

IMPROVEMENT OF PERCENT ELONGATION IN DUCTILE CAST IRON SUSPENSION PARTS

KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRDEN MAMUL SÜSPANSİYON PARÇALARINDA YÜZDE UZAMA DEĞERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Emre GÖKÇİL^a, B. Umut YAKIŞAN^b, A. Asım ESER^c, Seracettin AKDI^d, Yücel BİROL^e

^a AYD Ar-Ge Merkezi, Konya, Türkiye, E-posta: gokcil.emre@aydtr.com

^b AYD Ar-Ge Merkezi, Konya, Türkiye, E-posta: yakisan.umut@aydtr.com

^c AYD Ar-Ge Merkezi, Konya, Türkiye, E-posta: eser.ahmetasim@aydtr.com

^d AYD Ar-Ge Merkezi, Konya, Türkiye, E-posta: akdi.seracettin@aydtr.com

^e D.E.Ü., Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü, İzmir, Türkiye, E-posta: yucel.biol@deu.edu.tr

Özet

Küresel grafitli dökme demirler (KGDD), üretim kolaylığı ve diğer dökme demir malzemelere göre daha iyi olan mekanik özelliklerinden dolayı endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. KGDD malzemelerin kopma uzaması değeri diğer dökme demir malzemelere göre daha yüksek olduğu için otomotiv süspansiyon elemanlarının bir çoğu KGDD'den üretilmektedir. KGDD malzemelerde Ferrit/Perlit oranı malzemenin yüzde kopma uzaması değerini belirleyen önemli bir faktör olduğu bilinmektedir.

Bu çalışmada, otomobil süspansiyon sisteminde kullanılan GGG40 kalitedeki KGDD'den mamül salıncağın yüzde kopma uzaması değerini artırmak için malzemedeki ferrit/perlit oranının kontrol edilmesi, buna bağlı olarak mevcut olana göre daha yüksek yüzde uzama değerlerine ulaşılması hedeflenmiştir. Bu amaçla, seçilen bir kimyasal bileşime sahip GGG40 kalitedeki KGDD'den mamül salıncağa üç farklı ısıtım eğrisi uygulanarak soğuma eğrisinin yüzde kopma uzamasına etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışmalarda; seçilen kimyasal bileşim için GGG 40 malzemenin üretilen salıncağın yüzde kopma uzaması değeri % 23.3-26.6 arasında elde edilmiştir. Elde edilen yüzde uzama değerleri üç farklı global otomotiv üreticisine ait orijinal salıncaklar üzerinde ölçülen yüzde kopma uzaması değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: KGDD, GGG40, yüzde kopma uzaması, ferrit/perlit oranı, soğuma eğrisi

Abstract

Spheroidal graphite cast iron (ductile cast iron) is widely used in industrial applications because of the ease of production and better mechanical properties compared to other cast iron materials. Many automotive suspension components are manufactured from ductile cast iron because of its higher percent elongation value compared to other cast iron materials. It is known that ferrite / pearlite ratio determines percent elongation value of spheroidal graphite cast iron.

This study targets to attain higher percent elongation values for a swing arm of a passenger car made up of GGG40 quality ductile cast iron by manipulating ferrite/pearlite ratio in the material. Variation in percent

elongation value of GGG 40 quality ductile cast iron wishbone specimens-with certain chemical composition-subjected to three different cooling curves are investigated in order to determine effect of ferrite/pearlite ratio on percent elongation value. Consequently; percent elongation values at failure of the wishbone specimens of GGG 40 quality ductile iron with certain chemical composition are determined in the range 23.3-26.6%. Percent elongation values obtained for wishbone specimens were compared with percent elongation values measured on specimens taken from original wishbones of three global automotive manufacturers as well.

Keywords: Spheroidal graphite cast iron, GGG40, percent elongation at break, ferrite / pearlite ratio, cooling curve

1. Giriş

Dökme demirler miladi yılların başlarından itibaren kullanılan metal malzemelerdir. Teknolojik gelişmelerin sürekliliği, dökme demirlerin de metalürjik gelişimine yansımıştır. Zaman içinde, daha mukavemetli ve daha düşük maliyetli döküm ürünlerinin elde edilmesi mümkün olmuştur.

