

El Kitabı

Dökümhane Eğitim Projesi Özel Sayı Serisi

7000

Yıllık Tarihin

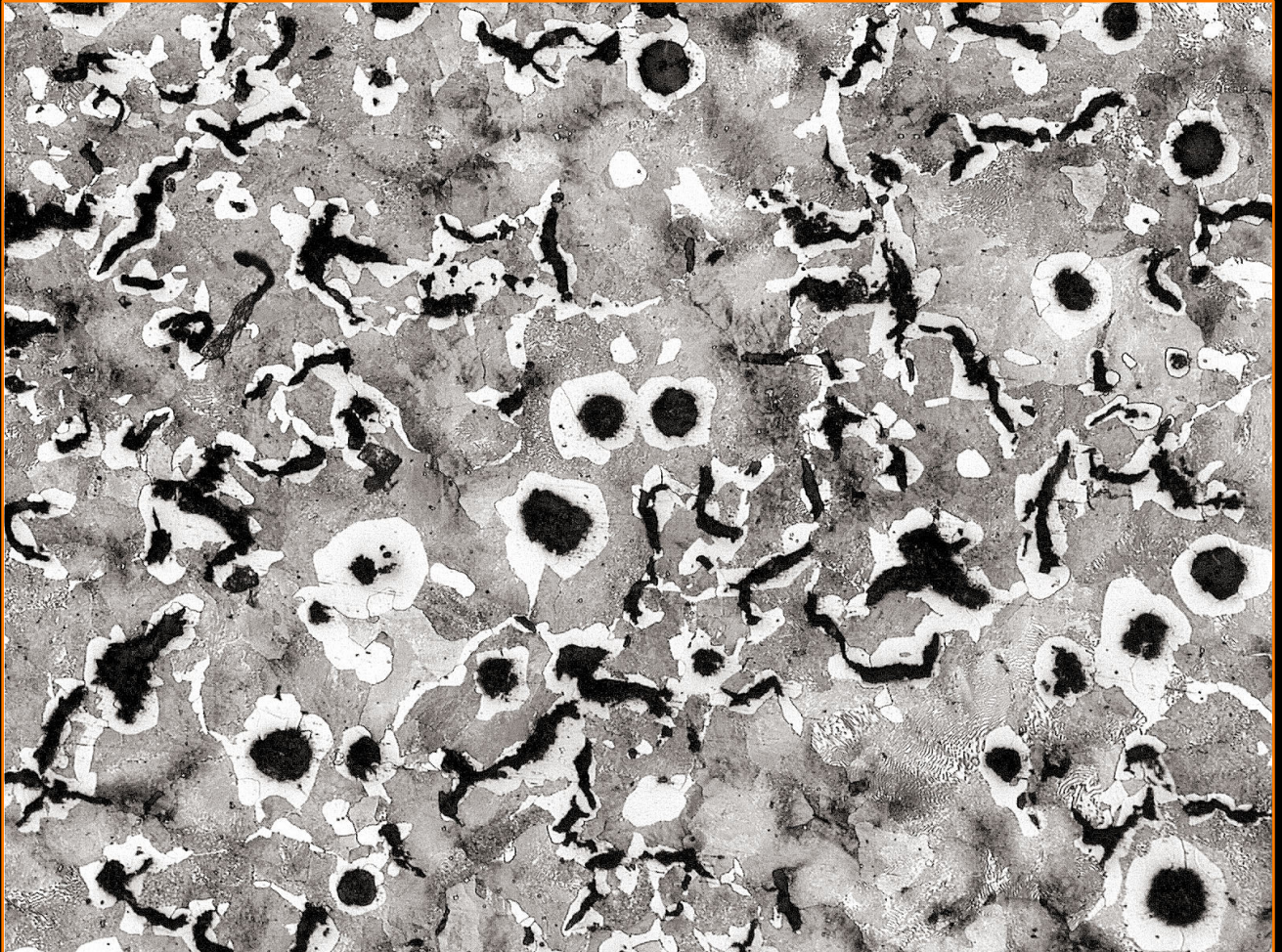
Gelecekle Buluşma Noktası

Dokumhane.net

01

Vermiküler Grafitli Dökme Demir

- Özellikleri
- Sınıflandırılması
- Üretimi
- Süreç Kontrolü
- İşlenebilirliği



El Kitabı Sayı: 1
Vermiküler Grafitli Dökme Demir
Yazan ve yayına hazırlayan: Dr. Arda Çetin
Haziran 2016

Kapak resmi: GJV
Frank Vincentz
Wikimedia Commons (CC BY-SA 3.0)

Dökümhane'den Merhaba

Uzun bir geçmişe sahip dökümcülük mesleğinin birçok yeni teknolojinin tehditi altında olduğu bir süreçten geçiyoruz: Kompozit malzemeler ve üç boyutlu yazıcılar gibi teknolojilerin artık sanayide iyiden iyiye kullanım alanı bulduğu günümüzde, dökümcülük mesleğinin de çağın gereksinimlerine ayak uydurarak mühendislik ve teknoloji eksenine geçmesi gerekiyor.

Bu demek değil ki biz çağın gerisindeyiz: Ülkemizde Avrupa standartlarının daha ilerisinde duran dökümhanelerimiz var. Fakat tüm dökümhanelerimizin bu düzeyde olmadığı da bir gerçek.

Dökümhanelerimizin bu zorlu geleceğe hazır olabilmesi için artık emeğin değil, bilginin ön planda olduğu bir üretim anlayışının benimsenmesi gerekiyor. Fakat ne yazık ki, bu anlamda dökümhanelerimizin ihtiyaçlarına cevap sunabilecek özgün Türkçe kaynaklar bulmanın ne kadar zor olduğunu da hepimiz biliyoruz.

Dökümhane projesi kapsamında yaptığımız çalışmalarla bu sorunu bir nebze olsun çözmek için gayret ediyoruz. Ayda onbinleri aşan okunma rakamlarına ulaşan Dökümhane projesini, bu El Kitabıyla birlikte bir adım ileri taşıyoruz.

