

DÜŞÜK KARBONLU ÇELİK TEL TAKVİYELİ KIR DÖKME DEMİR KOMPOZİTLERİN SERTLİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Ahmet AKDEMİR^a Recai KUŞ^{b*}

^aSelçuk Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü
Kampüs/KONYA

^aSelçuk Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makina Eğitimi Bölümü
Kampüs/KONYA

Özet

Bu çalışmada, takviye elemanı olarak düşük karbonlu çelik tel, matris malzemesi olarak ise kır dökmedemir kullanılarak metal matris kompozit üretilmiştir. Üretilen kompozit numunelerin bir kısmına gerilim giderme tavlama sıcaklıklarına de 800 °C, 850 °C ve 900 °C de normalizasyon ısıl işlemi uygulanmıştır. Numuneler Vickers ve Rockwell sertlik ölçme metodu ile sertlikleri ölçülmüştür. Kompozit numunenin dökmedemir bölgesinin sertliğinin ve dökmedemir numunenin de sertlik değerleri birbirine yakındır ve normalizasyon ısıl işlem sıcaklığından etkilenmediği görülmüştür. Kompozit numunede çelik bölgesinin sertliği dökmedemir bölgesi sertliğine ve dökmedemir numunenin sertliğine nazaran büyük çıkmıştır. Kompozit numunenin geçiş bölgesi sertliğinin diğer bölgelere göre diğer bölgelere göre en yüksek sertlik değerine sahip olduğu tesbit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Metal Matrisli Kompozit, Kır Dökmedemir, Çelik Tel, Sertlik, Normalizasyon Isıl işlemi.

INVESTIGATION OF HARDNESS PROPERTIES OF GRAY CAST IRON COMPOSITES REINFORCED WITH LOW CARBON STEEL WIRE

Abstract

In this study, gray cast iron composite is produced by reinforcing with low carbon steel wire. Stress release annealing is applied to some of the produced MMC specimens, normalization heat treatment at 800 °C, 850 °C and 900 °C is applied to the other MMC specimens. The hardness's of the specimens are measured with Vickers and Rockwell hardness measurement method. The hardness values of cast iron zone of the composite and gray cast iron are so close and these values are not affected with normalization heat treatment temperature. In the composite specimens, the hardness of the steel zone is found higher than the zone of the gray cast iron of MMC material and the gray cast iron. The hardness of the transition zone has the highest value when compared with the values of the other zones.

Keywords: Metal Matrix Composite, Gray Cast Iron, Steel Fibre, Hardness, Normalisation Heat Treatment

1. Giriş

* Yazışmacı yazar; Tel:++90 332 223 33 43 Faks: ++90 332 241 21 79 E-posta:rekus@selcuk.edu.tr

Kompozit malzeme grubu içerisinde yer alan Metal Matris Kompozit (MMK) üzerine yapılan araştırmalar son 20 yıldır çok fazla ve etkileyici boyuttadır. MMK malzemeler üzerinde yapılan çalışmalar, özellikle yüksek sıcaklıklarda kullanılabilen dayanımı yüksek, rijit malzemelerin geliştirilmesi yönünde yoğunlaşmaktadır. Kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak partikül, tabaka ve fiberler yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek performansı sayesinde fiberle takviye edilmiş malzemeler, oda sıcaklığında ve daha yüksek sıcaklıklarda takviye edilmemiş yapılara göre yüksek performans sergilemektedirler [1]. Ne var ki polimer matris kompozitlerin araştırma sonuçları kolaylıkla ticari uygulamalara taşınırken; metal matris kompozitler, bu konuda biraz yavaş kalmıştır. Bunun nedeni, metal matris kompozitlerin üretim zorluğu ve özellikle ara faz mukavemetinin zayıflığıdır [2]. Bununla birlikte, MMK'ler üretim güçlüğü, işleme güçlüğü, yüksek maliyet ve diğer malzemeler gibi geriye dönüşümünün (recycle) istenilen düzeyde olmaması gibi bir takım dezavantajlara da sahiptir [3, 4].

Dökmedemirler, Dünyada ve ülkemizde en yaygın üretilen ve kullanılan malzeme grubundandır. Özellikle, kır dökmedemir, diğer döküm türlerine göre ucuz olması sebebiyle, çelikten sonra en çok tercih edilen ve en yaygın tüketilen malzemedir. Kır dökmedemirler düşük ergime sıcaklığı, daha az besleme sorunları, iyi kalıp doldurma özelliği, bileşim sınırlarının geniş tutulabilmesi, talaşlı üretime uygunluk ve titreşimleri söndürme özelliği ile en çok tercih edilen malzemelerden biridir.

