



20 - 21 Ekim / October 2017 - ESKİŞEHİR  
Tüdöksad Akademi 9. Döküm Kongresi / 9th Foundry Congress by TUDOKSAD Academy

## **«Kompakt Grafitli Dökme Demir (CGI) Silindir Kapaklarının Üretim Metodunun Deneysel İncelenmesi»**

**A. Teoman Altınok, Tuna Arın (Entil Endüstri)**

### **3.Oturum: Döküm Teknolojileri Demir & Çelik**

**Oturum Başkanı: Oğuzhan Atlıhan (Atik Metal)**



Oturumlarda yer alan sunumlar 27 Ekim 2017 Cuma tarihinde akademi web sayfasına ([akademi.tudoksad.org.tr](http://akademi.tudoksad.org.tr)) yüklenecektir.

# **Kompakt Grafitli (Vermiküler) Dökme Demir (CGI) Silindir Kapaklarının Üretim Metodunun Deneysel İncelenmesi**

A. Teoman ALTINOK\*\*, Tuna ARIN\*

\*ENTIL Ar-Ge, Eskişehir, Türkiye

\*\*ENTIL End. Yat. Tic. A.Ş., Eskişehir,  
Türkiye

# GİRİŞ

- Yüksek tork, düşük emisyon ve artan yakıt tasarrufu isteği, motor tasarımcılarını motor bloğu imalatı için daha güçlü malzemeler bulmaya zorlamaktadır.
- Elektronik, ölçme ve döküm süreç kontrol teknolojilerindeki güncel gelişmelerle kompakt grafitli dökme demir, uygun bir üretim malzemesi haline gelmiştir.

# GİRİŞ

**Kompakt grafitli dökme demir,**

- Gri dökme demirden daha yüksek mukavemet ve sertlik,
- Küresel grafitli dökme demirden daha iyi dökülebilirlik, işlenebilirlik ve ısı iletkenlik özelliği sebebiyle motor bloğu ve silindir kapağı gibi eş zamanlı mekanik ve ısı yüklemeye maruz kalan bileşenler için oldukça **uygun bir seçimdir.**

# GİRİŞ

- Kompakt grafitli dökme demirin **grafit morfolojisi**, rastlantısal olarak yönlenmiş, uzamış ve gri dökme demirdeki gibi ötektik hücrelerle birbirine bağlanmış, ancak kısa ve kalın, keskin olmayan köşelere sahip ve yuvarlak uçlar içeren matrisle kaba geçişli ara yüzeyler içeren ve genellikle **lamel ve küre formu arasında bir geçiş şeklidir**.

# GİRİŞ

- **Kompakt grafitli dökme demir** en az %70 daha yüksek çekme dayanımı ve % 35 daha yüksek elastiklik modülü değeri ile gri dökme demirden yaklaşık olarak iki kat fazla **yorulma dayanımı** değerine sahiptir.
- Kabul edilebilir kompakt grafitli bir dökme demirin içerisinde hiç **lamel grafit yer almaz** ve küresel grafit oranı ise %20 den azdır, en az %80'i ise kompakt grafitlidir.

# GİRİŞ

- Grafit yapılarını değiştiren (küreleştiren) elementler magnezyum ve nadir toprak metallere dir. (Seryum, lantanyum vs.) Ayrıca titanyum, grafitin kompakt şeklini veren magnezyumun çalışma alanını genişletir, ancak matristeki perlit oluşumunu sınırlar.
- **Kompakt grafitlerin düzenlenmesini etkileyen diğer faktörler** ise aşılayıcı ilavesinden önce sıvı metalin bekleme süresi, katılaşma sırasındaki soğuma hızı, döküm süresi ve döküm sıcaklığıdır.

# GİRİŞ

- Kompakt grafitli dökme demir sadece mikroyapı özellikleri bakımından değil aynı zamanda **mekanik özellikleri** bakımından da lamel grafitli dökme demir ve küresel grafitli dökme demir arasında özelliklere sahiptir. Küresel grafitli dökme demirlerde olduğu gibi bu özellikler önemli derecede **matristeki ferritin perlite olan oranına bağlıdır.**



# GİRİŞ

- Bu çalışmada yedi farklı oranda FerroSilikoMagnezyum tretmanı ile **kompakt grafitli dökme demir silindir kapağı** üretilmiş, **mikro yapısal** ve **mekanik** özellikleri incelenmiştir.

