

## Östemperleme Isıl İşlem Sıcaklığının En GJS 600-3 Sfero Döküm Malzemede Mekanik Özelliklere Etkisi ve Hidrolik Direksiyon Kutusuna Uygulanması

Ahmet Oktay Devecili

Gökay Uymaz

Hema Endüstri A.Ş.  
Organize Sanayi Bölgesi, 59501,  
Çerkezköy/Tekirdağ-Türkiye

*Bu çalışmada EN 1563 standardına göre EN-GJS-600-3 olarak dökülmüş sfero döküm malzemeye östemperleme ısıl işlemi uygulanmıştır. Östemperleme süresi tüm numuneler için sabit olmak kaydıyla 1 saat, Isıl işlem sıcaklığı ise, 300 0C, 350 0C ve 400 0C olarak seçilmiştir. Östemperleme ısıl işlemi sonrasında hiç ısıl işlem görmemiş numuneler ile ısıl işlem sonrası değerler irdelenmiştir. Testler sonrasında östemperleme sıcaklığı arttıkça çekme ve akma mukavemetinin düştüğü ancak % uzama ve darbe direnç değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca bu çalışmada 350 0 C östemperleme ısıl işlemi ile elde edilen değerler kullanılarak ticari araçlar için tasarlanmış hidrolik direksiyon kutusu sonlu elemanlar paket programı ile analiz edilmiş ve ısıl işlem uygulanmamış verilerle karşılaştırmalar yapılmıştır.*

### 1. GİRİŞ

Değişen dünya ile birlikte mühendislik malzemelerinde de bu değişikliğe paralel olarak genelde daha mukavemetli, daha hafif ve ucuz malzemeler bulunarak geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu malzeme gruplarından biri de sfero döküm malzemeleridir. Sfero döküm malzemeleri uygun ısıl işlemler ile ortalama %10-40 daha ucuz olmasından ayrıca daha kolay üretilebilir olmasından dolayı bazı uygulamalarda çeliğin yerini almaya başlamıştır[1-5]. Özellikle otomotiv endüstrisinde motor krankı ve dişliler önemli miktarda östemperlenmiş malzemelerin kullanıldığı uygulama alanlarından bir tanesidir[6,7].

Östemperleme ısıl işlemi ilk olarak Davenport ve Bain tarafından 1930 yıllarda çeliklere uygulanmıştır. Elde edilen beynitik yapıya da Bain kendi ismini vermiştir[8]. Daha sonra bir çok araştırmacı sfero ve çelik malzemelerin mekanik değerlerindeki değişimleri irdelemek, aşınma ve yorulma performanslarını incelemek için ısıl işlem şartlarını ve malzeme kimyasal kompozisyonunu değiştirerek araştırmalar yapmıştır[9-20].

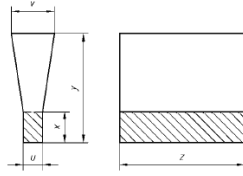
Ancak yapılan literatür araştırması sonrasında EN-GJS-600-3 malzeme kimyasal kompozisyonuna sahip ve yalnızca Cu alaşımlı bir alaşıma sahip döküm malzemenin östemperleme sonrasındaki karakteristiklerinin incelenmediği görülmüştür. Bu çalışmada bu malzemenin ısıl işlem sonrası değerleri irdelenmiş ve ayrıca ticari araç hidrolik direksiyon kutusu EN GJS 600-3 malzeme ile dökülerek östemperleme ısıl işlemine tabi tutulmuştur. Isıl işlem öncesi değerler ile ısıl işlem sonrası mekanik değerler kullanılarak sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilmiş ve aradaki farklar tespit edilmiştir.

### 2-DENEYSEL ÇALIŞMA

#### 2.1. Döküm Numunelerin Hazırlanması

Döküm, magnezyum küreselleştirme işlemi sonrasında 1420 °C'de %0,2 oranında ultraseed stronsiyum bazlı aşılama malzemesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Dökümü yapılan EN-GJS-600-3 malzemeye ait kimyasal kompozisyon analizi Tablo-1'de gösterilmiştir. Analiz döküm potasından alınmış ve optik spektrometre ile 3 ayrı noktadan ölçülerek ortalaması alınmıştır.

