etkisi altında yaptığı döküm deneylerinde, tane ve grafit küre boyutlarındaki küçülmeye bağlı olarak, KGDD malzemesinde mekanik özelliklerinin geliştirilebileceğini ifade etmiştir [Hasırcı, 2017].

KGDD' nin elastik davranış, statik dayanım, süneklik, sertlik, kırılma tokluğu ve yorulma özellikleri, endüstrinin bütün alanlarındaki kritik parçalarda çok sayıda başarılı uygulamaları ortaya çıkarmaktadır. Mekanik özelliklerin yanı sıra ısı genleşme, ısı iletkenlik, ısı kapasitesi, yoğunluk, manyetik ve elektriksel özellikler ile şekil verilebilirlik ve işlenebilirlik KGDD' lerde ön plana çıkan diğer önemli özelliklerdir [Kırcalı, 2006]. KGDD' lerin sahip olduğu üstün mekanik özellikler ilave edilen alaşım elementleri ve miktarları bakımından, sementit oluşumunu, grafit kümeleşmesi ve dağılımı ile matris mikro yapı türünü etkilediği için, büyük önem taşımaktadır [Hasırcı, 2000]. Ayrıca mekanik özellikler, alaşım elementlerinin yanı sıra ısı işlem sıcaklıkları ve bekleme süreleri ile doğrudan ilişkilidir [Kaçal vd, 2009, Çakır vd, 2005].

Döküm durumu KGDD malzemelerin mekanik ve aşınma özelliklerini iyileştirmek için yaygın olarak östemperleme ısı işlemi uygulanmaktadır [Işık, 2014, Çetin vd, 2016]. Kılıçlı ve ark., alaşımsız küresel grafitli dökme demirde ara kritik östenitleme sıcaklıklarından kademeli östemperlemenin mikro yapı ve mekanik özellikler üzerine etkisini araştırmışlardır [Buğday, 2014]. Kayalı ve ark, alaşımsız küresel grafitli dökme demirde, östemperleme, borlama ve bortemperleme üzerine bir çalışma yapmıştır. Sürtünme katsayısı ve aşınma hızı bakımından, bortemperleme ısı işleminin, östemperleme ısı işlemi ve borlama işlemine göre çok daha iyi olduğunu açıklamışlardır [Kayalı, 2016, Kayalı vd, 2009]. Toktaş ve ark., Cu-Ni-Mo alaşımlı küresel grafitli dökme demir malzemedeki borlama işlemi ile döküm yapısına göre yaklaşık 3 kat, temper martensitik matris yapısına göre ise 2 kat daha fazla aşınma direnci elde ettiklerini belirtmişlerdir [Toktaş vd, 2017]. Yeşiltepe ve ark 900 ve 1000°C' de grafit kürelerin yüksek sıcaklık davranışını araştırmışlardır. Havada ve su verilerek soğutulan malzemelerde, karbonun grafit kürelerden ferritik matrise difüze olarak perlitik mikro yapı ortaya çıkardığını belirtmişlerdir [Yeşiltepe vd, 2017]. Ayrıca döküm durumunda KGDD malzemelere 840-900°C aralığında normalizasyon ısı işlemi uygulanır, böylece bu malzemelerin döküm durumunda veya tavlama ile elde edilen sertlik ve dayanımın değerleri yükseltilir [Goodrich, 2003].

Bu çalışmanın amacı, yoğunlukla birçok deneysel çalışma ve uygulamalarda karşımıza çıkan östemperleme ısı işleminin yanı sıra, KGDD deney numunesine farklı sıcaklıklarda uygulanan normalizasyon sıcaklıkları ve bekleme süresi ile ilişkilidir. Dolayısıyla bu durumun ortaya çıkaracağı, malzeme mikro yapı ve mekanik özellikleri üzerinde, farklı normalizasyon sıcaklıkları ve süresinin etkileri araştırılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada döküm sonrası elde edilen ferritik küresel grafitli dökme demir deney numuneleri kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan deney numunesinin kimyasal bileşimi Çizelge 1' de gösterilmiştir. Döküm sonrası ve uygulanan normalizasyon ısı işlem şartlarının malzeme mikro yapı ve sertlik özelliği üzerinde etkisini incelemek amacıyla, 50 mm çapında silindirik deney numunesi hazırlanmıştır ve çalışmalarda kullanılmıştır. Aynı zamanda döküm sonrası 20x120 mm uzunluğunda TS 138 EN 10002-1 standardına uygun olarak işlenmiş standart çekme çubukları hazırlanarak, deneysel çalışmalarda kullanılmıştır (Şekil 1).