# MALZEME VE METOT

- Döküm denemeleri sırasında kompakt grafitli dökme demir elde etmek için potaya magnezyum'un ve aşıluyıcının ilavesi, prosesin kontrolünü daha iyi sağlamak için **tel haline getirilmiş FerroSilikoMagnezyum** ve **aşıluyıcı** besleme yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Bu amaçla **Heraeus Electro-Nite (TR)** firmasından sağlanan tel ile besleme ünitesi ve **ASB Chemicals (DE)** FerroSilikoMagnezyum tel <sup>(TM)</sup> ve aşıluyıcı tel <sup>(TM)</sup> kullanılmıştır.

# MALZEME VE METOT

- Elde edilen **yapı kimyasal**, **mekanik** ve **mikro yapısal** açıdan incelenmiş ve sonuçlar kaydedilmiştir. Kimyasal bileşim kontrolü ARL Metal Analyser OE (USA) spektrometre ile yapılmıştır. Mekanik deneyler için MTS Criterion Model 45 (USA) çekme cihazı kullanılmıştır. Mikro yapı kontrolü için optik metal mikroskobu kullanılmıştır.

# DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Çizelge 1: Kullanılan FerroSilikoMagnezyum ve Aşıl原因ıcı tel uzunlukları (m.)

	Deney 1*	Deney 2**	Deney 3**	Deney 4	Deney 5	Deney 6	Deney 7
FeSiMg	9	8	8	7	7	8,5	9
FeSiBa	5,5	5,5	5,5	5,5	4	5,5	4,5

\*(D1: Pota sonu-sıcaklık düşük);

\*\*D2, D3: Aynı potadan peş peşe döküm (Aynı FerroSilikoMagnezyum ve Aşıl原因ıcı tel miktarı, pota başı-sonu farkı incelenmiştir.)

# DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneyler sırasında ölçülen Ocak C, S ve sıcaklık değerleri Çizelge 2' de verilmiştir.

Çizelge 2: Her deney için ocak (%) C, S ve Sıcaklık (°C) değerleri

	%C	%S	°c
D1	3,78	0,014	1510
D2	3,78	0,014	1530
D3	3,78	0,014	1530
D4	3,78	0,014	1530
D5	3,86	0,015	1530
D6	3,84	0,018	1495
D7	3,84	0,018	1490

# DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Her bir deney için elde edilen magnezyum tretmanı sonrası pota kimyasal bileşimleri ve döküm sıcaklık değerleri Çizelge 3’de verilmiştir.

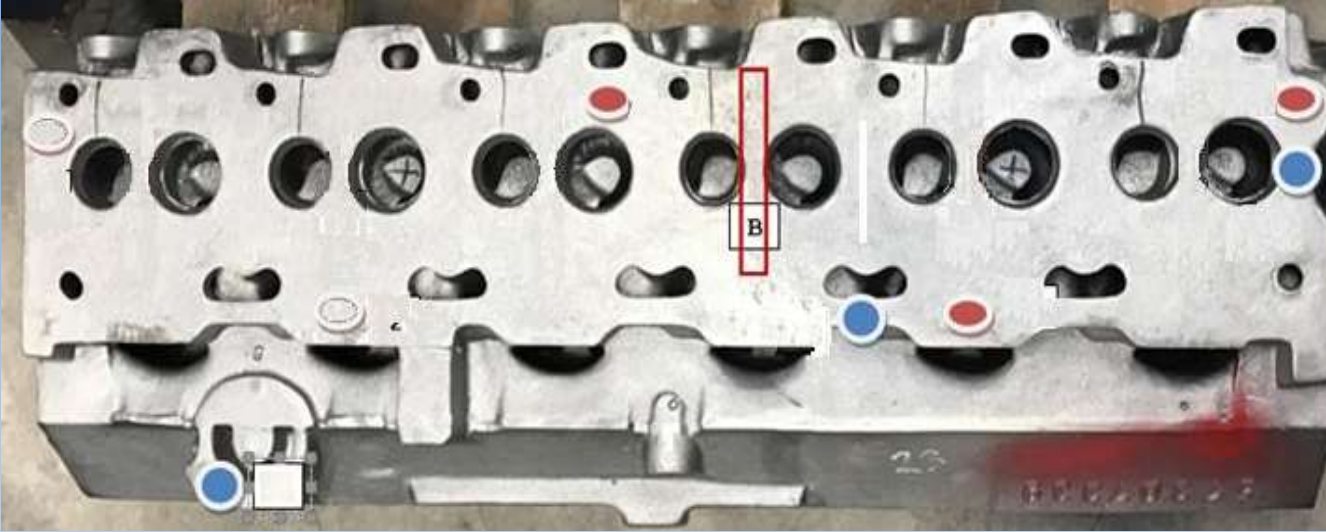
Çizelge 3: Her deney için ocak (%) C, S ve Sıcaklık (°C) değerleri