Dökümler EN 1563 standardında tip olarak “I” ile belirtilen boyutlarda “Y” bloklara toplamda 16 adet dökülmüştür. Döküm blokları Şekil-1’de şematik olarak gösterilmiştir.



Maße in Millimeter

Maß	Typ			
	I	II	III	IV
u	12,5	25	50	75
v	40	55	100	125
x	25	40	50	65
y <sup>1)</sup>	135	140	150	175
z <sup>2)</sup>	abhängig von der Probenlänge			

Şekil-1) EN 1563 standardı Y blok çekme çubuğu döküm boyutları

Ayrıca ticari araç direksiyon gövdesi olarak adlandırılan parça da Tablo-1’de gösterilen alaşım ile dökülmüştür. Parçanın toplam ağırlığı 32 Kg dır. Döküm sonrası parçanın görüntüsü Şekil-2’de gösterilmiştir.

## 2.2. Östempereleme Isıl İşleminin Uygulanması

Şekil-1’de gösterilen çekme çubuğu Y blokları östempereleme ısıl işlemi öncesinde testere ile kesilerek ısıl işlemin ve mekanik testlerin yapılacağı

kısımlar ayrılmıştır. Kesilen parçalar daha sonra östempereleme ısıl işlemine tabi tutulmuştur. Isıl işlem parametreleri Tablo-2’de gösterilmiştir.



Şekil-2) Ticari araç hidrolik direksiyon gövdesi

Parçaların tamamı 900 °C’de 1 saat tutulduktan sonra Tablo-2 de gösterildiği şekilde 300°C, 350°C ve 400°C sıcaklıklarda 1 saat tutulmuş sonrasında oda sıcaklığına soğutulularak östempereleme ısıl işlemi gerçekleştirilmiştir. Isıl işlem sırasında her grupta 4 er adet olmak üzere toplamda 16 parçaya ısıl işlem yapılmıştır. Daha sonra yapılacak mekanik mukavemet değerlerinin ölçümünde her grubun değerlerinin ortalaması alınmıştır.

Tablo-1) EN-GJS-600-3 malzeme döküm alaşımı kimyasal kompozisyonu

KİMYASAL KOMPOZİSYON (%ağırlıkça)												
% C	% Si	% Mn	% P	% S	% Cr	% Cu	% Sn	% Mg	% Al	% Ti	% B	Fe
3,63	2,54	0,35	0,044	0,027	0,04	0,82	0,03	0,045	0,001	0,018	0,0015	Kalan

Tablo-2) Östempereleme ısıl işlem parametreleri

Numune adeti	Numune cinsi	Östenit Sıcaklığı (°C)	Östenitleme Süresi (saat)	Östempereleme Sıcaklığı (°C)	Östempereleme Süresi (saat)
4	Çekme çubuğu	900±5	1	300±5	1
4	Çekme çubuğu	900±5	1	350±5	1
4	Çekme çubuğu	900±5	1	400±5	1
4	Direksiyon gövdesi	900±5	1	350±5	1

## 2.3. Mekanik Mukavemet Değerleri

### 2.3.1 Çekme/Akma Mukavemeti Değerleri

Östempereleme ısısal işlemi yapılan numuneler ile ısısal işlem yapılmamış döküm haliyle bulunan numunelerin mekanik değerlerinin tespiti için EN ISO 6892-1 standardına göre çekme testine tabi tutulmuştur. Çekme testi öncesi hazırlanan numunelerin örnek görüntüsü Şekil-3'te gösterilmiştir.