Başucu kaynağı niteliğinde olmasına özen gösterdiğimiz bu özel sayılara, döküm sektörü için birer el kitabı haline gelmesi ümidiyle *El Kitabı* adını verdik.

El Kitabı'nın bu ilk sayısının konusu vermiküler grafitli dökme demir. Son yıllarda döküm sektöründe gittikçe popülerleşmeye başlayan bu malzemenin özellikleri ve üretimi hakkında ayrıntılı bilgiyi bu özel sayıda bulabilirsiniz.

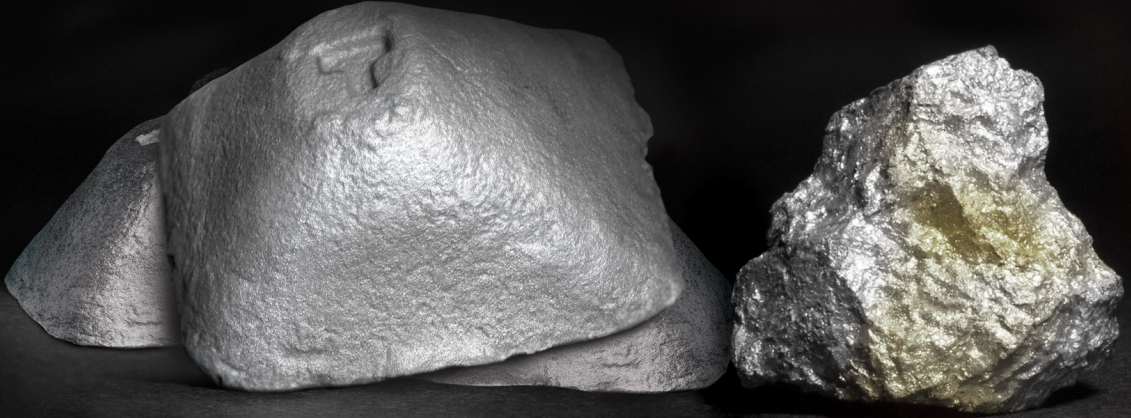
El Kitabı'nın bu ilk sayısının Türk döküm sektörü için faydalı olması dileğiyle.

Saygılarımla,

Dr. Arda Çetin

Global PARTNERİNİZ.

Uluslararası geniş ağımız,
Stok gücümüz ve
Kaliteli ürünlerimiz ile ...



SEKTÖRDE
20. YIL

ANKIROS 2016 **ANNOFER** 2016 **TURKCAST** 2016

29 Sept. - 1 Oct. 2016 TÜYAP Fair and Congress Center

Hall 3 - Stand No: C100



AVEKS
www.aveks.com



İmes Sanayi Sitesi C Blok 306 Sk. No. 4
Y. Dudullu, Ümraniye, İstanbul, 34775 TURKEY
T. +90 (216) 540 00 60 F. +90 (216) 540 00 61

Eski Yapanlar Plaza No. 1/1 K.6
S.M. Fatih Öngül Sk. Kozyatağı, İstanbul, 34742 TURKEY
T. +90 (216) 410 00 60 F. +90 (216) 410 00 90

E-5 Karayolu Üzeri Tavsanlı Mevkii
Yolbulan Antrepo Yanı Gebze, Kocaeli TURKEY
T. +90 (262) 724 99 14-15 F. +90 (262) 724 99 12

İçindekiler

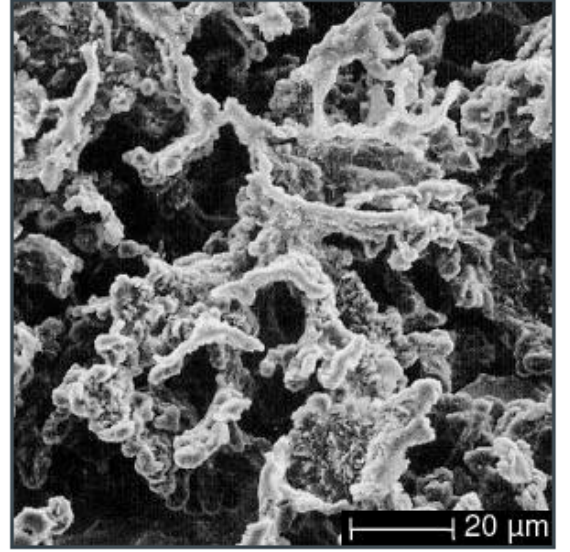
- 05 Giriş
- 06 Vermiküler grafitli dökme demirin başlıca özellikleri
- 07 Solucanımsı yapının avantajları
- 08 İnce kesitlerde yüksek oranda küresel grafit oluşumu
- 09 Vermiküler yapıda lamel grafitin etkileri
- 09 Perlit oranının özelliklere etkisi
- 10 Perlitin sertliği arttırmaya yetmediği durumlar
- 11 Diğer malzemelere kıyasla öne çıkan özellikleri
- 11 Küresel grafitli dökme demir
- 12 Gri dökme demir
- 13 Alüminyum
- 13 Aşınma direnci
- 15 Vermiküler grafitli dökme demirlerin sınıflandırılması
- 16 Küresel grafit oranı mekanik özellikleri nasıl etkiliyor?
- 17 Vermiküler grafitli dökme demirin üretimi
- 18 Vermiküler grafitli dökme demir üretiminde Mg işlemi
- 19 Kükürt takviyesiyle vermiküler grafitli dökme demir üretiminin aşamaları
- 20 Kükürt takviyesi olmadan vermiküler grafitli dökme demir üretimi
- 20 Ti takviyesiyle vermiküler grafitli dökme demir üretimi
- 21 Ne kadar Ti eklemek lazım?
- 22 Ocaktaki kükürt değeri ne kadar önemli?
- 23 Termal analiz ile süreç kontrolü
- 25 İşlenebilirliği
- 26 Sonuç
- 27 Kaynaklar ve okuma listesi