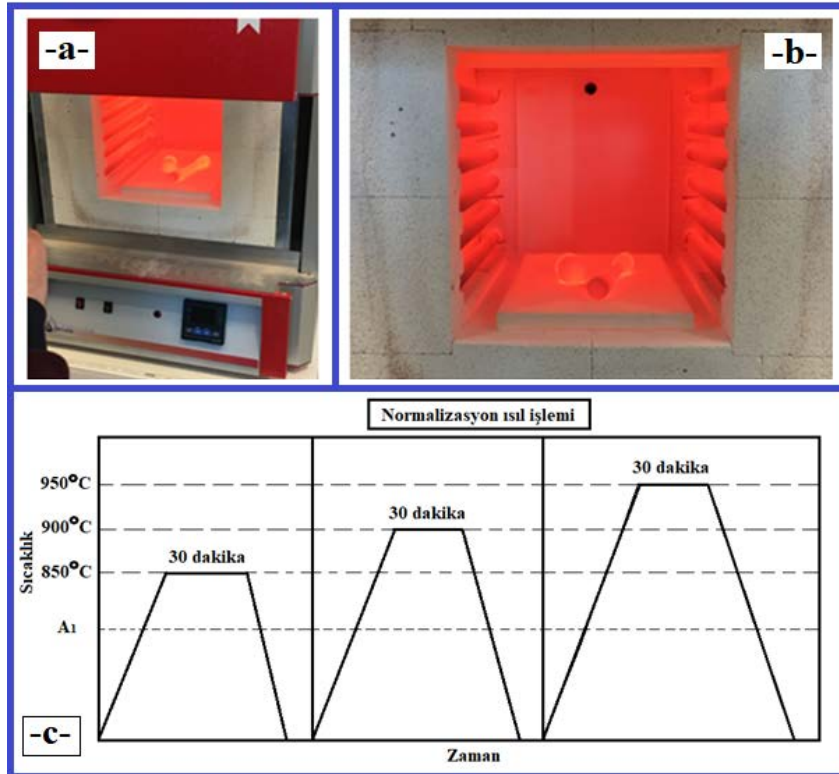
Tablo 1. Deney numunesinin kimyasal bileşimi

Element	C	Si	Mn	P	S	Mg	Cr	Ni	Cu
Ağırlıkça (%)	3.18	2.59	0.19	0.031	0.004	0.029	0.023	0.015	0.023

Hazırlanan ferritik küresel grafitli dökme demir deney numuneleri, 800, 850 ve 900°C olmak üzere üç farklı normalizasyon sıcaklığında 30 dakika tavlama işlemi uygulanarak (Şekil 2a-b), serbest hava ortamında soğutma işlemine tabii tutulmuştur. Ayrıca uygulanan normalizasyon ısıl işlem prosesinin diyagramı da Şekil 2-c' de gösterilmiştir.

**Şekil 1.** Deney numuneleri

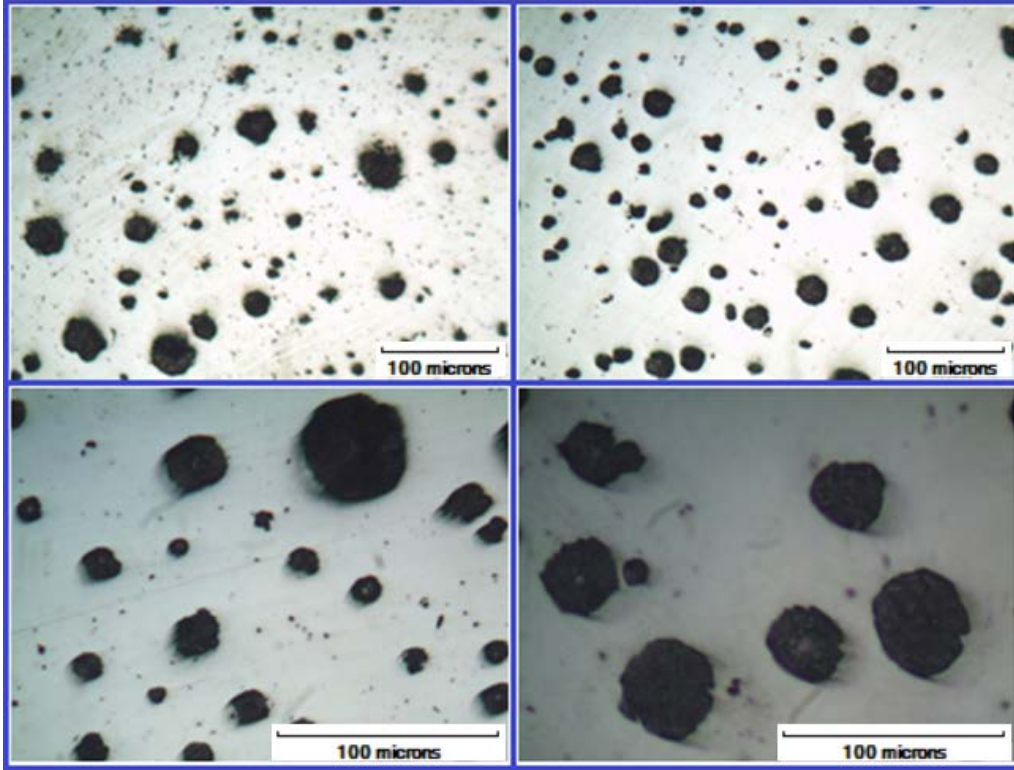
800, 850 ve 900°C' de üç farklı sıcaklıkta 30 dakika uygulanan normalizasyon ısıl işlem sonrası deney numunelerinin mikro yapı ve sertlik ölçümleri için, genel metalografi çalışmaları yapılmıştır. Bu amaçla deney numuneleri, zımparalama (400-600-800-1200µm) ve parlatma (3µ elmas solüsyon) işlemleri sonrası %2 nital çözeltisi ile dağlanmıştır. Dağlama işlemi sonrası deney numuneleri mikro yapı incelemeleri için Hardway marka optik mikroskop deneysel çalışmalarda kullanılmıştır.