Şekil-3) Çekme testi yapılan numunelere ait görüntü

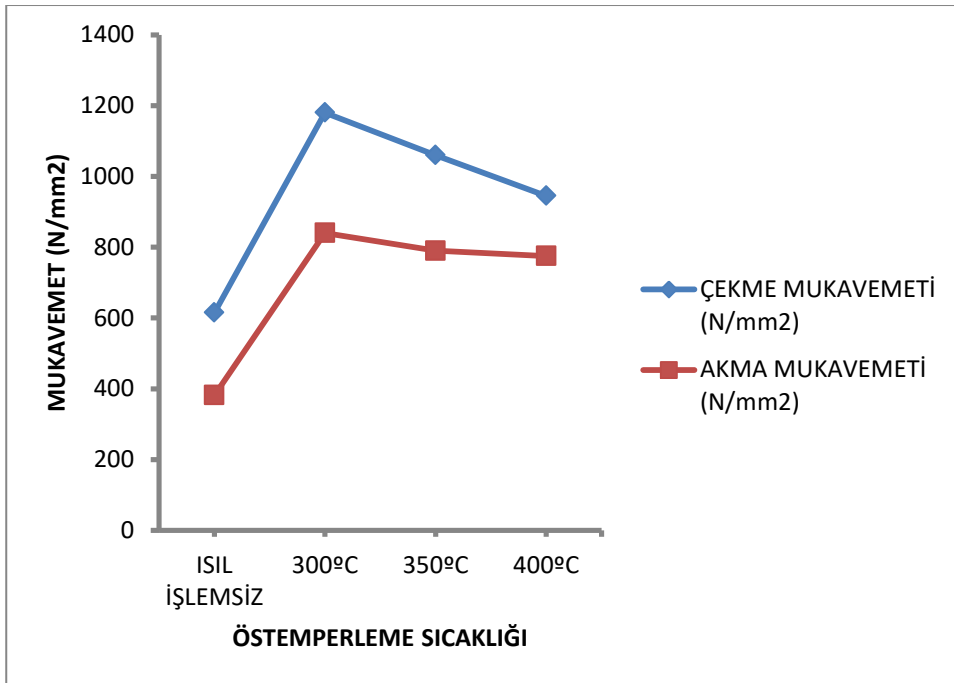
Çekme testi sonrasında malzemelerin çekme mukavemeti, akma mukavemeti ve %uzama değerleri tespit edilmiştir. Her numune grubu için hazırlanan 4 numunede elde edilen değerlerin ortalamaları alınarak Şekil-4 ve Şekil-5'de gösterilmiştir.

### 2.3.2 Çentik Darbe Mukavemeti Değerleri

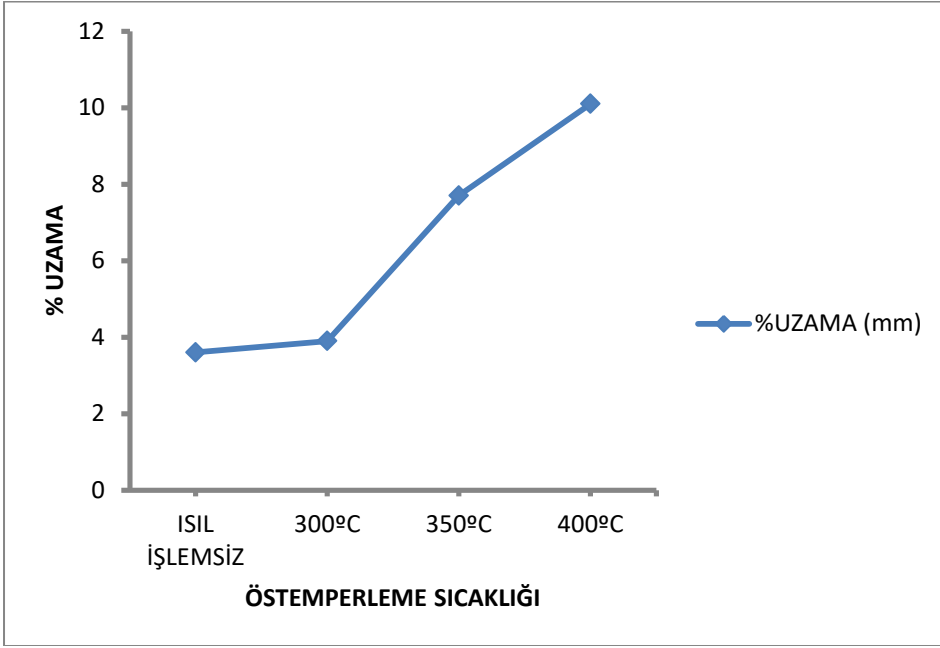
Farklı sıcaklıklarda östempereleme ısısal işlemi yapılan numune grupları ile ısısal işlem yapılmamış numunelere darbe mukavemeti değerlerinin tespiti için test yapılmıştır. Testler sonrasında elde edilen değerler Şekil-6'da gösterilmiştir. Değerler her ürün grubu için 4 numunenin ortalaması alınarak elde edilen değerlerdir.