Dökme demirler ailesinin en bilinen türü olan gri dökme demir, sayısız fayda ve kullanım alanına sahip olmasına rağmen düşük mekanik özelliği onu az tercih edilir yapmıştır. Gri dökme demirin zayıf mukavemet ve süneklik özelliği küresel grafitli dökme demir (KGDD) üretimi ile giderilmiştir [1-3]. KGDD ile gri dökme demir bileşimleri arasında küçük sapmalar olmasına rağmen mekanik özellikler, metalografik özellikler, kullanım amaç ve alanları bakımından büyük farklar vardır. Gri dökme demirin yapısında grafitler lamel halindedir. KGDD yapısında ise grafitler küre şeklindedir. Grafitlerin küresel hale dönüşümünü sağlamak için sıvı dökme demire magnezyum (Mg) veya seryum (Ce), saf veya alaşım halinde ilave edilir [4].

Teknolojik gelişmelerle birlikte; teknolojinin gereksinimi olan araç ve gereçlerin üretiminde de buna bağlı olarak gelişmeler olmaktadır. KGDD'ler diğer dökme demir türlerine göre daha yüksek dayanım, süneklik, tokluk ve işlenebilirlik özelliklerine sahiptir. Bu üstün özelliklerin yanı sıra bu malzemelerin talaşlı imalat yöntemine uygunluğu, kısa süreli ısıtım işlemleri, çeliklere göre %10

daha hafif olmaları, döküm yoluyla son şekle getirilebilme yetenekleri, montaj kolaylıkları bu malzemeleri cazip hale getirmiştir [5-6].

Özellikle 2000'li yıllarda otomotiv sektöründe kırana bir rekabet başlamıştır. Firmalar çelikten imal ettikleri parçaları küresel grafitli dökme demirden üretmek için çalışmalar yapmaya başlamışlardır. Döküm parçaların ağırlıklarını azaltma çalışmaları hızlanmıştır. Daha hafif, dolayısıyla daha az yakıt kullanan araçlar üretmek temel amaç olmuştur. Bu sebeple otomotiv, iş makineleri ve traktör endüstrilerinde çok hızlı bir şekilde daha ince et payına sahip döküm parça ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Çeliğin yaptığı işi yapabilen döküm parça tasarımları yapılmış, ürünlerin devreye girme süreleri kısalmıştır. Dünyanın önde gelen otomotiv üreticilerinden Daimler Chrysler, General Motor ve Ford Motor Company'nin 2000 yılında otomotiv yan sanayi üreticileri için bir zorunluluk haline gelen QS 9000 standardını, 2002 yılında diğer otomotiv devlerinin de devreye girmesiyle ISO 16949 standardını hayata geçirmeleri ürün kalitesi odaklı bir sistemin çalışmaya başlamasını sağlamıştır [7].

KGDD'lerin bu üstün özellikleri uygulanan ısıtılma işlemlerle daha da iyileştirilebilmektedir. A1 (727 °C) sıcaklığının hemen üzerindeki sıcaklıklara ısıtılıp belirli bir süre tutulan KGDD malzemenin, yüzde kopma uzaması başta olmak üzere mekanik özelliklerinde iyileşme görülmüştür [8]. Bu çalışmada, kum kalıba döküm yöntemi ile üretilen KGDD (GGG40) malzemenin dökülen numunelere uygulanan ısıtılma işlemlerle kontrol edilen ferrit/perlit oranının yüzde kopma uzamasına etkisi çekme testleri yapılarak ortaya konmuştur. Ayrıca, grafit küre sayısına bağlı olarak mekanik özelliklerin nasıl değiştiği tespit edilmiştir. Buradan elde edilen bulgular ışığında çeşitli oluşumların neden ve nasıl gerçekleştiği araştırılmıştır. Bununla birlikte mikro yapıda ferrit/perlit oranına etki edebilecek alaşım elementleri de araştırılmıştır. Sonuç olarak; GGG40 mekanik özelliklerini koruyan ve özellikle yüzde kopma uzaması olarak %15-27 değerini sağlayabilecek küresel grafitli dökme demir minimum maliyetle üretilmesine çalışılmıştır.