**Şekil 2.** Isıl işlem prosesi

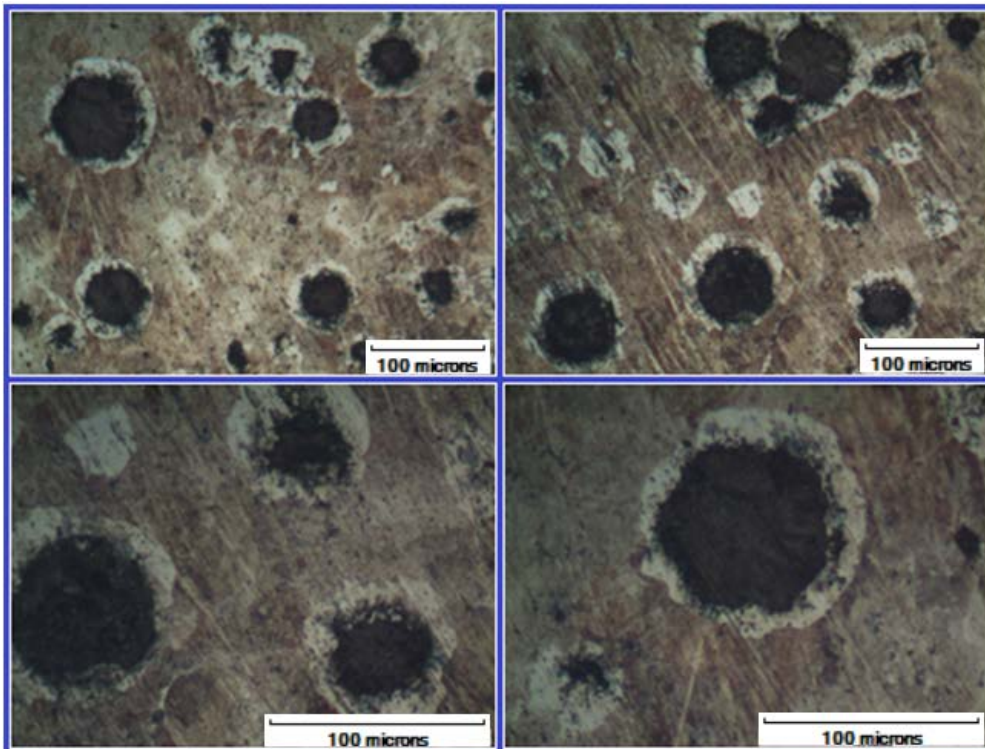
Normalizasyon ısıl işleminin deney numuneleri sertliği üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla Hardway marka rockwell sertlik cihazı kullanılarak, HRA588-60kg yük altında makro sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. TS 138 EN 10002-1 standardına [Turkish Standard, 2004] uygun olarak hazırlanan ve Şekil 1' de verilen çekme deney çubukları Shimadzu marka bilgisayar kontrollü numune test cihazında çekme deneyine tabii tutularak bunların dayanım ve yüzde uzamaya bağlı ölçüm değerleri belirlenmiştir. Çekme testi sonrası deney numunelerinin kırık yüzey morfolojilerinin belirlenmesi amacıyla, Hitachi SU 1510 model, taramalı elektron mikroskobu (SEM) deneysel çalışmalarda kullanılmıştır.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Döküm işlemi ve uygulanan üç farklı normalizasyon sıcaklık ve bekleme süresi sonrası, deney numunelerinin serbest havada soğutma işlemlerine bağlı olarak malzeme mikro yapısal farklılıklarının değerlendirilmesi amacıyla, optik mikroskop görüntüleri alınmıştır. Bu bağlamda döküm sonrası deney numunelerinin parlatılmış ve dağlama uygulanmış mikro yapı görüntüleri sırasıyla Şekil 3 ve 4' te gösterilmiştir. Şekil 3' teki parlatılmış KGDD deney numunesinin mikro yapı görüntüleri incelendiğinde, grafit küreleri ve dağılımları açık bir şekilde görülebilmektedir. Deney numunelerinin parlatma işlemlerini takiben uygulanan dağlama işlemi ile Şekil 4' te verilen mikro yapı görüntüleri incelendiğinde ise, ferritik matris yapısı içerisinde homojen olarak dağılmış grafit kürelerinin yer aldığı görülmektedir.