### 2.3.3 Sertlik Ölçüm Değerleri

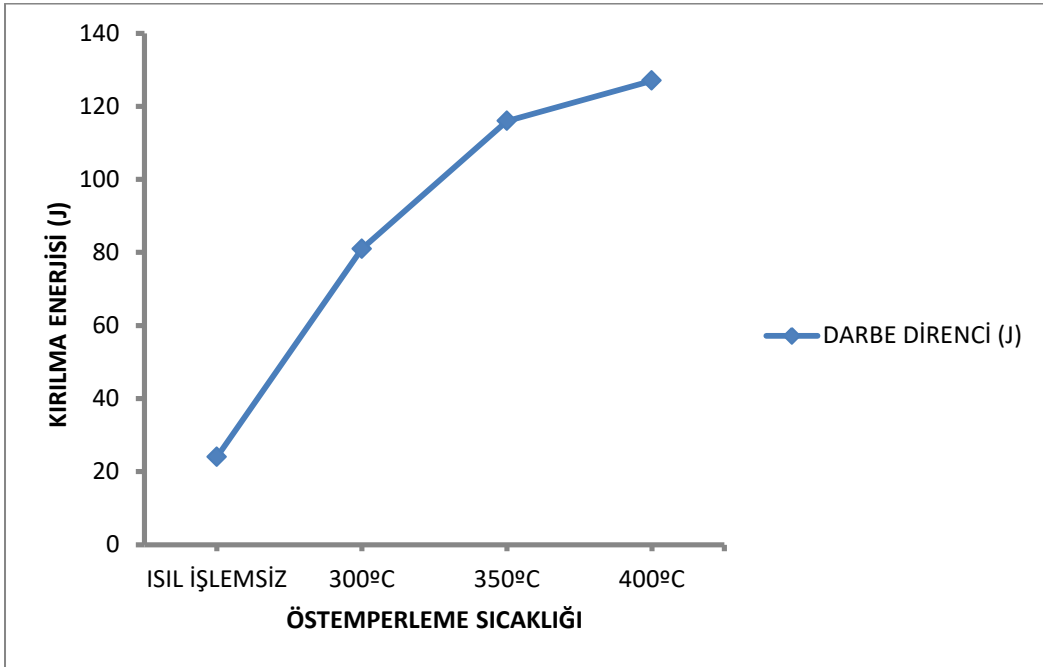
Isısal işlem yapılmamış ve farklı sıcaklıklarda östempereleme ısısal işlemi yapılmış numunelerin sertlik ölçümleri yapılmıştır. Sertlik ölçümleri 3000 kg yük ve 10 mm bilya çapına sahip uç ile gerçekleştirilmiş olup bulunan değerler Şekil-7'de gösterilmiştir.