Kır dökmedemir üzerine yapılan çalışmalar bu nedenle ayrı bir önem kazanmaktadır. Bu bağlamda; Akdemir ve ark.[5], kır dökmedemir malzemenin mukavemet ve tokluğunu arttırmak için, düşük karbonlu çelik telle takviye etmişlerdir. Çalışmalarında, tel çapı ve diziliminin, döküm ve ısıtma işlem koşullarının mekanik özelliklere ve mikroyapıya etkilerini araştırmışlardır. 800°C ve 850°C'de normalizasyon ısıtma işlemi uygulamışlar ve daha sonra numunelere üç noktadan eğme deneyi yaparak mukavemet ve tokluktaki değişiklikleri karşılaştırmışlardır. Sonuçta hacimce %5 oranında çelik tel takviyesi ve normalizasyon ısıtma işlemi ile eğilme mukavemeti ve kırılma tokluklarında yüksek oranda artış sağlamışlardır. Xu, W. ve ark. [6], çalışmalarında Cu, Mo, Mn ve Si elementlerinin gri dökme demirin mikroyapı gelişimine etkisini ve bunların mekanik özelliklere etkilerini belirlemişlerdir. Sonuç olarak katılan alaşım elemanlarının dökme demirin tipi ve mikrobikleşenlerin dağılımına kuvvetle etki ettiğini görmüşlerdir. Srivatsan, T.S. ve Sudarshan, T.S. [7], çalışmalarında gri dökme demirde fosfor ötektiği oluşumu ve soğuma sırasında mikroyapıdaki etkileri üzerinde çalışmışlardır. Aynı zamanda krom ve molibden gibi alaşım elemanlarının fosfor ötektiğinin oluşumu ve mikroyapısına etkilerini incelemişlerdir. Gri dökme demire krom ve molibden ilavesi ile fosfor ötektiğinin arttığını görmüşlerdir. Ötektik sıcaklıktan soğuma sırasında fosfor ötektiğinin oluştuğunu tespit etmişlerdir. Bununla beraber gri dökme demirde fosfor içeriğine molibden katılmasıyla mikroporozite artışını ortaya çıkartmışlardır. Cheng-H. H., ve ark. [8], gri dökme demire ostemperleme ısıtma işlemi uygulayarak, matris tokluğunun kırılma mekanizmasının davranışına etkilerini araştırmışlardır. Sonuç olarak gri dökme demire uygulanan ostemperleme ısıtma işlemi ile gevrek metalik malzemelerin kırılma tokluğunu geliştirmişlerdir. Aslantaş, K. ve ark. [9], çalışmalarında malzemesi gri dökme demir olan kompresör rotorundaki kırılmayı araştırmışlardır. Parçalanmış rotordan alınan numunelere Charpy testi yapmışlar ve Brinell sertliğini ölçmüşlerdir. Sonuç olarak gri dökme demirin karbon oranının standartlarda olması gerekenden çok daha yüksek olduğunu ve aynı zamanda darbe enerjisinin düşük olduğunu tespit etmişlerdir. Cingi, M. ve ark., [10], alaşım elemanları

katılmış dökmedemirlerin aşınma ve oksitlenme davranışını incelemişlerdir. Dökmedemirden cam kalıplarının aşınma ve oksitlenme direnci göstermesi için D tipi grafit yapı elde etmişler ve küçük miktarlarda Mo, Ni ve Cu alaşımlanması yapmışlardır. Sonuç olarak Mo, Ni ve Cu alaşım elementleri içeren gri dökme demirlerin, alaşımsız olan gri dökme demirlere göre %20 daha fazla oksitlenme direncine sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Toktaş ve ark., [11], sünek dökmedemir Charpy darbe numunelerini, değişik ısıl işlemlere tabi tutarak tamamıyla ferritik olan mikroyapıyı, perlitik/ferritik, perlitik, temperlenmiş martenzitik ve düşük ve yüksek ösferritik yapı elde etmişlerdir. Daha sonra -80 °C ve 100 °C sıcaklıklarda numunelerin darbe enerjilerini ölçmüşlerdir. Ayrıca numunelerin, sertlik, çekme özellikleri ile birlikte metal mikroskobu ile mikroyapılarını ve kırık yüzeyleri de SEM cihazında görüntüleri incelemişlerdir. En iyi darbe özelliklerini ferritik yapıda elde ederken bu yapının akma, çekme ve sertlik değerlerinin en düşük olduğunu tesbit etmişlerdir.