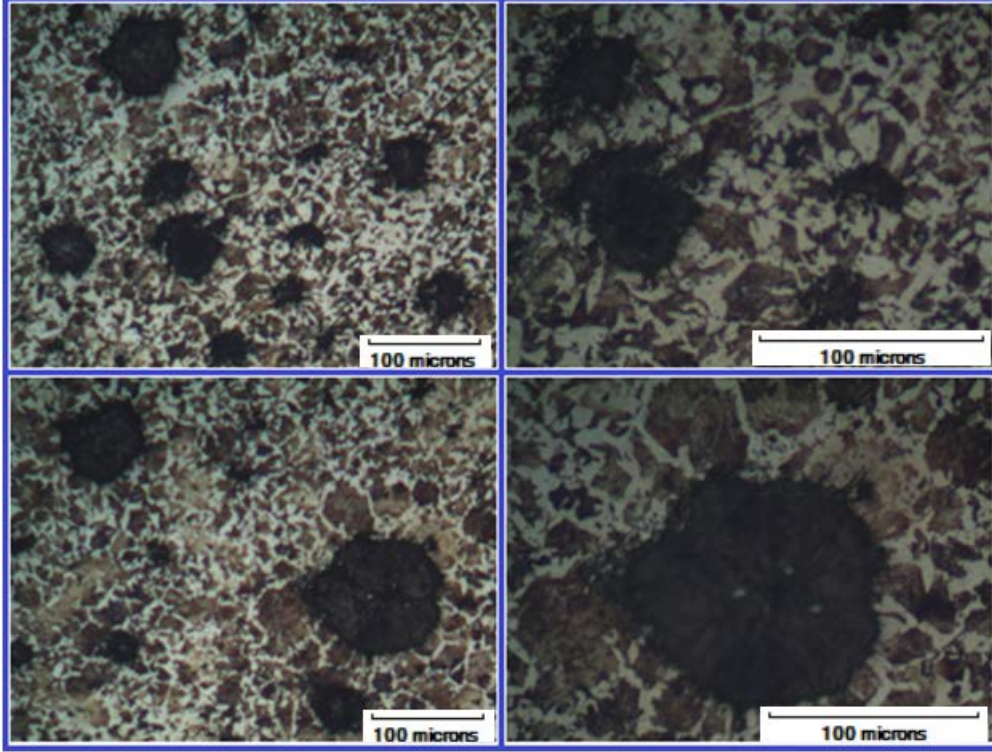


Şekil 3. Deney numunesinin döküm sonrası parlatılmış mikro yapı görüntüsü

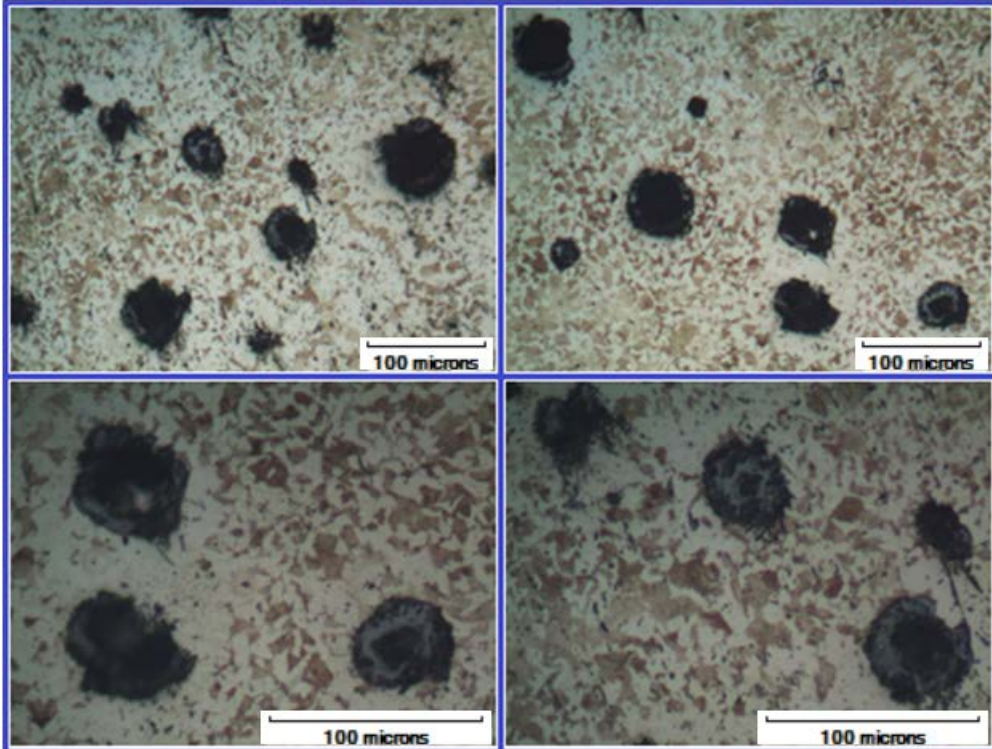


Şekil 4. Deney numunesinin döküm sonrası mikro yapı görüntüsü

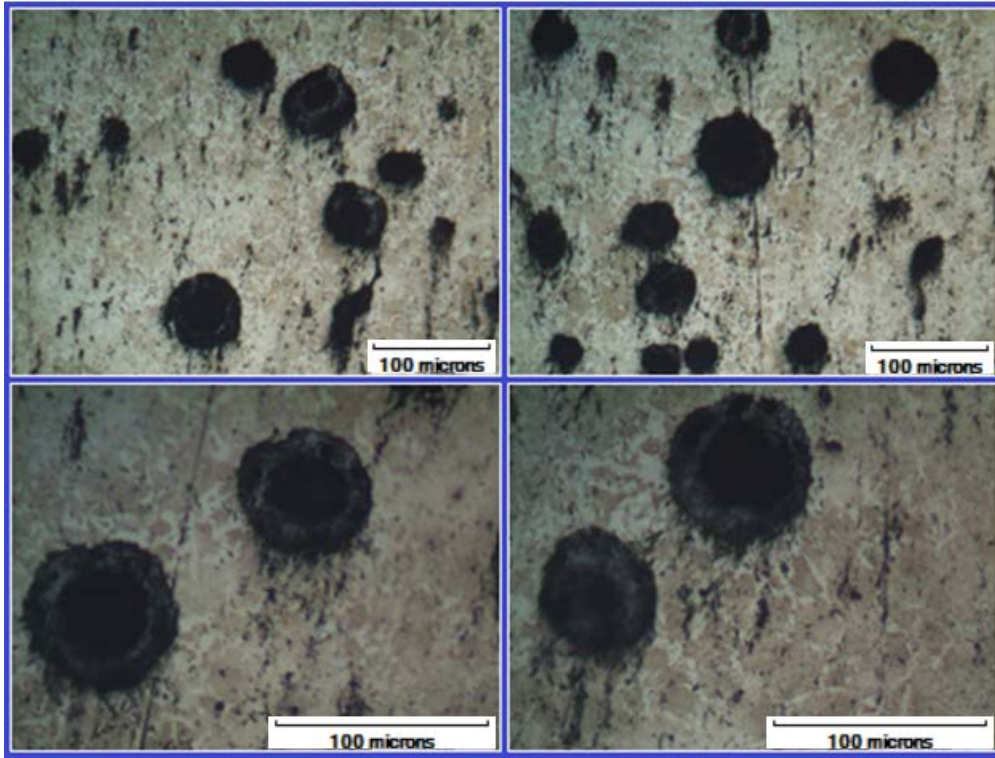
Döküm sonrası elde edilen deney numunelerine kıyasla, normalizasyon ısıl işlem şartlarının malzeme mikro yapısında ortaya çıkardığı farklılıklar sırasıyla Şekil 5, 6 ve 7’ de gösterilmiştir. Şekil 5’ deki deney numunesinin mikro yapı görüntüleri incelendiğinde, ferritik matris yapısında, dağılmış grafit kürelerinin yanı sıra nispeten kaba perlitik bölgelerin çoğunlukla yer aldığından bahsedilebilir. Benzer durumun sırasıyla Şekil 6 ve 7’ de verilen mikro yapı görüntüleri ile elde edilebildiği görülmektedir. Ancak Şekil 5’ te verilen mikro yapı görüntülerine kıyasla, artan normalizasyon sıcaklık değerlerine bağlı olarak (Şekil 6 ve 7), ferritik matris yapısında dağılan grafit kürelerinin çevresinde, kaba perlit oluşumlarının aksine artan sıcaklıkla birlikte incelmış perlitik bölgelerinin varlığı tespit edilmiştir. Uygulanan normalizasyon ısıl işlemi ile ilgili literatür çalışmalarını incelendiğinde, ince perlitik matris yapısının elde edilebileceği belirtilmektedir [Goodrich, 2003]. KGDD deney numunelerinde artan normalizasyon sıcaklığının sonucu olarak, mikro yapı görüntülerinde de görüleceği üzere, ferrit+incelmış perlitik bölgelerinden ortaya çıkan mikro yapılar elde edilmiştir.