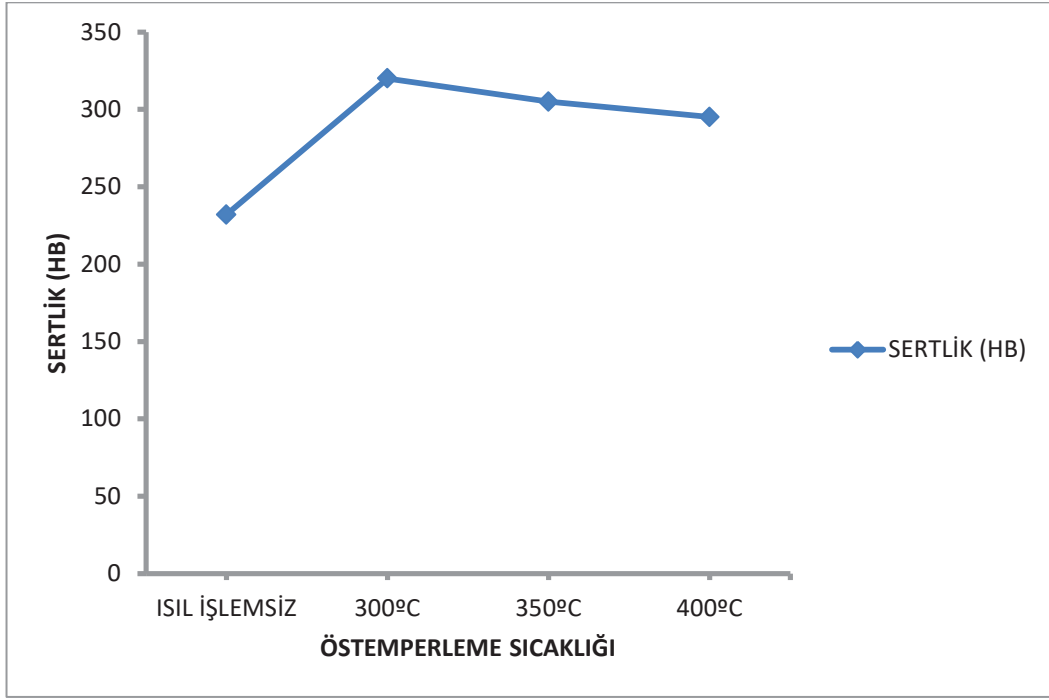
Şekil-4) EN GJS 600-3 kalite malzemede çekme ve akma mukavemeti değerlerinin ısısal işlem sıcaklığına bağlı olarak değişimi.



Şekil-5) EN GJS 600-3 kalite malzemede %uzama değerinin ısıtım işlem sıcaklığına bağılı olarak değişimi.



Şekil-6) EN GJS 600-3 kalite malzemede darbe direnci (J) değerinin ısıtım işlem sıcaklığına bağılı olarak değişimi.



Şekil-7) EN GJS 600-3 kalite malzemede sertlik değerinin ısı işlem sıcaklığına bağlı olarak değişimi.

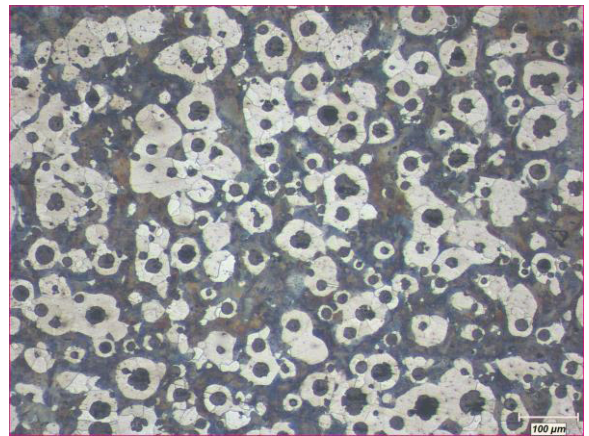
#### 2.4. Mikroyapı Sonuçları

Tuz banyosunda 300<sup>0</sup> C, 350<sup>0</sup> C ve 400<sup>0</sup> C de 1 saat östemperleme ısı işlemine tabi tutulan numuneler 80, 180, 320, 600, 800 grid zımpara ile zımparalanmış devamında 3 mikron tane boyutuna sahip elmas pasta ile parlatılmıştır. Yapı dağılımını tespit etmek için %4 nitrik asit konsantrasyonuna sahip dağlayıcı ile dağlanmıştır. Devamında mikroyapı resimleri optik mikroskop ile tespit edilmiş olup Şekil-8-9-10-11'de gösterilmiştir. Isıl işlem yapılmamış numunenin mikro yapısında ferrit ve perlit bulunurken, 300<sup>0</sup> C ve 350<sup>0</sup> C ısı işleme tabi tutulan numunelerde matris fazının martenzitik ağırlıklı, 400<sup>0</sup> C de ısı işleme tabi tutulan numunenin ise çoğunlukla bey nitik yapıdan oluştuğu tespit edilmiştir.