Giriş

Bu ilk özel sayımızda, son yıllarda döküm sanayiinde popülerlik kazanmaya başlayan ve özellikle otomotiv uygulamalarında tercih edildiğini gördüğümüz vermiküler grafitli dökme demiri ele alacağız. Bu malzeme özellikle 2000’li yıllardan sonra dökümhanelerde üretilmeye başlanmış olsa da, aslında ilk ortaya çıkışı 1948 yılına dayanıyor. Yani, aslında küresel grafitli dökme demirin (sfero) ortaya çıktığı yıllarda ilk olarak vermiküler grafitli dökme demirden bahsedildiğini görüyoruz. Aslında bu kadar eski bir tarihi olan bu malzemenin dökümhanelerde yaygın bir şekilde üretilmeye başlanması neden bu kadar uzun bir süre alıyor? Çünkü vermiküler grafitli dökme demirin üretimi için süreç parametrelerinin oldukça hassas bir şekilde kontrol edilmesi gerekiyor. Bunun doğal sonucu olarak, küresel grafitli dökme demir üretiyor olmasına rağmen, vermiküler üretimine kalkışan dökümhanelerin ilk etapta biraz bocalamasını veya bu işe hiç kalkışmamasını anlayabiliyoruz. Bu özel sayının amacı da tam olarak bu zaten: Yani, bu malzemenin üzerindeki gizem perdesini kaldırıp, istenen özelliklere sahip olacak şekilde nasıl vermiküler grafitli dökme demir üretebileceğimizi anlamamızı sağlamak. İlerleyen sayfalarda bu malzemenin nasıl üretilebileceği sorusuna ek olarak, süreç kontrolünün nasıl yapılması gerektiği ve üretim sırasında çıkabilecek muhtemel sorunların nasıl giderilebileceği konularında da bilgi bulabilirsiniz

Vermiküler (solucanımsı) grafitin üç boyutlu görüntüsü

Kaynak: Totalmaterialia
Vermicular graphite cast iron makalesi



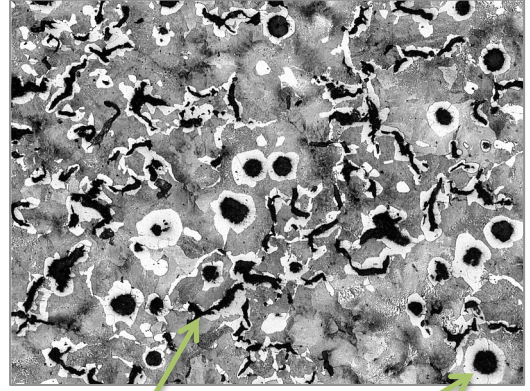
Vermiküler grafitli dökme demir üretiminin 2000’li yıllardan sonra artış göstermesinin ardında yatan tek neden süreç kontrolü teknolojilerinin ilerlemiş olması dersek, eksik bilgi vermiş oluruz. Yeni nesil otomobillerin emisyon değerleri üzerindeki baskı, ister istemez otomotiv parçalarının hafifletilmesi gereksinimini ortaya çıkartıyor. Bu baskının doğal bir sonucu olarak, sanayide ekonomik avantajlardan feragat etmeden daha üstün özellikler sergileyebilen malzemelere yönelik bir arayış başlıyor.

Vermiküler grafitli dökme demirin son yıllardaki popülerliği, işte bu ihtiyacı karşılayabiliyor olmasından kaynaklanıyor: Bir yandan kürese grafitli dökme demirin sahip olduğu mekanik özelliklere yakın değerler sergilerken, diğer yandan gri dökme demirin sahip olduğu ısıl özelliklere benzer değerler ortaya koyuyor. Üstelik sadece gri dökme demirle kıyaslandığı zaman, çekme dayanımının %75, uzama değerlerinin ise %40'a varan değerlerde artıyor olması, bu malzemeyi kullanarak kesit kalınlıklarının inceltilebileceği, dolayısıyla da döküm parçaların hafifletilebileceğini gösteriyor.

Gelin, bu malzemenin sergilediği özelliklere biraz daha yakından bakalım.

Vermiküler grafitli dökme demirin mikroyapısı

Kaynak: Wikimedia Commons



Vermiküler
grafit

Küresel
grafit

Vermiküler grafitli dökme demirin başlıca özellikleri

İngilizce'de genellikle kompakt grafitli dökme demir (compacted graphite iron, CGI) adıyla anılan bu malzeme, Alman dökümcüler tarafından vermicüler grafitli dökme demir olarak adlandırılıyor (Almanca: Gusseisen mit Vermiculargraphit, kısaca GJV, GGV, JV ya da VG). Yandaki fotoğrafta da görülebileceği üzere, bu grafit yapısı mikroyapı fotoğlarında solucanı andıran bir yapıda görünüyor. Zaten adını da solucana benzer anlamına gelen *vermicular* kelimesinden alıyor. Birazdan ayrıntılı olarak bahsedeceğiz, ama burada kısa bir giriş yapalım:

Grafite bu yapıyı kazandırmak için sıvı metali bir magnezyum işleminden geçirmemiz gerekiyor, tıpkı küresel grafitli dökme demir üretir gibi. Bu işlemin verimini hassas bir şekilde kontrol etmek oldukça zor olduğu için, yapıda mutlaka bir miktar küresel (sfero) grafit bulunduğunu görüyoruz. Magnezyum işlemi sonrasında elde ettiğimiz grafit yapısını küresel değil de, vermicüler olarak değerlendirebilmemiz için, yapıdaki küre oranının %20'nin altında olması gerekiyor.