Şekil 5. Deney numunesinin mikro yapı görüntüsü, 850°C+30 dak.+havada soğutma

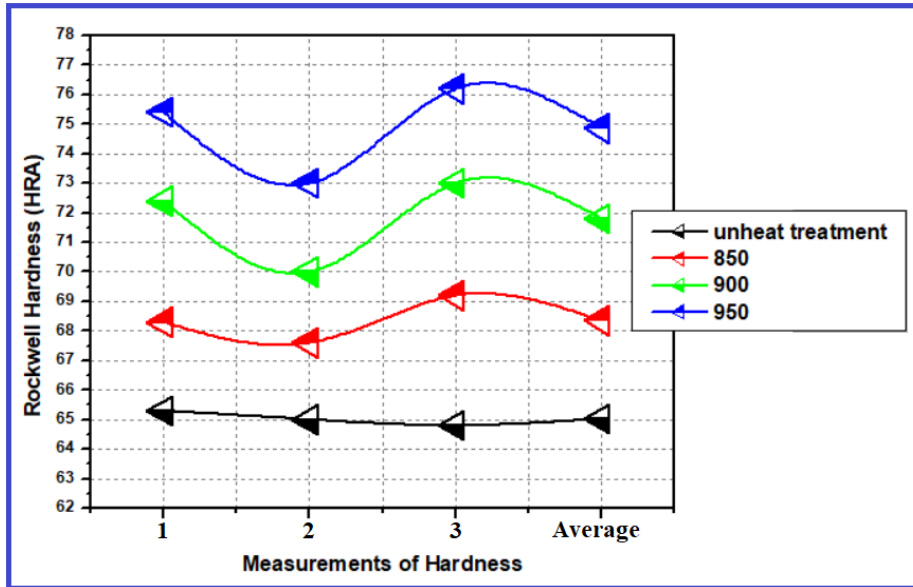


Şekil 6. Deney numunesinin mikro yapı görüntüsü, 900°C+30 dak.+havada soğutma



Şekil 7. Deney numunesinin mikro yapı görüntüsü, 950°C+30 dak.+havada soğutma

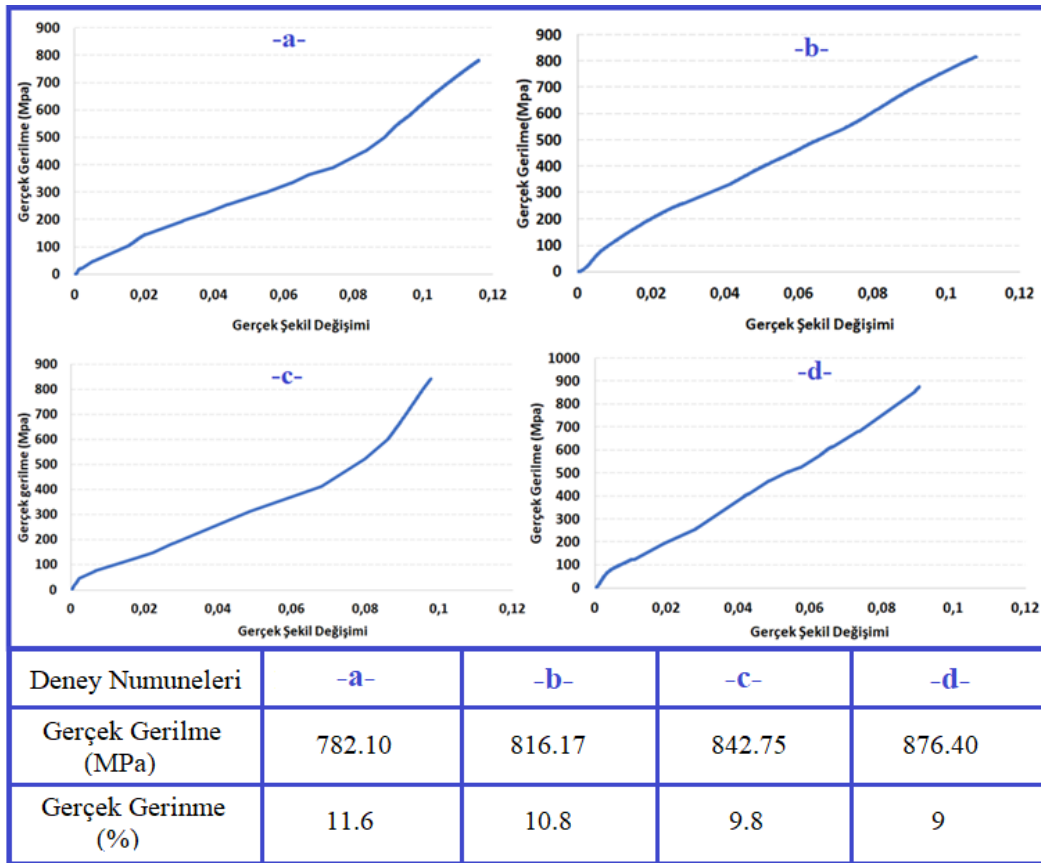
Döküm sonrası (ısıtılmış) ve farklı sıcaklıklarda uygulanan normalizasyon sıcaklıklarından soğutma işlemine bağlı olarak, elde edilen sertlik ölçüm ortalaması ve sonuçları Şekil 8’ de gösterilmiştir. Döküm sonrası ısıtılmış deney numunesinin sertlik değeri 65.03 HRA olarak ölçülmüştür. 850, 900 ve 950°C’ de uygulanan normalizasyon ısıtılmış işlemleri sonrası makro sertlik değerleri sırasıyla 68.36, 71.8 ve 74.86 HRA olarak tespit edilmiştir (Şekil 8). KGDD malzemelere normalizasyon ısıtılmış işleminin uygulanmasının bir sonucu olarak, malzemelerin döküm durumundaki hallerine göre, tavlama işleminin sonucu ile elde edilen sertlik ve dayanımın değerleri yükseltilir [Goodrich, 2003].



Şekil 8. Deney numunelerinin sertlik değişimi

Döküm sonrası ısıtılmış numunelere göre sırasıyla 800, 850 ve 900°C’ de uygulanan normalizasyon sıcaklık değerlerinin artışına bağlı olarak, ferrit+incelmış perlitik mikro yapılarının ortaya çıkardığı ve bu durumun sertlik değerlerinin artışında etkili olduğu düşünülmektedir. Deney numunelerinin döküm sonrası haline kıyasla çekme dayanımlarının ilişkilendirilmesi amacıyla uygulanan çekme testi sonrası elde edilen sonuçlar Şekil 9’ da gösterilmiştir. Şekil 9’ daki deney numunelerinin çekme testi sonrası elde edilen değerleri incelendiğinde, döküm sonrası deney numunesine kıyasla, artan normalizasyon sıcaklığına bağlı olarak, yüzde