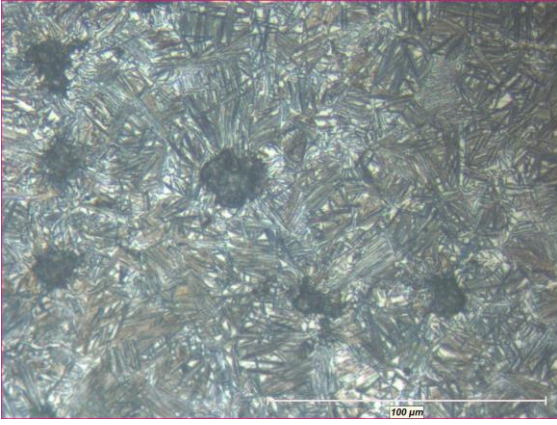
#### 2.5. Hidrolik Direksiyon Kutusu Yapısal Analiz Sonuçları

Sonlu elemanlar paket programı kullanılarak ticari araçların hidrolik direksiyon sistemleri için tasarlanmış direksiyon gövdesi analiz edilmiştir. Analiz sırasında programın veri tabanına ısı işlem yapılmamış EN-GJS-600-3 malzemede bulunan mekanik değerler ile östemperleme ısı işlemi sonrasında 350<sup>0</sup>C elde edilen mekanik mukavemet değerleri kullanılmış ve iki farklı malzemenin nasıl davrandığı karşılaştırmalı olarak tespit edilmeye çalışılmıştır

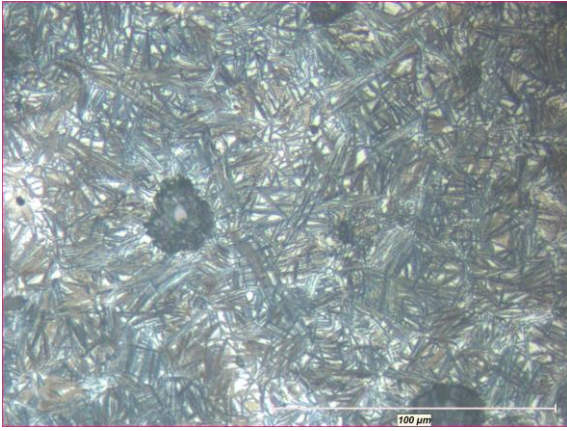
Sonlu elemanlar programındaki analiz sırasında parça üzerine çalışma prensibine paralel olarak 37425 N yük uygulanmış olup bu yük değeri araç üzerinde parça üzerine gerçekte gelecek yük değeri kadardır. Uygulanan yük sonrasında parçanın gerinme değerleri çıkarılmış, ayrıca emniyet katsayı değerleri ısı işlem uygulanmamış EN GJS600-3 malzemenin mekanik değerleri ile östemperleme ısı işlemi uygulanarak elde edilmiş değerler kullanılarak hesaplanmıştır. Karşılaştırma sonuçları Şekil-12-13'de gösterilmiştir.



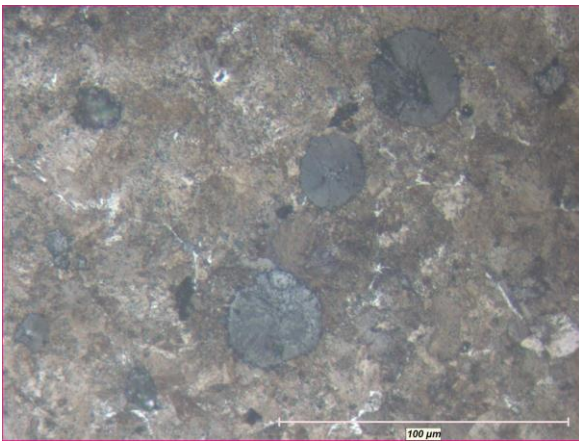
Şekil-8) Isıl işlem yapılmamış döküm parçanın 100X mikro yapı görüntüsü