	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Ni	%Sn	%Cu	%Mg	%Ti	%Ce	°C
D1*	3,62	2,37	0,31	0,033	0,012	0,040	0,013	0,102	0,918	0,020	0,032	0,009	1358
D2**	3,51	2,36	0,31	0,031	0,015	0,040	0,013	0,100	0,908	0,021	0,032	0,012	1399
D3**	3,52	2,33	0,31	0,030	0,013	0,040	0,013	0,100	0,911	0,019	0,032	0,010	1374
D4	3,62	2,39	0,31	0,032	0,012	0,040	0,013	0,103	0,914	0,016	0,032	0,007	1372
D5	3,61	2,55	0,67	0,037	0,016	0,032	0,014	0,024	0,509	0,018	0,047	0,001	1391
D6	3,39	2,38	0,30	0,031	0,014	0,042	0,013	0,102	0,897	0,018	0,023	0,008	1362
D7	3,35	2,42	0,30	0,030	0,012	0,043	0,013	0,099	0,901	0,010	0,023	0,011	1381

\*(D1: Pota sonu-sıcaklık düşük);

\*\*D2, D3: Aynı potadan peş peşe döküm (Aynı FerroSilikoMagnezyum ve Aşılacağı tel miktarı, pota başı-sonu farkı incelenmiştir.)

# DENEYSEL ÇALIŞMALAR



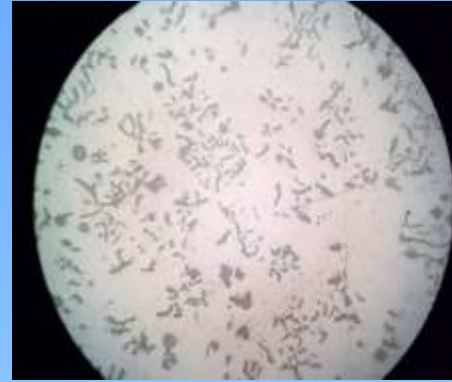
Şekil 8: Çekme deneyi numunesi (kırmızı) ve mikro yapı numunesi alınan bölge (B)

Şekil 8’de “B” ile gösterilen bölgelerden alınan numunenin optik mikro yapı resimleri şekil1-7’de, bu numunelere ait mikro yapı özellikleri ise Çizelge 4’ de verilmiştir.