Solucanımsı yapının avantajları

Bu solucanımsı grafit yapısı, vermiküler grafitli dökme demirin (lamel grafitli) gri dökme demire kıyasla daha üstün mekanik özelliklere sahip olmasını sağlıyor. Çünkü gri dökme demirde gördüğümüz lamel grafit yapraklarının sivri uçları, yük altında gerilimi yoğunlaştırarak çatlak oluşumuna yol açabiliyor. Vermiküler grafit bu sivri uçlardan yoksun olduğu için, gerilim bu şekilde yoğunlaşmıyor. Bunun doğal sonucu olarak malzemenin mekanik özellikleri de iyileşiyor. Bu özelliğe ek olarak, grafitin mercanı andırır bir şekilde üç boyutlu bir ağ yapısında oluşması da, demir anayapı ve grafit arasındaki bağı güçlendirerek, dökme demirin mukavemetine katkıda bulunuyor.

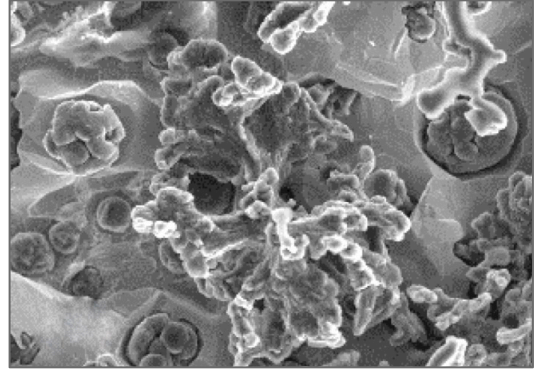
Yukarıda da belirttiğimiz gibi, vermiküler grafitli dökme demirdeki grafit parçacıkları sadece bahsettimiz bu solucanımsı yapıyı sergilemiyor. Doğru bir şekilde üretilmiş bir vermiküler grafitli dökme demir yapısında mutlaka bir miktar küresel grafitin de ortaya çıktığını görüyoruz. Yapıda gördüğümüz küre oranının artması, aslında malzemenin dayanımına olumlu bir şekilde yansıyor ve malzemenin bir miktar güçlendiğini görüyoruz. Fakat bu kazanıma karşılık hem dökülebilirliğin, hem işlenebilirliğin, hem de ısı iletkenliğinin azaldığını görüyoruz. Yani vermiküler grafitli dökme demirin önemli avantajlarının aslında bir anlamda yok olduğunu gözlemliyoruz. Bu nedenle bu malzemenin üretimi yapılırken, tüm bu

değişkenlerin bir arada dikkate alınması ve üretimin ona göre yapılması gerekiyor. Yani dayanımı arttırmak için küresellik bir nebze yüksek olacak şekilde üretim yapılacaksa, bu kararın parçanın dökülebilirliğini olumsuz etkileyeceği gibi, aynı zamanda dökülen parçanın işlenebilirliğini ve ısı iletkenliğini de düşüreceğini hesaba katmak gerekiyor.

Vermiküler grafitin üç boyutlu yapısı

Kaynak: Muhmond (2014)

Elektron mikroskopuyla çekilen bu fotoğrafta, dağlanarak üç boyutlu yapısı ortaya çıkartılmış vermiküler (solucanımsı) bir grafit parçacığı görülüyor. Aynı zamanda, arka planda birkaç adet küresel grafit de görüyoruz.



İnce kesitlerde yüksek oranda küresel grafit oluşması bir sorun mu?

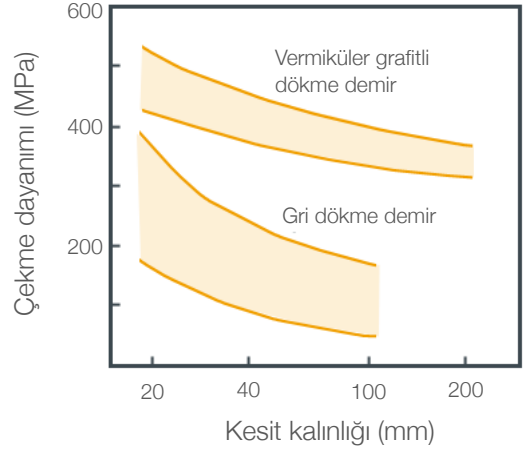
Bu çerçevede değerlendirebileceğimiz bir diğer avantajı da, ince kesitli parçalar kapsamında ele alabiliriz: Örneğin parçanın işlenebilirliğini, dökülebilirliğini ve ısı iletkenliğini yüksek tutmak adına her ne kadar izin verilen küre oranı %20 olarak belirtilse de, parça genelinde bu oran tutturulmasına rağmen, ince kesitlerdeki küre oranının %20'nin üzerine çıktığını görebiliyoruz. Bu durum her ne kadar ilk bakışta bir sorun gibi algılsa da, aslında mühendislik perspektifinden avantajlı bir durum ortaya çıkartıyor.

Küre oranını hangi durumlarda kasıtlı olarak arttırmak isteyebiliriz? Örnek olarak egzoz manifoldu üretiminde, küresel grafit oranının özellikle %50 civarında olması istenebiliyor. Tabii bu örnekte, küresellik oranının yüksek olması egzoz sisteminin dayanımını artırarak bir avantaj ortaya çıkartıyor. Fakat bu örnekten farklı olarak, küreselliğin daha düşük bir oranda olmasını özellikle istediğimizi durumlar da var: Örneğin yüksek bir ısı iletkenliği yanında işlenebilirlik ve dökülebilirliğin de yüksek olmasının istendiği silindir bloğu gibi uygulamalarda, küresel grafit oranının en fazla %20 olmasına izin verildiğini görüyoruz.

İnce kesitlerde, çoğu zaman kalın kesitlerde olduğu gibi ciddi bir işleme gereksinimi olmuyor. Dolayısıyla, parçanın ince kesitlerinde işlenebilirliğin çok iyi olmasını özellikle beklediğimizi söyleyemeyiz.