2. Deneysel Çalışmalar

Bu çalışmada, bileşimi Çizelge 1'de, mekanik özellikleri Çizelge 2'de verilen döküm durumundaki GGG40 küresel grafitli dökme demir malzeme kullanılmıştır. Metalografik ve mekanik incelemelerde kullanılan numuneler, Şekil 1'de görülen süspansiyon sistemlerinin en önemli bileşenlerinden olan bir salıncaktan elde edilmiştir.

Çizelge 1. Derye kullanılan GGG40 küresel grafitli dökme demirin kimyasal bileşimi

%C	%Si	%Mn	%Mg	%P	%S	%Cu
3.47	2.65	0.28	0.04	0.02	0.02	0.04

Çizelge 2. GGG40 küresel grafitli dökme demirin mekanik özellikleri

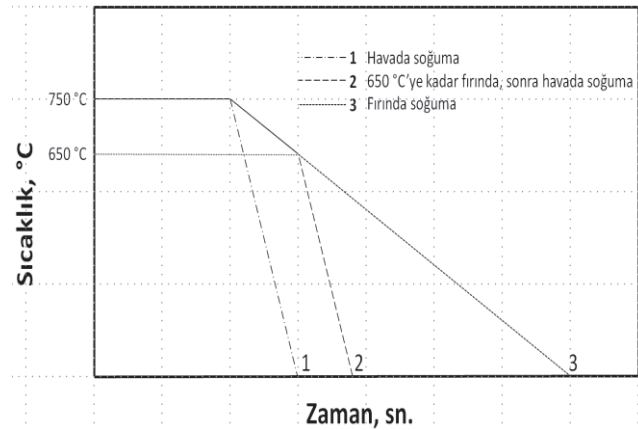
Proses	Akma Dayanımı MPa	Çekme Dayanımı MPa	Kopma Uzaması %	Sertlik HB

GGG40	250-350	400-550	15-27	135-185



Şekil 1. Metalografik ve mekanik incelemelerde kullanılan numunelerin çıkarıldığı salıncak

Dökümü gerçekleştirilen salıncak parçasının muhtelif bölgelerinden 4 adet mikro yapı analizi, sertlik ve çekme testleri için taslaklar çıkarılmıştır. Taslaklardan birinden hiçbir işlem uygulanmadan mikro yapı analizi, sertlik ve çekme testleri için numuneler çıkartılmıştır. Diğer taslaklar Şekil 2'de gösterildiği gibi dönüşüm sıcaklığının (A1) hemen üzerinde olan 750 °C'de 1,5 saat bekletildikten sonra sırasıyla; Proses 1'de havada, Proses 2'de 650 °C'ye kadar fırında, daha sonra havada ve Proses 3'te ise fırında olmak üzere 3 farklı ortamda soğutulmuştur. Uygulanan ısıtılma işlemler ile ferrit/perlit oranlarında farklılıklar öngörülen taslaklardan da mikro yapı analizi, sertlik ve çekme testleri için numuneler çıkartılmıştır.



Şekil 2. Uygulanan ısıtılma işlem prosesleri

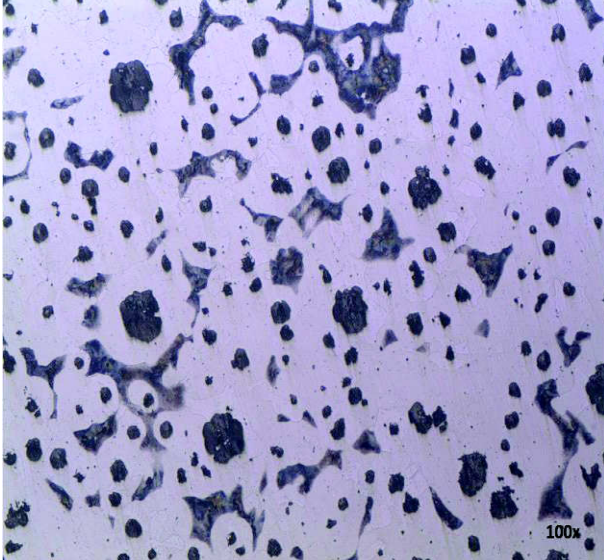
Isıl işlem uygulanan numunelere standart metalografi teknikleri; SiC zımpara kağıtları ile zımparalama ve 3 mikron parlatma çuhasında elmas süspansiyon ilavesi ile parlatma yapılmıştır. Farklı parametrelerde ısıtılma işlemine tabi tutulan KGDD parçaların, alınan kesitleri % 2 konsantrasyondaki nital; 2 ml HNO₃ 98 ml etanol ile dağlanmış, optik mikroskop altında incelenmiştir. Numunelerin kimyasal kompozisyonları Spectromaxx Optik Emisyon Spektroskopi Ünitesi'nde kontrol edilmiştir. Sertlik değerleri, Brinell sertlik cihazında 10 s. uygulama süresinde 750 kgf yük altında 5 mm