Bu çalışmada, küresel dökmedemir mekanik özelliklerine yakın bir kompozit malzeme üretmek amacıyla, takviye elemanı olarak düşük karbonlu çelik tel, matris malzemesi olarak da düşük mukavemetli kır dökmedemir kullanılarak kompozit malzeme üretilmiştir. İmal edilen kompozit ve dökmedemir numuneler, önce gerilim giderme tavlama yapılmış; daha sonra bu numunelerin bir kısmı 800 °C, 850 °C ve 900 °C de normalizasyon ısıl işlemine tabi tutulmuştur. Kompozit numunede takviye, arayüzey ve matris bölgelerinin ve dökmedemir numunenin sertlik değerleri ölçülmüş ve yorumları yapılmıştır. Ayrıca kompozit numuneler ve dökmedemir numunelerde EDS (Enerji Dağılımlı Spektroskopi) analizi ve sertlik değişimi incelenmiştir.

2. Deneysel çalışma

2.1. Malzeme üretimi

Kompozit malzeme üretimi için matris malzemesi olarak kır dökmedemir (DDL 28), takviye elemanı olarak düşük karbonlu çelik tel seçilmiştir. Düşük karbonlu çelik telin seçilme nedeni, matris yapıdan takviye elemanına karbon difüzyonu ile arayüzey bağıni iyileştirmek amacıyla seçilmiştir. Takviye elemanının, elde edilen kır dökmedemir kompozit numunede matris yapının kimyasal bileşimleri Tablo 1.'de, bazı mekanik özellikleri Tablo 2.'de verilmiştir. Matris malzemesi olarak seçilen dökmedemir düşük darbe tokluğu ve düşük çekme dayanımına sahip bir malzemedir.

Tablo 1. Kompozit malzeme bileşenlerinin kimyasal bileşimi (%)

Malzeme	C	Si	S	Mn	P
Dökmedemir (DDL 28)	3,50	2,50	0,10	0,72	0,42
Çelik Tel (EN 756- S1)	0,07	0,04	0,04	--	--

Takviye elemanı olarak da, OERLIKON marka EN 756 standardında, 4 mm çapında, S1 tozaltı kaynak teli kullanılmıştır. Kompozit malzeme üretimi için kum kalıp tekniği kullanılmıştır.

Tablo 2. Kompozit malzeme bileşenlerinin mekanik özellikleri

Malzeme	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Darbe Dayanımı (J)*
---------	----------------------	---------------------	---------------------

Dökmedemir	283,39	-	2,0
Çelik Tel	530	430	35

* -40 °C de

2.2. Isıl işlemler

Üretilen kompozit malzemelerden sertlik numuneleri üretilmiştir, üretilen numunelerden ısıl işlem uygulanmayacak olanlarına gerilim giderme işlemi yapılmıştır. Numuneler, Selçuk Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Malzeme Laboratuvarındaki Protherm PLF 130/12 model ısıl işlem fırınında, 25 °C/dak ısıtma hızında, 550 °C sıcaklığa kadar ısıtılıp, bu sıcaklıkta 10 dakika bekletildikten sonra oda sıcaklığına soğutulmuştur. Normalizasyon işlemi yapılacak diğer numuneler yine 25 °C/dak ısıtma hızında 800 °C, 850 °C ve 900 °C sıcaklığa kadar ısıtılıp, bu sıcaklıkta 15 dakika beklendikten sonra durgun havada oda sıcaklığına soğutulmuşlardır.

2.3. Metalografik inceleme

Kompozit malzeme sertlik deney numuneleri, Kırıkkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi Fizik Bölümü laboratuvarlarında JSV-5600LV model TEM cihazında ve Enerji Dağılımlı Spektroskopi (EDS) ile matris yapıdan takviye elemanının merkezine kadar Si dağılımı incelenmiştir. Si değerlerinin ölçüm noktaları takviye elemanının merkezinden başlayarak matris yapıya doğru 5 noktadan ölçüm yapılmıştır.