Vermiküler ve lamel grafitli dökme demirlerde kesit kalınlığı ve çekme dayanımı ilişkisi

Kaynak: ASM Speciality Handbook Cast Irons Classification and Basic Metallurgy of Cast Irons (1999)



Durum böyle olunca, bu ince kesitlerde ortaya çıkan yüksek orandaki küreler, bu kesitlerin kendiliğinden yüksek bir dayanım ve süneklik sergilemesini sağlıyorlar ve işlenebilirlik açısından da önemli bir problem yaratmıyorlar.

Bu nedenle vermiküler grafitli dökme demir olarak üretilen parçaların şartnamelerindeki kriterlerin, performans açısından sadece kritik bölgelere yönelik şekilde tanımlanması önem taşıyor. Böylece bu ince kesitlerdeki küre sayısının kendiliğinden yüksek olması ve dolayısıyla bu kesitleri güçlendirmesi sağlanabiliyor.

Vermiküler yapı içinde lamel grafitte de izin var mı?

Hep yapıdaki küresel grafit oranından bahsettik, acaba lamel grafitte de benzer şekilde bir tolerans gösteriliyor mu diye soracak olursanız, bunun cevabı hayır. Sivri uçlara sahip bu lamel grafit parçacıkları, mekanik özellikleri oldukça olumsuz bir şekilde etkilediği için yapıda bulunmalarına asla izin verilmiyor.

Lamel grafit yapısının lokal olarak bazı bölgelerde ortaya çıkması, o bölgenin diğer kısımlara kıyasla daha kötü mekanik özellikler sergilemesine yol açıyor. O nedenle lamelleşmeden mutlaka kaçınacak şekilde üretim sürecini tasarlamaya özen göstermemiz gerekiyor.

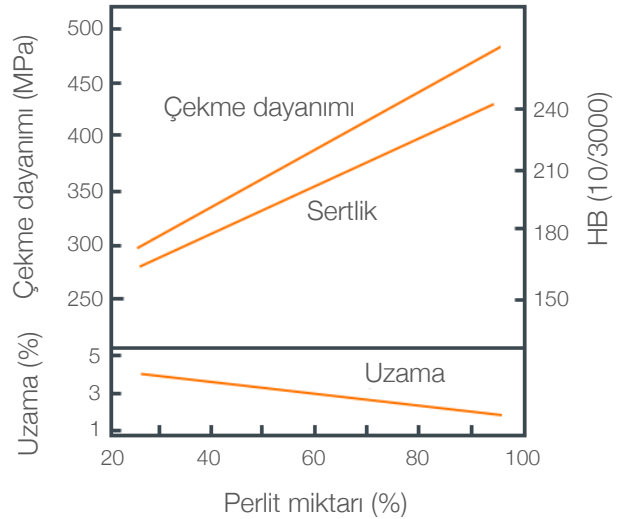
Perlit oranının etkisi

Vermiküler grafitli dökme demirin mekanik özelliklerini etkileyen bir diğer faktör de, matriste bulunan ferrit ve perlit oranı. Genel bir kural olarak, matristeki perlit oranı arttıkça, dökme demirin hem mukavemetinde, hem de sertliğinde bir artış meydana geldiğini görüyoruz. Bu mekanik özellikler ve perlit oranı arasında doğrusal bir ilişki olması nedeniyle, dökümhane mühendisleri istenen özellikleri elde etmek için yapıda ne kadar perlit bulunması gerektiğini kolaylıkla hesaplayabiliyorlar. Örnek olarak yandaki grafik üzerinde, yapıdaki perlit oranına bağlı olarak mekanik özelliklerin nasıl değiştiğini inceleyebilirsiniz.

Perlit miktarının mekanik özelliklere etkisi

Kaynak: Dawson et al. (2001)

*25 mm test çubuğu ve %10 küresel grafit oranı için



Perlitin sertliği arttırmaya yetmediği durumlar

Gri dökme demire kıyasla vermiküler grafitli dökme demirin daha yüksek bir dayanım ve süneklik sergilediğini biliyoruz. Fakat bu yine de bu malzemenin daima ideal bir sertlik değeri sergileyebileceği anlamına gelmiyor: Uygulamanın ihtiyaçları doğrultusunda çeşitli yöntemlerle malzemenin yüzey sertliğini daha da arttırmamız gerekebiliyor.

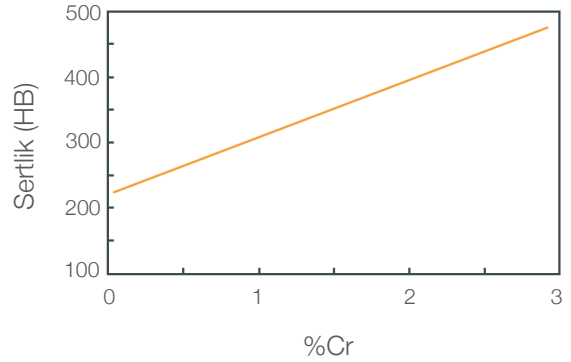
Bir önceki sayfada, yapıda bulunan perlit oranını arttırarak vermiküler grafitli dökme demirlerin sertliğini belli bir seviyeye arttırabileceğimizden bahsetmiştik.

Fakat ilgili grafikler üzerinde sunulan verilere dikkat ederseniz, tamamen ferritik durumda yaklaşık 170 HB gibi bir sertlik değeri sergileyen bir dökme demirin yapısı tamamen perlitik olduğunda bile, sertliğin ancak 240 HB gibi değerlere ilerlediğini görüyoruz. Eğer uygulamanın ihtiyaçları doğrultusunda çok daha yüksek sertlik değerleri elde etmemiz gerekiyorsa, açıkça görüldüğü üzere bunu sadece perlit ile elde edebilmemiz pek mümkün olmuyor.