çapındaki çelik top kullanılarak ölçülmüştür. Çekme testleri ALŞA çekme-basma test makinesinde ASTM E8 standardına uygun olarak açık havada ve oda sıcaklığında yürütülmüştür. Test hızı 1 mm/dk. olarak belirlenmiştir. Yüzde kopma uzaması ASTM E8 standardına uygun olarak işlenmiş çekme çubuğuna tutturulan ölçüm aralığı 30 mm olan ekstensometre ile ölçülmüştür. % 0,2 uzama noktasındaki gerilme, akma dayanımı olarak kaydedilmiştir.

Ayrıca, çalışma kapsamında öncü otomotiv firmalarından alınan KGDD salıncak parçalarından elde edilen kimyasal analiz, sertlik, mikro yapı ve çekme testleri numunelerinin de test ve analizleri gerçekleştirilerek karşılaştırılmıştır.

3. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada kullanılan KGDD'nin herhangi bir ısıl işlem uygulamasına tabi tutulmamış, döküm halindeki (As-cast) mikro yapısının (Şekil 3) matris yapı; ferrit + perlit (ferrit+sementit) ve grafit kürelerinden meydana geldiği görülmüştür. Ayrıca, karbon içeriğinin grafit ve perlit fazlarının dışında serbest halde dağıldığı gözlemlenmiştir. Mekanik incelemeler kapsamında, salıncak parçasından çıkarılan sertlik ve çekme testi numuneleri sonucu (Çizelge 3) döküm durumundaki KGDD'nin metalografik analizinin yanı sıra mekanik özellikleri de belirlenmiştir. Elde edilen verilen ışığında, özellikle çalışmanın konusu olan kopma uzaması değeri %13,2 olarak ölçülerek GGG40 malzemenin uzama aralığı olan % 15-27 değerlerinin dışında olduğu görülmüştür. Çizelge 3'te görüldüğü gibi, diğer mekanik özellikler olan akma, çekme dayanımları ve sertlik değerinin GGG40 malzemenin mekanik özelliklerini karşıladığı tespit edilmiştir.