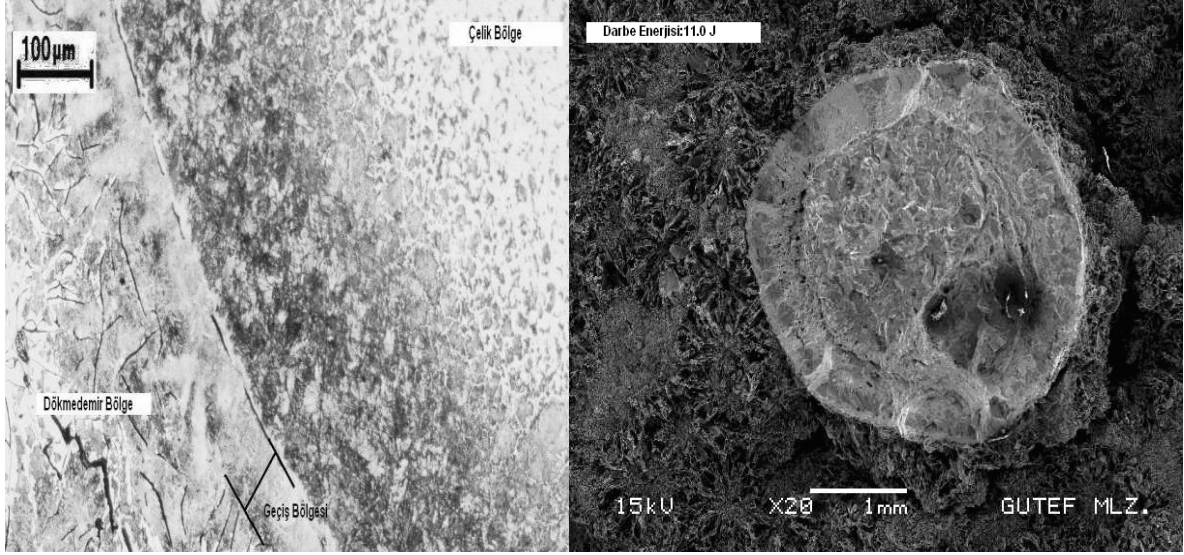
2.4. Sertlik deneyi

Isıl işlemsiz ve normalizasyon ısıl işlemine tabi tutulan numunelerin sertlik ölçümleri, Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metalurji Bölümünde Instron Wolpert marka sertlik ölçme cihazında Ölçümler takviye, matris ve takviye ile matris arasında meydana gelen geçiş bölgesinin ortasında sertliklerini ölçmek için çevresel olarak 5 değişik noktadan yapılmıştır. Kompozit numune de matris yapıda numunenin en dış noktası ile geçiş bölgesine yakın noktalardan ölçüm yapılmıştır. Çelik telde ise çeliğin merkezi ile çelikte karbon alan bölge arasında ölçüm noktaları seçilmiştir. Ayrıca dökmedemir numune ve kompozit numune dökmedemir bölgesi Rockwell sertlik ölçme yöntemi ile sertlikleri ölçülerek Vickers sertlik değerine çevrilmişlerdir. Elde edilen sertlik değerleri Tablo 3.'te verilmiştir. Daha sonra yapılan ölçümlerin ortalamaları alınarak dökmedemir, takviye ve geçiş bölgeleri için sertlikler tespit edilmiştir. Isıl işlem sıcaklığı ile sertlik değerlerinin değişimi incelenmiştir

3. Sonuçlar

3.1. EDS analiz sonuçları

Kompozit numunelerden elde edilen görüntüler de, matris ile takviye arasında farklı bir yapı oluştuğu görülmüştür. Bu yapının oluşmasında ısıl işlemsiz numunelerde katılma esnasında, normalizasyon ısıl işlemlerinde ise katılmaya ek olarak ısıl işlem süresince önemli ölçüde C ve Si difüzyonunun meydana geldiği anlaşılmaktadır. Şekil 1.' de mikroyapı ve taramalı elektron mikroskop görüntüsünde de görüldüğü gibi C ve Si difüzyonu sonucu oluşan matris ve takviye elemanı yapısından farklı bu bölge geçiş bölgesi olarak adlandırılmıştır.