Bu tür durumlarda, alaşım içine bir miktar krom takviyesi yaparak, malzemenin sertliğini arttırmamız mümkün olabiliyor. Krom her ne kadar malzemenin sünekliğini olumsuz etkiliyor olsa da, karbür yapıcı bir element olması nedeniyle

Vermiküler grafitli dökme demirde sertlik ve krom miktarı ilişkisi

Kaynak: Gumienny et al. (2015) makalesinde sunulan veriler baz alınarak çizilmiştir.*



parçanın sertliğini daha da arttırmamızı sağlayabiliyor.

Bir örnek vermek gerekirse, Gumienny'nin (2015) çalışmasında, sertliği 200 HB civarında olan bir dökme demirin sertliğinin %1,89 Cr takviyesi sonunda 407 HB değerine, %2,81 Cr sonrasında ise 435 HB değerine çıktığını görüyoruz. Bahsi geçen bu çalışmada elde edilen diğer değerler, yukarıdaki grafik üzerinde görülebilir.

Akılda kalması açısından bu değerlerden kısa bir ders çıkartmamız gerekirse, %1 Cr ilavesi sonrasında sertliğin yaklaşık olarak 90 HB kadar arttığını söyleyebiliriz.

*Not: Bu makalede sunulan grafiklerin yatay eksenlerinde hata bulunuyor. Yukarıdaki grafik, makalede sunulan veriler üzerinden tekrar hesaplama yapılarak ve gerekli düzeltmeler eklenerek tekrar çizildi.

Diğer malzemelere kıyasla öne çıkan özellikleri

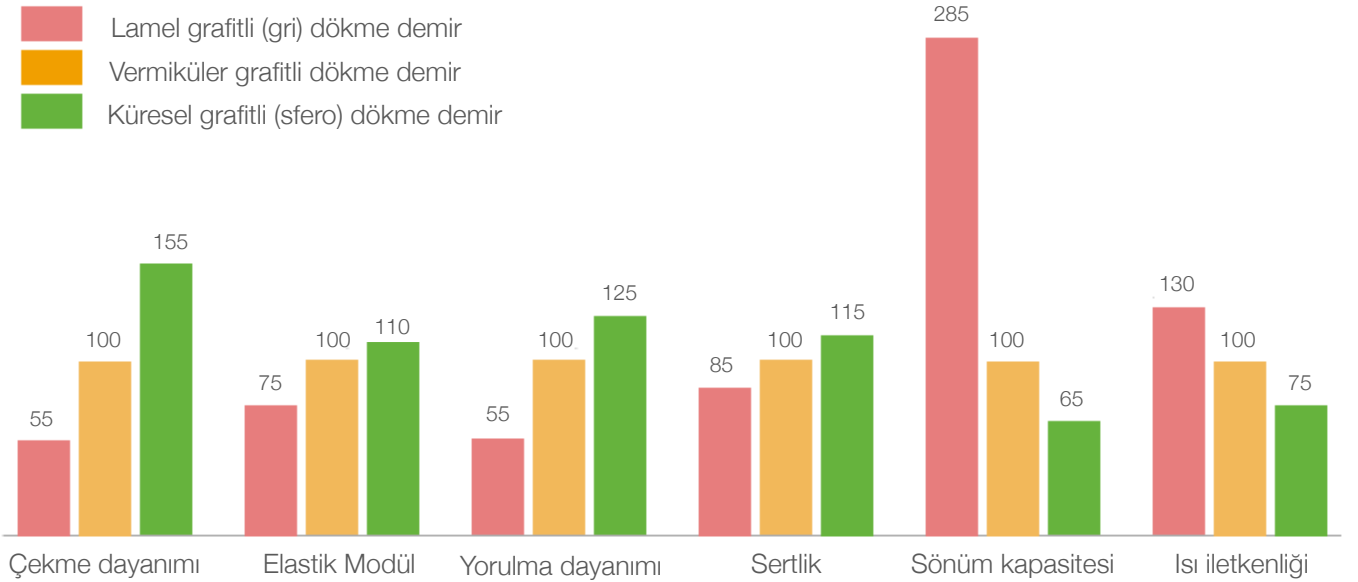
Küresel grafitli dökme demire kıyasla özellikleri

Vermiküler grafitli dökme demir küresel grafitli dökme demirle kıyaslandığında her ne kadar dayanım açısından biraz geride görünse de, birçok farklı açıdan daha üstün özellikler sergiliyor. Örneğin sadece ısı iletkenliği, işlenebilirliği ve dökülebilirliğinin iyi

olması değil, aynı zamanda ısı şoklarına ve çarpılmaya karşı direncinin de yüksek olması, bu malzemeyi öne çıkartıyor. Aynı zamanda küresel grafitli dökme demire kıyasla bu malzemenin daha düşük bir ısı genleşme sergilediğini, buna bağlı olarak malzemede oluşan kalıntı gerilimlerin de daha düşük seviyede olduğunu görüyoruz.

Lamel, vermiküler ve küresel grafitli dökme demirlerin kıyaslaması

Kaynak: Mocellin et al. (2004) makalesinde sunulan veriler baz alınarak çizilmiştir.