Şekil 3. Isıl işlem öncesi mikro yapı, 100X büyütme

Çizelge 3. Deney numunesinin ısıl işlem öncesi mekanik özellikleri

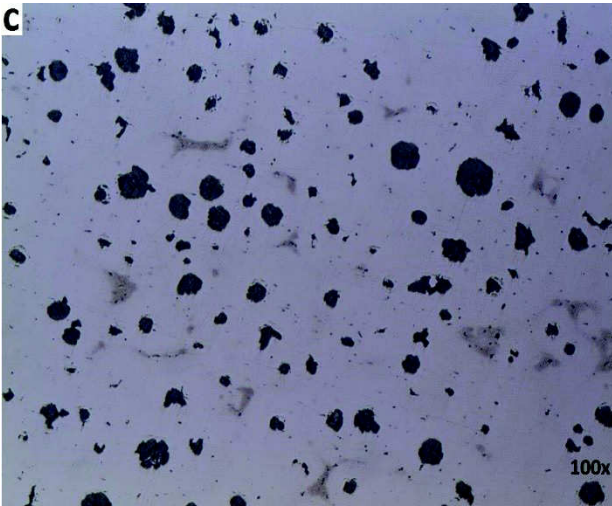
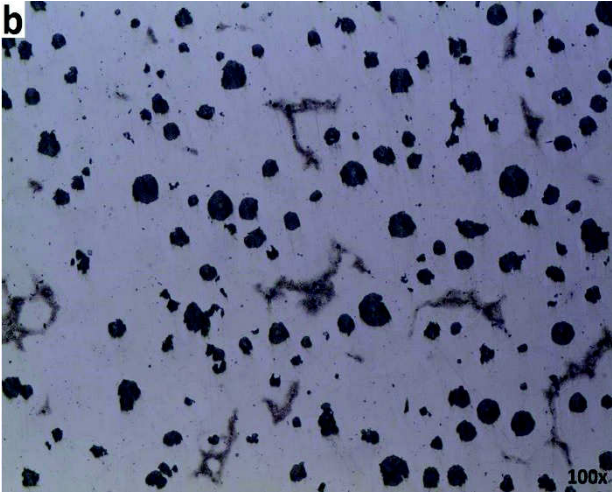
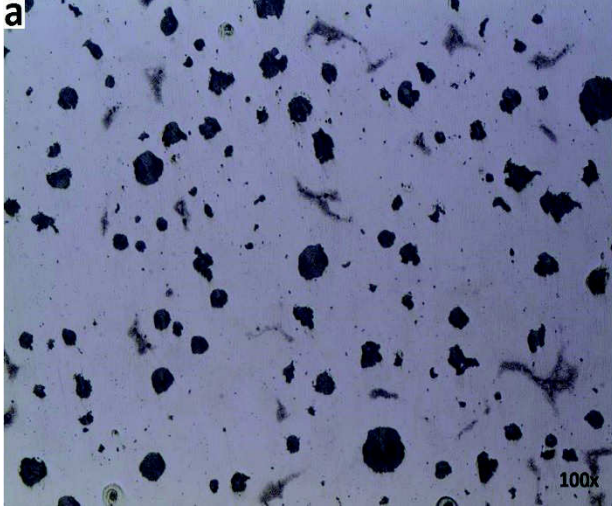
Proses	Akma Dayanımı MPa	Çekme Dayanımı MPa	Kopma Uzaması %	Sertlik HB
Isıl	405	470	13,2	165 ±

İşlemsiz (As-cast)				0,4

Metalografik analizler kapsamında yapılan mikro yapı çalışmalarında Şekil 4'te görüldüğü üzere 3 farklı soğutma ortamında da ferrit/perlit oranı artmıştır. Yapıda dağınık halde bulunan serbest karbonların grafit kürelerine difüze olduğu tespit edilmiştir. 3 soğuma ortamında da perlit oranı azalmış olmakla beraber, Proses 3 olan fırında soğuma şartlarında perlit oranı en aza inmiştir.

2002 tarihli bir çalışmada [9], 650 °C'nin altındaki sıcaklıklarda matristen grafit tanesine doğru hareketin olmadığı ya da çok az olduğu belirtilmiştir. Yine bu çalışmada, 650 °C'nin altındaki sıcaklıklarda yapılan temper işlemleri sonucu mikro yapıda ve sertlikte bir değişiklik izlenmediğine vurgu yapılmıştır [9]. 650 °C'nin altındaki sıcaklıklarda bir difüzyon görülmediği düşünüldüğünde, bu çalışmada Proses 2 (750 °C'de 1,5 saat bekleme, 650 °C'ye kadar fırında daha sonra havada soğutma) ve Proses 3 (750 °C'de 1,5 saat bekleme, fırında soğutma) arasında bir fark olmaması beklenmiştir. Nitekim mekanik özellikler açısından hiçbir fark ortaya çıkmamakla beraber, metalografik açıdan Şekil 4'te görüldüğü gibi perlit oranı Proses 3'te daha az miktardadır.