# DENEYSEL ÇALIŞMALAR



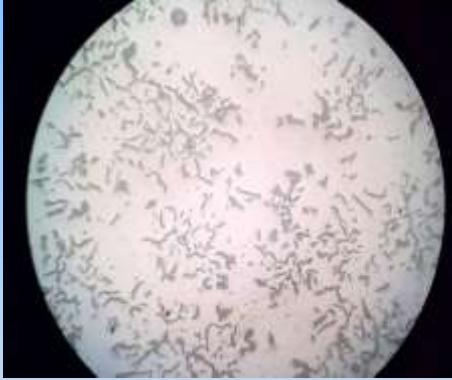
D1



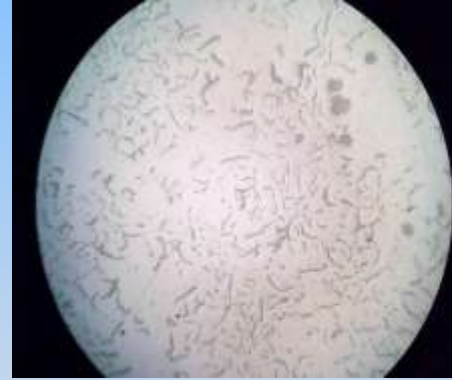
D2



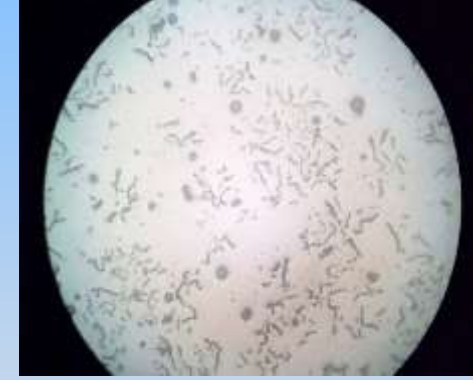
D3



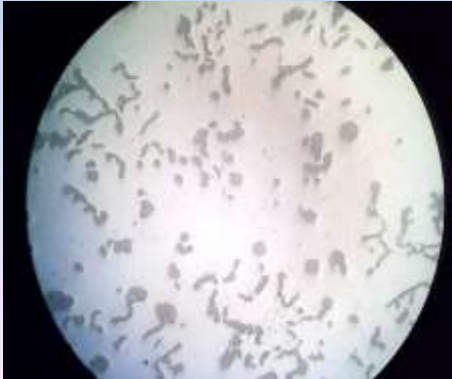
D4



D5



D6



D7

	Ferit (%)	Perlit (%)	Grafit Formu (%)
Deney 1	5	85	10 (15-20 VI - 85-80 III)
Deney 2	5-10	80-75	15 (20 VI - 80 III)
Deney 3	10	80	10 (10 (V-VI) - 90 III)
Deney 4	5	80	15 (10-15 VI - 90-85 III)
Deney 5	30	55	15 (10 (V-VI) - 90 III)
Deney 6	10	75	15 (20 VI - 80 III)
Deney 7	5-10	80-75	15 (20 (V-VI) - 80 III)

Çizelge 4:  
Her deney için mikro yapı öz.



# DENEYSEL ÇALIŞMALAR

	Deney 1	Deney 2	Deney 3	Deney 4	Deney 5	Deney 6	Deney 7
Çekme Mukavemeti (N/mm <sup>2</sup> )	532,1	462	444,7	426,8	333,3	456,6	560,8
Akma Mukavemeti (N/mm <sup>2</sup> )	404,7	347,4	339,6	332,9	287	364,9	412,56
% Uzama	1,943	1,869	1,764	1,465	1,288	1,420	2,210

- Deney sonuçları değerlendirildiğinde 7 numaralı numunenin standardın, silindir kapakları için belirttiği (GJV 450) değerlerine oldukça yakın değerler içerdiği görülmüştür. Uzama değeri 2.210 değeri ile standardı tam sağlarken, çekme dayanımı ve akma dayanımı değerleri standartta belirtilen değerlerin biraz üzerinde kalmıştır.

# SONUÇLAR

- Yapılan yedi döküm denemesi arasında ISO 16112:2017 [10] standardında verilen şartları yüksek oranda sağlayan tek döküm deney 7 olarak belirlenmiştir.
- Deney 7 sonuçları hem perlit oranı, hem grafit formu, hem küresel grafit yüzdesi hem de uzama yüzdesi bakımından gereklilikleri yerine getirmiştir.
- Kullanılan tel ile magnezyum ve aşılama besleme sistemi, kontrol imkanları yüksek olduğundan çok kullanışlı bulunmuştur.
- Küre formu grafit miktarının limit değere yakın olması mekanik değerlerin yüksek çıkmasına neden olmuştur.
- Mg/S oranının literatürde [13] belirtilen 0,5-2,0 değeri arasında bulunduğu hesaplanmıştır.

# TARTIŞMA

- Denemeler sonunda ISO 16112:2017 [10] standardındaki asgari şartlar sağlanmış olsa bile, sonuçların geliştirilmesi, perlit yüzdesinin arttırılması aynı zamanda küre formlu grafit yüzdesinin azaltılması ile sağlanabilir.
- Çekme mukavemetinin 560 MPa değerinden 525 Mpa değerinin altına indirilmesi gerekmektedir.
- Perlit oranının artmasını sağlamak için hammaddeden refakat elementi olarak gelen titanyumun kontrol altına alınması ve fazla miktarın (<0,15) yapıdan uzaklaştırılması sağlanmalıdır. Böylece sonraki talaşlı imalat prosesinde de çalışma kolaylığı ve takım ömrünün arttırılması sağlanabilir.
- EN ISO 945-1 standardında (III) grafit formu ile verilen kompakt grafit yüzdesi sınır değerinde (%80) elde edilmiş ve minimum gereksinimleri sağlamıştır. Küre formlu grafit yüzdesinin yüksek olması çekme ve akma dayanımı ile yüzde uzama ve elastiklik modülü gibi değerlerin artmasına neden olmaktadır.