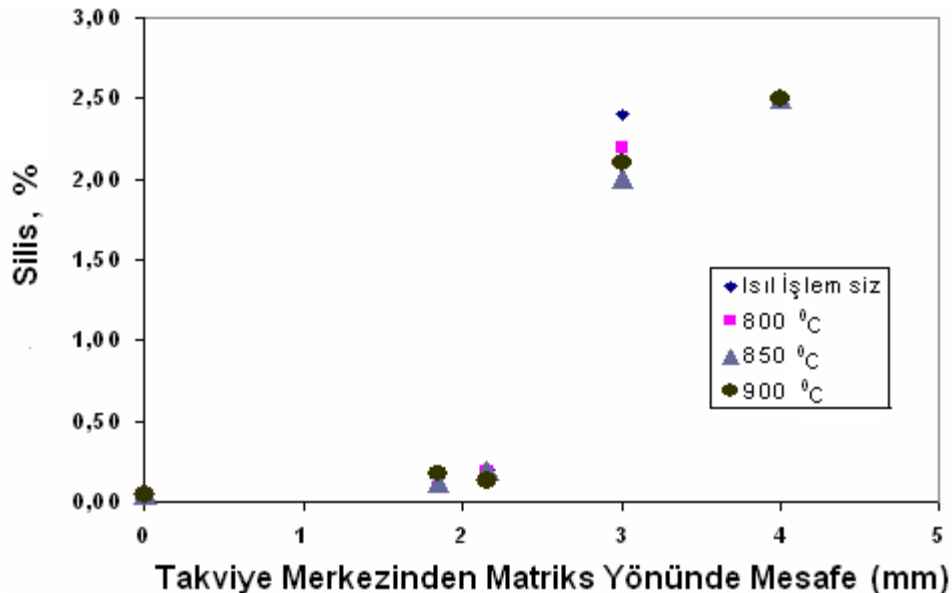


a.

b.

Şekil 1. a. %2 nital dağlanmış 900 °C ısıl işlemlenmiş kompozit numunenin mikroyapısı b. 900 °C normalizasyon ısıl işlemlenmiş oda sıcaklığında kırılmış kompozit Charpy numunelerinin kırık yüzeyi [12].

Silisyum değerinin dökmedemirde artması ile ötektik nokta düşük karbon miktarlarına doğru kayar. Mekanik özelliklere tesir durumu silisyumun grafit oluşturmadaki rolüne bağlıdır. Sabit karbon değerli bir dökümden arttırılan silisyum miktarı ile ayrışacak grafit miktarı da artar. Dolayısıyla sertlik ve çekme mukavemeti düşer. EDS analizinde elde edilen kompozit numunedeki % Si dağılımı Şekil 2.'de görülmektedir.



Şekil 2. Kompozit numunede takviye merkezinden dışa doğru Si dağılımının normalizasyon sıcaklığına bağlı değişimi (%).

Bu şekilde de görüldüğü gibi takviye elemanının merkezinden (0 noktası) dışa doğru silisyum miktarında bir azalma olduğu görülmektedir. Isıl işlem sıcaklığı ile silisyumun takviye elemanında arttığı da görülmektedir. Geçiş bölgesinde normalizasyon ısıl işlemlerinde Si değerleri birbirine yakın çıkmasına karşın ısıl işlemsiz numunede silisyum miktarı düşüktür. Bu durum, ısıl işlem sonucu silisyum bakımından zengin bölgelerden düşük silisli bölgelere doğru kısmi difüzyon olduğunu göstermektedir.

3.2. Sertlik deneyi sonuçları

Numunelerin sertlik deneyi çok sayıda ölçümlerle elde edilmiştir. Daha sonra yapılan ölçümlerin ortalamaları alınarak dökmedemir, takviye ve geçiş bölgeleri için sertlikler tespit edilmiştir. Isıl işlem sıcaklığı ile sertlik değerlerinin değişimi incelenmiştir. Ayrıca uygulanan ısıl işlemlerinin etkisinin sertlik üzerine etkisi incelenmiştir. Dökmedemir numune ve kompozit numunenin matris, takviye ve geçiş bölgesinden elde edilen sertlik değerleri Tablo 3.'te verilmiştir.

Tablo 3. Normalizasyon ısıl işlemi ile dökmedemir ve kompozit numunenin ortalama sertlik değerlerinin değişimi (HV)

Numune	Isıl İşlemsiz			
	800 °C	850 °C	900 °C	
Dökmedemir	108	110	116	129
Kompozit Dökmedemir Bölgesi	107	113	120	130
Kompozit Çelik Bölgesi	175	185	181	180
Kompozit Geçiş Bölgesi	315	325	384	399