Yine bu çalışmada, temper sıcaklığından ya da östenit sıcaklığından soğutmalarda dönüşümün, dönüşümlerin olabileceği sıcaklıklardan geçişteki soğuma hızına bağlı olduğu belirtilmiştir. Fırında soğutmada (yavaş soğutma) soğuma hızı difüzyonun devamına izin verdiğinden ferrit oluşumunun devam ettiği, havada soğutmada ise soğuma hızının genel olarak difüzyona çok az izin verdiğini ve ısıtma esnasında oluşan yapının nispeten az değiştiği belirtilmektedir. Östenitleştirme sıcaklığına ısıtılıp havada soğumaya bırakılan parçaların soğuma hızları, çoğu zaman kalıp içinde katılaşmadan sonraki soğuma hızlarından daha yüksek olduğundan, perlit miktarlarının da döküm durumunda sağlanan perlit miktarından daha yüksek olmasının beklenebileceği vurgulanmıştır [9]. Bu beklenti bu çalışmada da kısmen doğrulanmıştır. Şekil 4 incelendiğinde Proses 1 ve Proses 2 arasında perlit oranı olarak anlamlı bir fark olmasa da, Proses 3'te perlit oranı diğer soğuma şartlarına göre en azdır.



Şekil 4. a) Proses 1 (750 °C'de 1,5 saat bekleme, havada soğutma) sonrası mikro yapı, b) Proses 2 (750 °C'de 1,5 saat bekleme, 650 °C'ye kadar fırında daha sonra havada soğutma) sonrası mikro yapı, c) Proses 3 (750 °C'de 1,5 saat bekleme, fırında soğutma) sonrası mikro yapı, 100X büyütme

Mekanik testler kapsamında yapılan sertlik ve çekme testleri sonucunda Çizelge 4'te görüleceği üzere 3 farklı soğuma şartında da kopma uzaması değeri ısıtma işlem uygulanmayan döküm durumundaki (as-cast) kopma uzaması değerine göre yaklaşık 2 kat artmıştır. Akma, çekme dayanımları ve sertlik değerlerinde ise yine 3 farklı soğuma şartında da GGG40 malzeme spektrileri aralığına uygun sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 4. Deney numunelerinin ısıtma işlem sonrası mekanik özellikleri

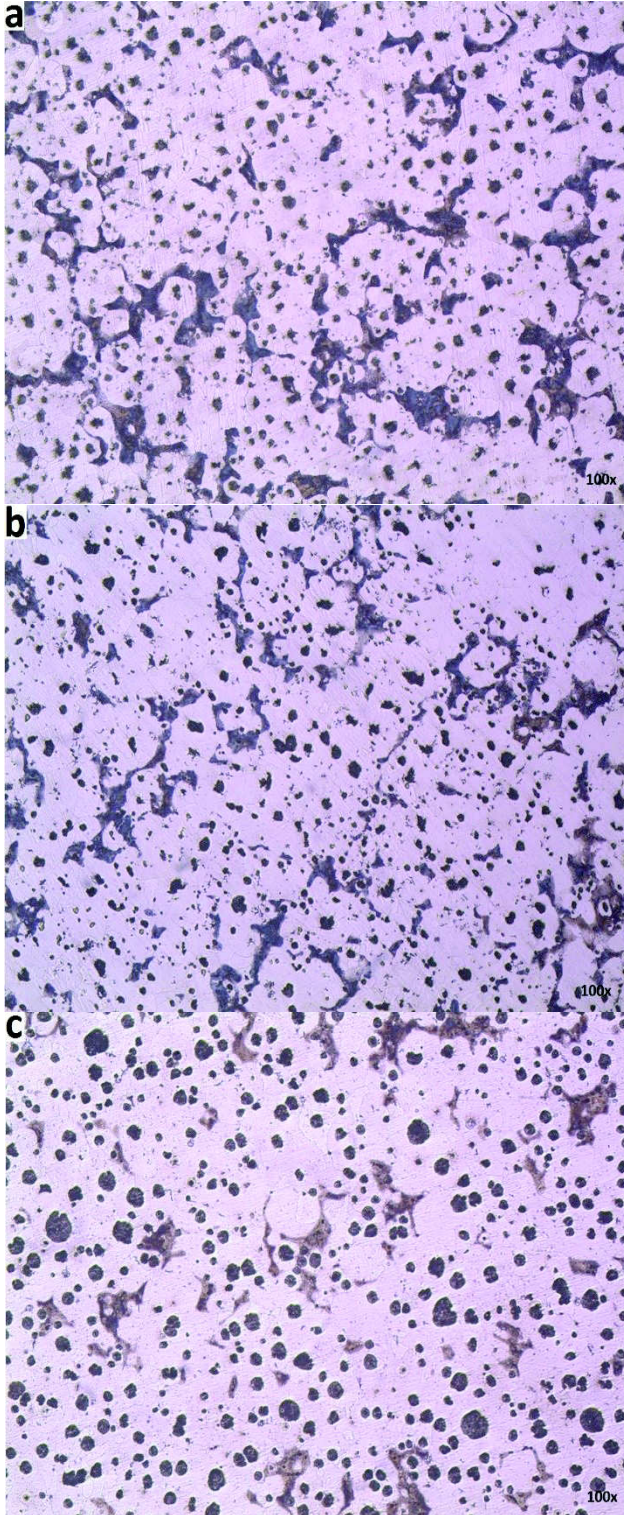
Proses	Akma Dayanımı MPa	Çekme Dayanımı MPa	Kopma Uzaması %	Sertlik HB
Proses 1	348,7	462,9	26,6	154 ± 0,9
Proses 2	307,4	436,9	25	153 ± 0,7
Proses 3	350,5	458,3	23,3	154 ± 0,6