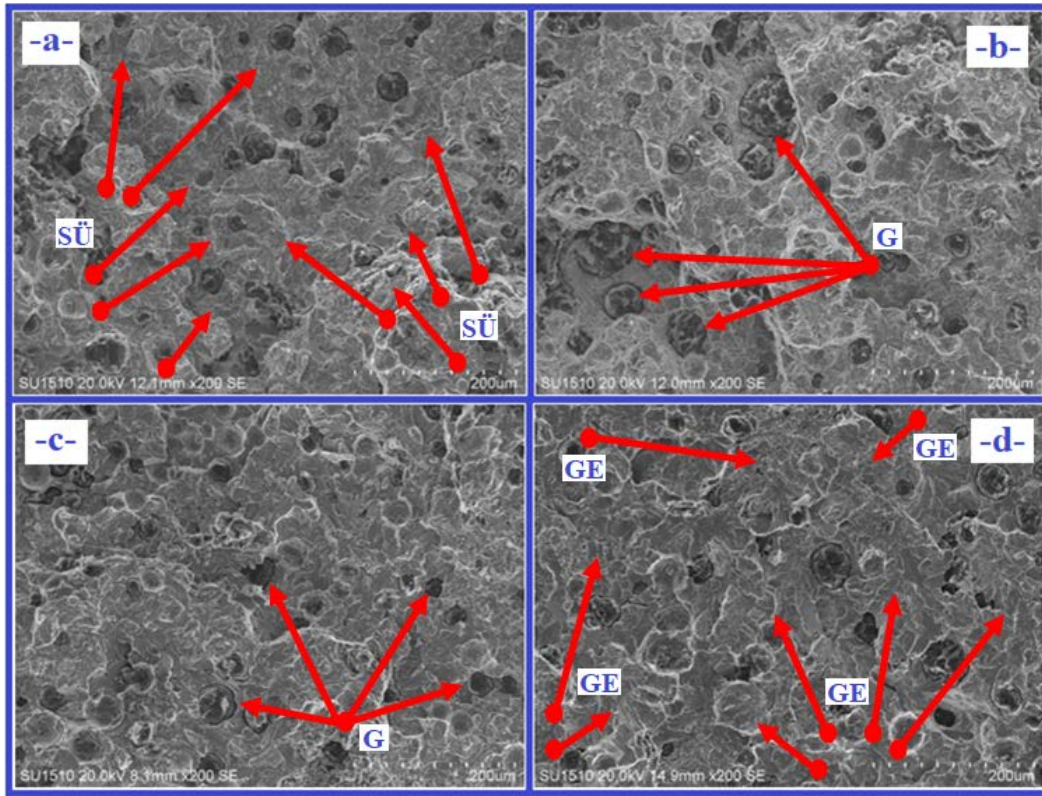
uzama değerlerinde bir azalma olduğu tespit edilmiştir. Yüzde uzama değerinin yanı sıra en yüksek dayanım değeri de 876.40 MPa olarak uygulanan en yüksek normalizasyon sıcaklığı ile elde edilmiştir.



Şekil 9. Deney numunelerinin çekme testi sonuçları;
a) Döküm sonrası, b) 850°C+30 dak. c) 900°C+30 dak. ve d) 950°C+30 dak.

Yüzde uzama değerinde ortaya çıkan azalma, artan normalizasyon sıcaklığı etkisi altında sert bir yapı olarak incelmış perlitik yapının varlığından kaynaklanması olarak belirtilebilir. Şekil 10' da döküm sonrası ve normalizasyon ısıl işlemi uygulanmış deney numunelerinin, çekme testi sonrası kırılma yüzey morfolojilerinin ilişkilendirilmesi amacıyla, elde edilen SEM görüntüleri gösterilmiştir. Kopma yüzey morfolojilerinin değerlendirilmesi açısından, deney numunelerinin süneklik değeri göz önünde bulundurulabilir [Türkan, 2010 Tekeli vd, 2005].

Diğer taraftan normalizasyon sıcaklığının (950°) artmasıyla azalma eğilimi gösteren yüzde uzama değeri deney numunelerinde tespit edilmiştir. Böylece genelde azalan süneklik değerine neden olan gevrek kopmalar ve bölgeleri (GE, Şekil 10-d), artan normalizasyon uygulama sıcaklığına bağlı olarak yoğun bir şekilde varlığını göstermiştir. Özellikle döküm sonrası ve düşük sıcaklıkta (850°) uygulanan normalizasyon ısıl işlemi sonrası, artan süneklik değeri ile ilişkilendirilebilen sünek (dimple) kopmalar ve bölgeleri (SÜ, Şekil 10-a), döküm sonrası ve düşük normalizasyon uygulama sıcaklıklarda yine yoğun bir şekilde varlığını göstermektedir. Diğer taraftan sünekliğin yüksek olmasına işaret eden mikro-çukurcukların mikro yapı görüntüsünde yoğun bir şekilde yer aldığı belirtilebilir. Ayrıca grafitlerin dağılımları (G) ve yüzey morfolojileri de Şekil 10b ve c' de görülebilmektedir.



Şekil 10. Deney numunelerinin çekme testi sonrası kırık yüzey mikro yapıları; a) Döküm sonrası, b) 850°C+30 dakika c) 900°C+30 dakika ve d) 950°C+30 dakika

4. SONUÇLAR

Dökümü gerçekleştirilen küresel grafitli dökme demir malzemesinin mikro yapı ve mekanik özellikleri açısından, çoğunlukla literatür çalışmalarında uygulanan östemperleme işleminin yanı sıra normalizasyon ısıl işlem şartları altında elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir;

Küresel grafitli dökme demir malzemesinde, döküm sonrası ferritik yapıda grafit kürelerinin uygun dağılımlı olduğu belirlenmiştir. Döküm sonrasına göre, uygulanan normalizasyon ısıl işlemi ile mikro yapının ferritik+incelmiş perlit yapısı sergilediği açık bir şekilde tespit edilmiştir. Artan normalizasyon sıcaklığı ve elde edilen incelmüş perlitik yapının kombinasyonu ile birlikte, döküm sonrası malzemeye kıyasla sertlik değerlerinde artış olduğu belirlenmiştir. Böylece en yüksek sertlik değeri, 950°C+30 dakika normalizasyon şartı altında 78.86 HRA olarak tespit edilmiştir. Deney numunelerine uygulanan çekme testi sonucuna göre en yüksek süneklik ve dayanım değeri ise, döküm sonrası ve 950°C+30 dakika normalizasyon şartı altında sırayla %11.6 ve 876.40 MPa olarak sağlanmıştır. Artan süneklik değeri ile ilişkilendirilebilen döküm sonrası (ısıl işlemsiz) deney numunelerinde ise, sünek kopma morfolojileri çoğunlukla yer almaktadır.