# TARTIŞMA

- Küre formulu grafit yüzdesinin yüksek olması, ince kesitlerde bir avantaj halini alsa da, standartlarda belirtilen aralıkta kalmak adına küre formulu grafit yüzdesinin düşürülmesi ve kompakt formulu grafit yüzdesinin arttırılması gerekmektedir.
- Karbon değeri artırılarak bu problem çözülebilir.
- Bununla beraber bu oranın sadece yapıda kalan magnezyum miktarının düşürülmesi ile değil aynı zamanda Mg/S oranının 0,5-2,0 aralığında tutulması ile gerçekleşebilmesi de mümkündür.
- Daha yüksek Kompakt formulu grafit elde etmek için Mg/S oranının optimize edilmesi gerekmektedir.
- Kükürt değerinin üst limiti bu orana dikkat edilerek belirlenmelidir, kompakt grafitli dökme demir üretiminde aynı ürünü (silindir kapağı) sağlıklı biçimde üretebilmek için bu üst limit aşılmamalıdır.

# TEŞEKKÜR

- Heraeus Electro-Nite (TR) firmasına, deneysel çalışmalarımızda verdikleri ekipman, uzman ve malzeme desteği için teşekkür ederiz.

# TEŞEKKÜR

😊 DİNLEDİĞİNİZ İÇİN TEŞEKKÜRLER 😊

# KAYNAKLAR

- [1] Dawson S., Compacted Graphite Iron: Mechanical and Physical Properties for Engine Design, Based on a paper presented at: Materials in Powertrain, Germany, 1999
- [2] Dawson S., Schroeder T., Compacted Graphite Iron: A Viable Alternative, Based on a paper published in Engineered Casting Solutions AFS, 2000
- [3] Sun X.J., Li Y.X., Chen X., Controlling melt quality of compacted graphite iron, Materials Science and Engineering A, 466, 1–8, 2007
- [4] Kim S., Cockcroft S.L., Omran A.M., Optimization of the process parameters affecting the microstructures and properties of compacted graphite iron, Journal of Alloys and Compounds, 476, 728–732, 2009
- [5] Sun X.J., Li Y.X., Chen X., Identification and evaluation of modification level for compacted graphite cast iron, journal of materials processing technology, 200, 471–480, 2008
- [6] Stefanescu D.M., Alonso G., Larrañaga P., De la Fuente E., Suarez R. On the crystallization of graphite from liquid iron-carbon-silicon melts, Acta Materialia 107, 102-126, 2016
- [7] A. Vaško, Evaluation of shape of graphite particles in cast irons by a shape factor, Materials Today: Proceedings 3, 1199 – 1204, 2016
- [8] Pina J.C., Shafqat S., Kouznetsova V.G., Hoefnagels J.P.M., Geers M.G.D., Microstructural study of the mechanical response of compacted graphite iron An experimental and numerical approach, Materials Science & Engineering A, 658, 439–449, 2016
- [9] Dawson S., Compacted graphite iron – A material solution for modern diesel engine cylinder blocks and heads, Keith Millis Symposium on Ductile Iron, American, Las Vegas 2008, (Republished in China Foundry, 2009)
- [10] ISO 16112:2017 (ed 2), Compacted (vermicular) graphite cast irons -- Classification, 2017
- [11] EN ISO 945-1:2008+Cor.:2010 Microstructure of cast irons- Part 1: Graphite classification by visual analysis, September 2010
- [12] DIN 50125:2004-01, Testing of metallic materials - Tensile test pieces, 2009 Edition, Deutsches Institut für Normung E.V. (DIN), July 1, 2009
- [13] Çetin A., Vermiküler Grafitli Dökme Demir, El Kitabı-Dökümhane Eğitim Projesi Özel Sayısı Serisi 01, dökümhane.net, 2016