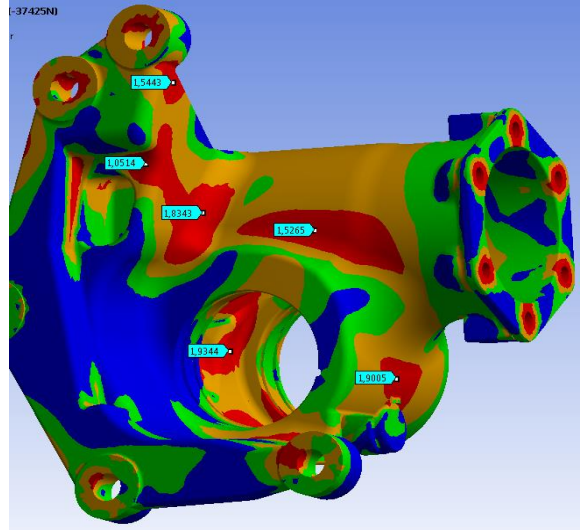
Şekil-9) 300°C'de östempereleme yapılmış döküm parçanın 500X mikro yapı görüntüsü



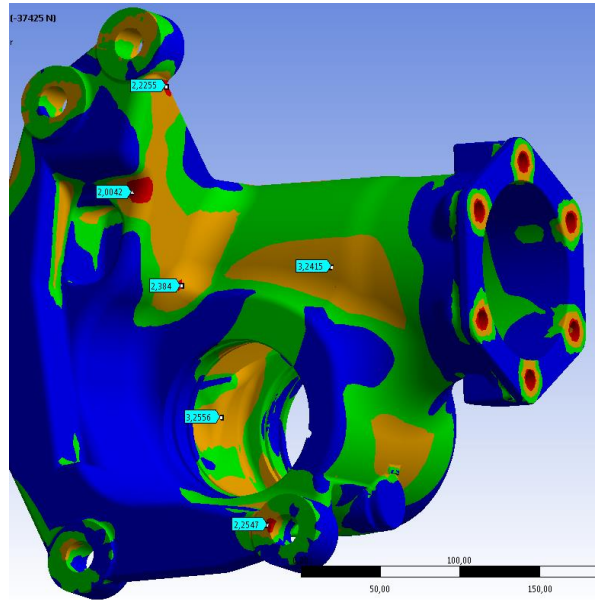
Şekil-10) 350°C'de östempereleme yapılmış döküm parçanın 500X mikro yapı görüntüsü



Şekil-11) 400°C'de östempereleme yapılmış döküm parçanın 500X mikro yapı görüntüsü



Şekil-12) 37425 N yük altında EN-GJS-600-3 malzemenin ısı işlemsiz mekanik değerleri kullanılarak yapılan analiz ve emniyet katsayısı görüntüsü



Şekil-13) 37425 N yük altında EN-GJS-600-3 malzemenin 350°C'de östempereleme ısı işleme sonrası elde edilen mekanik değerleri kullanılarak yapılan analiz ve emniyet katsayısı görüntüsü