Dökmedemir ve kompozit numunelerin çelik, geçiş ve dökmedemir bölgesine ait sertlik değerleri Tablo 3'te verilmiştir. Tablo 3.'te de görüldüğü gibi kompozit numunenin dökmedemir bölgesinin ve dökmedemir numunenin sertlik değeri beklendiği gibi düşük ve benzerlik göstermektedir. Isıl işlemle çelikte ve dökmedemir bölgelerde sertlikte çok fazla değişiklik olmamıştır. Isıl işlemsiz numunede sertlik geçiş bölgesinde 315 VSD iken 800 °C ısıl işlemlerinde 325 VSD değerleri elde edilmiştir. Isıl işlemsiz numune ile 800 °C ısıl işlemlerinde numune arasında çok az değişim olmuştur. Bunun yanı sıra ısıl işlemsiz numuneye göre 850 °C ve 900 °C ısıl işlemlerinde sertlik oldukça yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni; geçiş bölgesi ısıl işlem sıcaklığına bağlı olarak karbon ve silisyum bakımından geçiş bölgesi ısıl işlem sıcaklığına bağlı olarak karbon ve silisyum bakımından zenginleşmesi ile açıklanabilir.

4. Tartışma

Sertlik deneylerinde de görüldüğü gibi geçiş bölgesinin diğer bölgelere göre daha sert olduğu görülmektedir. Bunun nedeni bu bölgedeki C miktarındaki artış olarak izah edilebilir. Matris yapıda her ne kadar Si oranı fazla olmasına rağmen sertliğin geçiş bölgesine göre düşük olması matris yapıdaki serbest grafitten kaynaklanmaktadır. Yüksek Si oranı ve grafitten arınmış geçiş bölgesi en yüksek sertliği vermektedir.

Numunelerin sertlik dağılımında kompozit numunelerin tamamında geçiş bölgesinde sertlik en fazladır. Dökmedemir ve takviye elemanındaki sertlik normalizasyon ısıl işlem sıcaklığına bağlı olarak önemli bir değişim göstermemiş ancak geçiş bölgesindeki sertlik değerlerinde artmıştır. Geçiş bölgesindeki sertlik ısıl işlemin etkisiyle %26 artmıştır. Bu normalizasyon ısıl işlem sıcaklığı ile C difüzyonunun arttığını göstermektedir. Bunun nedeni; geçiş bölgesi ısıl işlem sıcaklığına bağlı olarak karbon ve silisyumun zenginleşmesi ile açıklanabilir.

5. Kaynaklar

- [1] Rohatgi P. (Ed.), Solidification of metal matrix composites, USA: TMS publication, 1990.
- [2] Taha M. A., El Mahallaawy NA. (Ed.), Advances in metal matrix composites, Trans Teach Publications, Switzerland,1993.
- [3] Hashim, J., Looney, L., Hashmi, M. S. J., Particle distribution in cast metal matrix composites-part 1, Journal of Materials Processing Technology, 2002, Vol. 123, pp 251-257.
- [4] Muller F., Monaghan J., Non-conventional machining of particle reinforced metal matrix composite, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2000, Vol. 40, pp 1351–1366.
- [5] Akdemir, A., Arıkan, H., Kuş, R., Investigation of microstructure and mechanical properties of steel fibre–cast iron composites, Materials Science and Technology, 2005, Vol. 21, No: 9, pp 1099-1102.
- [6] Xu, W., Ferry, M., Wong, Y., Influence of alloying elements on as-cast microstructure and strength of gray cast iron, Materials Science and Engineering A, 2004, Vol. 390, pp 326-333.
- [7] Srivatsan, T.S., Sudarshan, T.S., The Influence of Phosphorus on Shrinkage Porosity in Cast Irons, Materials Letters, 1999, Vol.41, pp 186-191
- [8] Cheng-H. H., Shy, Y.H., Yu, Y.H., Lee, S.C., Effect of austempering heat treatment on fracture toughness of copper alloyed gray iron, Materials Chemistry and Physics, 2000, Vol.63, pp 75-81.
- [9] Aslantaş, K., Talaş, S., Taşgetiren, S., Fracture of a compressor rotor made from gray cast iron, engineering failure analysis, 2004, Vol. 11, pp 369-373.
- [10] Cingi, M., Arısoy, F., Başman, G., Şeşen, G., The effect of metallurgical structure of different alloyed glass mold cast irons on the mold performance, Materials Letters, 2002, Vol.55, pp 360-363.

- [11] Toktaş G., Tayanç M., Toktaş A., Effect of matrix structure on the impact properties of an alloyed, ductile iron, *Materials Characterization*, 2006, Vol., 57 pp, 290–299
- [12] Kuş R., Düşük karbonlu çelik tel takviyeli kır dökme demir kompozitlerin mekanik özelliklerinin araştırılması, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2007.