Diğer malzemelere kıyasla öne çıkan özellikleri

Gri dökme demire kıyasla özellikleri

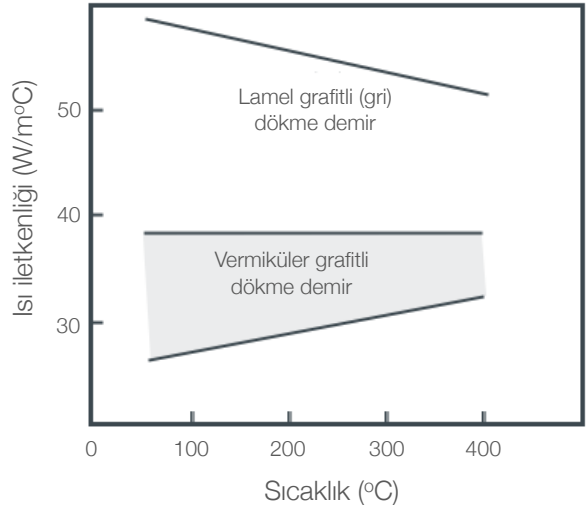
Vermiküler grafitli dökme demir her ne kadar gri dökme demir ve sfero arasında bir geçiş yapısı olarak sınıflandırılrsa da, aslında yukarıda anlatılanları okuduğumuz zaman bu malzemenin bu aralığın özellikleri bir tarafına daha yakın olduğunu görüyoruz; yani küresel grafitli dökme demir tarafına. Bu malzemenin gri dökme demir tarafına yaklaşmasından özellikle kaçınmamız ve yapıda lamelleşmeye asla izin vermememiz gerekiyor. Yani bu perspektiften baktığımız zaman, vermiküler grafitli dökme demiri hem yapısı, hem de üretim süreci açısından, (Mg işlemleri gerektiriyor olması nedeniyle) küresel grafitli dökme demirin bir türevi gibi de değerlendirebiliriz.

Bu durumda, bu aralığın diğer tarafında duran gri dökme demire kıyasla bu malzemenin ne gibi avantajlar sağladığına daha dikkatli bakmamız lazım. Örneğin lamel yapısındaki grafit yapraklarının ısıyı hızlı bir şekilde iletilebilmeleri nedeniyle, gri dökme demirin de yüksek ısı iletkenliğiyle öne çıkan bir malzeme olduğunu biliyoruz. Fakat gri dökme demirdeki bu grafit yaprakları, istemediğimiz özelliklerin ortaya çıkmasına da yol açabiliyor: Yapraksı olmaları ısı özellikleri açısından iyi olsa da, bu yaprakların sivri uçları çatlak oluşumunu kolaylaştırdıkları için, mekanik özellikleri olumsuz etkiliyorlar.

Sivri uçlara sahip olan bu grafit yaprakları, ne kadar büyük ölçülere sahipse, mekanik özel-

Gri ve vermiküler grafitli dökme demirlerin ısı iletkenliği

Kaynak: Guesser et al. (2006)



likleri o oranda olumsuz etkiliyorlar. O nedenle bu olumsuz etkiyi biraz olsun giderebilmek amacıyla, grafit yapraklarının boyutlarının küçültülmesi fayda sağlayabiliyor. Bu amaçla dökümhanelerin, dökme demirin karbon miktarını düşürerek grafit yapraklarını küçültmek ya da Cr, Ni, Cu, Mo ve Sn gibi elementleri ekleyerek malzemeyi güçlendirmek gibi yolları tercih ettiklerini görebiliyoruz. Bu yöntemler her ne kadar dökülen malzemenin mekanik özelliklerini %10 – %20 oranında artırıyor olsalar da, fiyat yanında dökülebilirlik, işlenebilirlik ve ısı iletkenliği gibi özellikler üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle, aslında gri dökme demir üretiminin avantajlarının törpülenmesine yol açıyorlar.

Diğer malzemelere kıyasla öne çıkan özellikleri

Alüminyuma kıyasla özellikleri

Alüminyum, dökme demire kıyasla çok daha hafif bir malzeme. Durum böyle olunca, alüminyumun otomotiv uygulamaları için daha uygun bir malzeme olduğunu düşünebiliyoruz.

Fakat işin aslı biraz farklı: Vermiküler grafitli dökme demirin sahip olduğu yüksek dayanım ve bükülme direnci (*stiffness*) nedeniyle, kesit kalınlığının ciddi bir şekilde inceltmesi ve sonuç olarak alüminyuma denk ağırlık sergileyen parçaların üretilmesi mümkün olabiliyor. Örnek olarak, Watson'un (2008) sunduğu verilere baktığımız zaman, Audi'nin vermiküler grafitli dökme demirden ürettiği 4,2 litrelik V8 motorun 255 kg olmasına rağmen, Mercedes'in ürettiği 4 litrelik alüminyum V8 motorun 259 kg oldu-



Audi V8 4,2 TDI

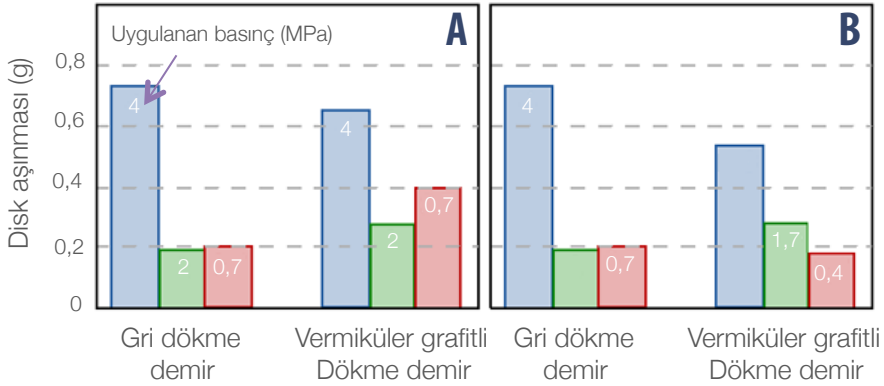
ğunu görüyoruz. Bu da, vermiküler grafitli dökme demir motorun toplamda 4 kg daha hafif olduğu anlamına geliyor.

Aşınma direnci: Lamel grafit mi, vermiküler grafit mi?

Son yıllarda, gri dökme demirin klasik bir seçim olduğu fren diski uygulamaları için vermiküler grafitli dökme demir isminin geçmeye başladığını görüyoruz. Her ne kadar literatür verileri ilk bakışta farklı bir durum varmış gibi bir yanılgı ortaya çıkartabilse de, aslında gerçekten de bu malzeme fren diski uygulamaları için gri dökme demire kıyasla daha iyi bir aşınma direnci sergiliyor. Ne demek istediğimizi basitçe açıklayalım.