REFERENCES

- Buğday G., Kılıçlı V., Erdoğan M., “Ara kritik östenitleme sıcaklıklarından kademeli östemperleme ısıl işleminin küresel grafitli dökme demirlerin mikroyapı ve mekanik özellikleri üzerine etkisi”, 15th International Materials Symposium, Pamukkale University, 2014.
- Cevher, Ö., “Dökme demirlerde sert faz oluşumunun önlenmesi ve giderilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 3-5, 2006.
- Çakır, M. C., Bayram, A., Işık, Y., ve Salar, B., “The effects of austempering, temperature and time on to the machinability of austempered ductile iron”, Materials, Science & Engineering, 2005.
- Çetin B., Meco H., Davut K., Arslan E., Uzun M.C., “Microstructural Analysis of Austempered Ductile Iron Castings”, Hittite Journal of Science and Engineering, 3 (1) 29-34, 2016.
- Erdoğan, M., Güneş, İ., Başpınar, M. S., “Lamel Grafitli Dökme Demir Yüzeylerinin MoSi₂ ile Yüzey Modifikasyonu”, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt: 7, No: 3, (45-54), 2010.

Ertürk S.O., Umruoğlu I.C., Özel A., “Determination of Feederless Casting Limits by Thermal Analysis in Cast Iron”, Special Issue of the 6th International Congress & Exhibition (APMAS2016), Maslak, Istanbul, Turkey, June 1–3, 2016.

Goodrich, G. M., “Heat treatment of iron castings”, Iron castings Engineering Handbook, AFS, Prited in the United States of America, 271-298, 2003.

Hasırcı, H., “Östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirlerde alaşım elementleri (Cu ve Ni) ve östemperleme süresinin mikro yapı ve mekanik özellikler üzerine etkileri” , Yüksek Lisans Tezi, Ankara Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-30, 2000.

Hasırcı H., “Mekanik Titreşimin Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerine Etkileri”, Politeknik Dergisi, 20 (2) : 275-282, 2017.

Işık Y., “The performance evaluation of ceramic and carbide cutting tools in machining of austempered ductile irons”, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt 19, Sayı 2, 2014.

Kaçal A., Gülesin, M., Melek, F., “GGG 40 Küresel Grafitli Dökme Demirlerin İnce Tornalama Operasyonlarında Kesme Kuvvetlerinin ve Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi”, Politeknik Dergisi, Cilt:11 Sayı: 3 s.229-234, 2008.

Kaçal, A., Gülesin, M., “Küresel grafitli dökme demirlerin son bitirme operasyonlarının analizi üzerine bir çalışma”, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, (IATS’09), 13-15 Mayıs, Karabük, 2009.

Karadeniz E., Çolak M., Barutcu F., “GGG-60 küresel grafitli dökme demir üretiminde aşılmalı türü ve miktarının içyapı ve mekanik özelliklere etkisinin incelenmesi”, Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 6, Sayı 1, 275-282, 2017.

Kırcalı, K. K., “Farklı matris yapılarına sahip küresel grafitli dökme demirlerin mekanik ve işlenebilirlik özelliklerinin araştırılması”, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Bursa, 5-20, 2006.

Kayalı Y., Yalçın Y., “Östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirin mikroaşınma davranışına östemperleme sıcaklığının etkisi”, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS’09), 13-15, Karabük, Turkey, Mayıs, 2009.

Kayalı Y., “Küresel Grafitli Dökme Demirlere Uygulanan Farklı Isıl İşlemlerin Mekanik Özelliklerine Etkisi”, AKÜ FEMÜBİD 16: 192-197, 2016.

Tekeli, S., Güral, A., “Microstructural characterization and impact toughness of intercritically, Materials Science and Engineering A, 406: 172–179, 2005.

Toktaş G., Toktaş A., Gülsün K., “Matris yapısının ve borlama süresinin Cu-Ni-Mo alaşımlı Kgd'd'in aşınma davranışına etkisinin incelenmesi”, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 32:2, 449-457, 2017.

Turkish Standard, TS 138 EN 10002-1. Metallic materials – tensile testing – Part 1: method of test at ambient temperature, Turkey; 2004.

Türkan, M., “Difüzyon bağlı demir esaslı tozlarından üretilen t/m çeliklerin mikroyapı ve mekanik özelliklerine farklı ara kritik tavlama ısıl işlemlerin etkilerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.

Yalçın Y., Kayalı Y., Toptaş M., “Küresel Grafitli Dökme Demirin Yorulma Davranışlarına Bortemperleme Isıl İşleminin Etkisi”, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt: 13, No: 1, (31-38), 2016.

Yeşiltepe S., Şeşen M.K., “Heat treatment effect on spheroidal graphite, microstructure and mechanical properties of Ni-resist ductile cast iron”, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 5(3), 479 – 482, 2017.