Elde edilen veriler ışığında, döküm durumunda bulunan KGDD'ye uygulanan ısıtma işlem sonucu 3 farklı soğuma ortamında da hem metalografik hem de mekanik olarak yakın sonuçlar elde edilmiştir. Tüm şartlar da çalışmanın ana hedefi olan kopma uzaması değerinin % 20-25 seviyelerine çıkarılması sağlanmıştır. Döküm durumundaki KGDD malzemeye uygulanan bu ısıtma işlem teknikleriyle kopma uzaması değeri 2 katına çıkarılmıştır.

Çalışma kapsamında, öncü otomotiv firmalarının da ürettiği GGG40 salıncak parçaları kimyasal, metalografik ve mekanik olarak incelenmiştir. Çizelge 5'te 3 farklı firmaya ait GGG40 salıncak parçasının OES analizleri, Şekil 5'te mikro yapıları, Çizelge 6'da mekanik özellikleri görülmektedir.

Çizelge 5. 3 farklı firmaya ait GGG40 salıncak parçasının kimyasal bileşimleri

Firma	%C	%Si	%Mn	%Mg	%P	%S	%Cu
Firma X	3.84	2.54	0.14	0.04	0.02	0.01	0.10
Firma Y	3.66	2.56	0.14	0.04	0.02	0.01	0.10
Firma Z	3.66	2.75	0.17	0.04	0.04	0.01	0.04



Şekil 5. a) Firma X'in ürünü olan GG40 salıncak parçasının mikro yapısı, **b)** Firma Y'nin ürünü olan GGG40 salıncak parçasının mikro yapısı, **c)** Firma Z'nin ürünü olan GGG40 salıncak parçasının mikro yapısı , 100X büyütme

Çizelge 6. 3 farklı firmaya ait GGG40 salıncak parçasının mekanik özellikleri

Firma	Akma Dayanımı MPa	Çekme Dayanımı MPa	Kopma Uzaması %	Sertlik HB
Firma X	304,6	468,6	20,5	178 ± 0,5
Firma Y	295,3	454,7	23	175 ± 0,8
Firma Z	300,8	459,2	19	180 ± 0,3

4. Sonuç

KGDD'de yüzde kopma uzaması değerinin malzemede ki ferritik matris yapısının oranına bağlı olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada KGDD malzemelerde Ferrit/Perlit oranının kontrol edilmesi ile yüzde kopma uzaması değerinin kontrol edilebileceği fikrinden hareket edilerek mevcut olana göre daha yüksek yüzde kopma uzaması değerlerine ulaşılması hedeflenmiştir. Çalışma kapsamında, farklı soğuma eğrilerine tabi tutulan KGDD salıncaklar metalografik analizler ve statik testler kullanılarak karşılaştırmalı olarak incelendiğinde, ferrit/perlit oranının yüzde kopma uzaması değeri üzerinde belirleyici bir etkisi olduğu doğrulanmıştır. Çalışmalarda; GGG 40 malzemeden üretilen salıncığın yüzde kopma uzaması değeri üç farklı ısıl işlem prosesinde % 23.3-26.6 arasında elde edilmiştir. Farklı soğuma eğrileri ile elde edilen yüzde kopma uzaması değerlerinin üç farklı global otomotiv üreticisine ait GGG40 malzemeden üretilen orijinal salıncaklar üzerinde ölçülen yüzde kopma uzaması değerlerinden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen bulgular şöyledir:

- A1 (polimorfik dönüşüm) sıcaklığının üstüne çıkarılıp bekletildikten sonra oda sıcaklığına soğutulan GGG40 malzemenin yüzde kopma uzaması değeri artmaktadır.
- KGDD'lerde ısıl işlemle perlitin ferrite dönüşmesi malzemenin yüzde kopma uzaması değerini artırmaktadır.
- A1 sıcaklığının üzerine ısıtılan parçanın fırında soğuması ile oda sıcaklığında soğumaya bırakılması arasında hem metalografik hem mekanik açıdan anlamlı bir fark gözlemlenmemiştir.
- Isıl işlem uygulanan GGG40 malzemenin yüzde kopma uzaması değeri; hedeflenen uzama değeri olan % 20'nin üzerine çıkmıştır.
- Global otomotiv üreticilerine ait GGG40 kalitedeki KGDD orijinal süspansiyon parçalarının yüzde kopma uzaması değerleri yaklaşık % 20 civarındadır.

5. Teşekkür

Çalışmalardaki katkıları nedeniyle Selçuk Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden Sn. Prof. Dr. Fatih M. BOTSALI'ya, AYD Ar-Ge Merkezi'nden Sn. Ü. Ahmet ÇAKAL'a ve Sn. Gamze KÜÇÜKYAĞLIOĞLU'na teşekkürü borç biliriz.

Kaynaklar

- [1] Çelik, O. N. (1996). Küresel Grafitli Dökme Demirlerde Cu, Ni ve Mo Alaşım Elementlerinin Östemperleme Sonucu Beynit Oluşumuna Etkisinin İncelenmesi ve Sinirsel Ağ Modeli İle Değerlendirilmesi. Yayımlanmış doktora tezi, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- [2] Öker, H. (2012). Isıl İşlem Uygulaması Yapılmadan Uygun Mekanik Özelliklerde EN-GJS 400-18LT (GGG40.3-DIN1693) Malzemenin Döküm Proses Şartlarının Sağlanması. TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası Dergisi, 26-34.
- [3] Voracek, J. (2001). Prediction of mechanical properties of cast irons. Applied Soft Computing, 119–125.
- [4] Bayraktar, M. (2009). Düktil Demir Dökümlerde Küre Sayısının Tespiti ve Mekanik Özelliklere Etkisi. Yayımlanmış yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- [5] Hasırcı, H. (2000). Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerde Alaşım Elementleri (Cu ve Ni) ve Östemperleme Süresinin Mikroyapı ve Mekanik Özellikler Üzerine Etkileri. Yayımlanmış yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- [6] Kaçal, A., Gülesin, M., Melek, F. (2008). GGG 40 Küresel Grafitli Dökme Demirlerin İnce Tornalama Operasyonlarında Kesme Kuvvetlerinin ve Yüzey Pürüzlülüğünün Değerlendirilmesi. Politeknik Dergisi, 11, 3, 229-234.
- [7] Özdemir, Ö. (2007). Otomotiv Sektöründe Kullanılan Küresel Grafitli Dökme Demir Üretimine Etki Eden Parametrelerin Teorik İncelenmesi Ultrasonik Ses Hızı Yöntemiyle Tahribatsız Kontrolü ve Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması. Yayımlanmış yüksek lisans tezi, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- [8] Madtha, L. S., Babu, N. (2013). Experimental Behavioural Study Of Ductile Cast Iron Microstructure And Its Mechanical Properties. International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA), 3, 3, 1470-1475.
- [9] Koç, Ş. (2002). Küresel Grafitli Dökme Demirde GGG50 Mekanik Özelliklerinin Isıl İşlem İle Sağlanması. TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası Dergisi, 20-27.