### 3. SONUÇLARIN YORUMLANMASI

- Ham döküm haliyle çekme mukavemeti 600 N/mm<sup>2</sup> olarak bulunan dökme demir malzemeye östemperleme ısıl işlemi uygulandığı takdirde çekme mukavemetinin 1100 N/mm<sup>2</sup> civarına çıkabileceği tespit edilmiştir. Çekme mukavemetindeki bu artışa paralel olarak akma mukavemeti değerlerinin de 800 N/mm<sup>2</sup>'ye ulaştığı görülmüştür.
- Östemperleme ısıl işlemi sonrasında bulunan darbe direnci kırılma mukavemeti 120-130 J seviyelerine çıkarken ısıl işlem görmemiş parçada bu değer 20-25 J seviyelerinde olduğu tespit edilmiştir. Artış yaklaşık 5 kattır.
- Yine malzemedeki %uzama değeri ham döküm malzemede %3-4 civarında iken östemperleme sonrasında bu değer %10 değerine kadar çıktığı tespit edilmiştir.
- Döküm haliyle mikroyapıda matris fazının ferrit ve perlitten oluştuğu, ısıl işlem sonrası ise yapının martenzit ve beynite dönüştüğü tespit edilmiştir. Mukavemet artışındaki ana neden bu dönüşümden kaynaklanmaktadır.
- Sonlu elemanlar yöntemi ile östemperleme ısıl işlemi sonrasında elde edilen değerlerin kullanılarak analiz edildiği hidrolik direksiyon kutusunun hiç ısıl işlem görmemiş parçaya göre yaklaşık 2,5 kat daha emniyetli olarak çalışabileceği tespit edilmiştir.
- Sonuç olarak östemperleme ısıl işlemi ile standart olarak dökülmüş olan EN-GJS-600-3 malzemenin mekanik değerleri artmaktadır. Böylece ağır yük altında çalışması gereken parçaların emniyetli bir şekilde çalışmasını sağlayacak gerekli mekanik değerlerin sağlanabileceği tespit edilmiştir.

### KAYNAKÇA

1. Putatunda SK.MaterSciEng—Struct MaterProp Microstruct Process 2001;315:70–80.
2. Eric O, SidjaninL, MiskovicZ, ZecS, JovanovicMT. MaterLett 2004;58:2707–11.
3. Kim YJ, ShinH, ParkH, LimJD.MaterLett 2008;62:357–60.
4. Lerner YS, KingsburyGR.J Mater Eng Perform 1998;7:48–52.
5. Chapetti MD. IntJFatigue 2007;29:860–8.

6. Magalhaes L, MartinsR, SeabraJ. TribolInt 2012;46:97–105.
7. Lefevre J, HayrynenKL. JMater Eng Perform 2013;22:1914–22.
8. Davenport ES, Bain EC. Transformation of austenite at constant sub-critical temperatures. Trans Am Inst Mining Metallurg Eng, Iron and Steel Division 1930:117–54.
9. Liu SF, ChenY, ChenX, MiaoHM. JIronSteelResInt 2012;19:36–42.
10. PutatundaSK, GadicherlaPK. Material Sci. Eng Struct Mater Prop Microstruct Process1999;268:15–31.
11. Rao PP, PutatundaSK.MaterSciEng—Struct Mater Prop Microstruct Process 2003;349:136–49.
12. Putatunda SK,KesaniS, TackettR, LawesG.MaterSciEng —StructMaterProp Microstruct Process 2006;435:112–22.
13. Hsu CH, LinKT.MaterSciEng—StructMater Prop Microstruct Process 2011;528:5706–12.
14. J.E. Hurst, R.V. Riley, The microstructure of commercial acid resisting silicon-iron alloys, Iron Steel Trades J. (1947) 172–181.
15. B.V. Kovacs, Increased wear resistance and toughness in grey cast irons, Modern Cast. (1990) 38–41.
16. J. Aranzabal, I. Gutierrez, J.M. Rodriguez-Ibabe, J. Urcola, Influence of the amount of the amount and morphology of retained austenite on the mechanical properties of an austempered ductile iron, Mater. Sci. Technol. 8 (1992) 263–273.
17. P.P. Rao, S.K. Putatanda, Influence of microstructure on fracture toughness of austempered ductile iron, Metall. Mater. Trans. A 28 (1997) 1457–1470.
18. A. Trudel, M. Gagne, Effect of composition and heat treatment parameters on the characteristics of austempered ductile irons, Can. Metall. Quart. 36 (5) (1997) 289–298.
19. P.P. Rao, S.K. Putatanda, Dependence of fracture toughness of austempered ductile iron on austempering temperature, Metall. Mater. Trans. A 29 (1998) 3005–3016.
20. S.C. Lee, C.H. Hsu, C.C. Chang, H.P. Feng, Influence of casting size and graphite nodule refinement on fracture toughness of austempered ductile iron, Metall. Mater. Trans. A 29 (1998) 2511–2521.