Aşağıdaki grafik, Cueva'nın (2003) çalışma-

sında sunulan veriler baz alınarak üretildi. Grafikte sol tarafta (a) sunulan verilere bakılırsa, vermiküler grafitli dökme demir, gri dökme demire (EN-GJL-250) kıyasla pek bir avantaj sunuyormuş gibi görünmüyor: Örneğin 4 MPa basınç uygulandığında, vermiküler grafitli ve gri dökme demirdeki disk aşınmaları kafa kafaya gidiyor gibi görünüyor. Fakat 2 ve 0,7 MPa değerlerine baktığımız zaman, vermiküler grafitli dökme demirin gri dökme demire kıyasla daha çok aşındığını görüyoruz.



Bu sonuçlar bize ne söylüyor? Gri dökme demirin bu uygulama için daha uygun bir malzeme olduğunu mu? İlk bakışta öyle gibi görünse de, işin aslı farklı.

Çünkü vermiküler grafitli dökme demirin daha çok aşınıyor olması, aslında daha yüksek bir fren verimi elde edilebileceğinin sinyallerini veriyor. Diğer bir deyişle, benzer bir fren verimi için vermiküler dökme demire daha düşük bir basınç uygulanması yeterli olabilir gibi görünüyor. Eğer bu doğruysa, daha düşük basınç uygulayarak disk aşınmasının seviyesi de aslında aşağıya çekilebilir.

Bakalım doğru mu: Yukarıda sağda duran (b) grafik de aynı çalışmada sunulan veriler baz alınarak üretildi. Araştırmacılar, aynı sürtünme kuvvetini üretecek şekilde testleri tekrarlamışlar. Gerçekten de, gri dökme demirde elde edilen sürtünme kuvvetini elde edebilmek için, vermiküler grafitli dökme demir üzerine daha düşük miktarda bir basınç uygulanması yeterli olmuş. Örneğin gri dökme demirde 4 MPa ile elde edilen

sürtünme kuvveti, vermiküler grafitli dökme demir parçada 3,3 MPa ile üretilebilmiş. Benzer şekilde gri dökme demirde 2 MPa'da elde edilen sürtünme kuvveti vermiküler grafitli dökme demirde 1,7 MPa değerinde, 0,7 MPa'daki değer ise 0,4 MPa'da elde edilebilmiş. Aynı zamanda test numunesinin sürtünme nedeniyle ne kadar ısındığına bakarak da, aynı fren verimini vermiküler grafitli dökme demirde daha düşük bir basınçla elde edebildiklerini teyit etmişler.

Durum böyle olunca karşımıza bambaşka bir resim çıkıyor: Yukarıda sağda (b) gösterilen grafiğe dikkat ederseniz, uygulanan basınç değil de, elde edilen sürtünme kuvveti sabit tutularak testler tekrarlandığı zaman, vermiküler grafitli dökme demirin gerçekten de daha az aşındığını görmüş oluyoruz. Sonuç olarak baktığımız zaman, her ne kadar ilk bakışta yanıltsa da, sunulan bu veriler gerçekten de vermiküler grafitli dökme demirin bu uygulama açısından daha iyi bir performans sergilediğini ortaya koyuyor.

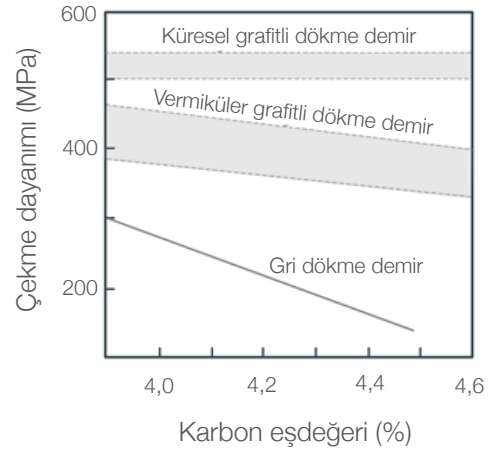
Vermiküler grafitli dökme demirlerin sınıflandırılması

Vermiküler grafitli dökme demir üretirken malzemenin kompozisyonuna dair yaptığımız seçimler, aslında büyük ölçüde küresel grafitli dökme demiri andırıyor. İlk olarak, malzemenin dayanımı karbon eşdeğerinden ne oranda etkileniyor diye baktığımız zaman, aradaki ilişkinin gri dökme demirde olduğu kadar kuvvetli olmadığını görüyoruz. Fakat küresel grafitli dökme demirle kıyasladığımızda ise, vermiküler grafitli dökme demirin dayanımının karbon eşdeğerinden daha çok etkilendiğini gözlemliyoruz. Yani bu açıdan baktığımızda da, vermiküler grafitli dökme demirin gerçekten de lamel ve küresel grafit yapıları arasında bir geçiş yapısı olduğunu görmüş oluyoruz (sağdaki grafik).

Vermiküler grafitli dökme demir, uluslararası ISO 16112 standardında sergilediği minimum çekme dayanımı baz alınarak 5 farklı grup altında sınıflandırılıyor. Tüm bu sınıflarda, yapıda bulunmasına izin verilen minimum küresel grafit oranının en fazla %20 olarak belirtildiğini görüyoruz. Yapıda bulunan perlit oranı ise, uygulamanın ihtiyacına göre değişiklik gösteriyor: Örneğin en düşük minimum çekme dayanımını (300 MPa) sergileyen GJV-300 alaşımı tamamıyla ferritik bir yapı sergilerken, en yüksek minimum çekme dayanımına (500 MPa) sahip GJV-500 alaşımı tamamıyla perlitik bir yapı sergiliyor.

Karbon eşdeğerinin çekme dayanımına etkisi

Kaynak: ASM Speciality Handbook Cast Irons Classification and Basic Metallurgy of Cast Irons (1996)



Daha önce de belirttiğimiz gibi, mekanik özellikler üzerindeki etkileri nedeniyle bu malzemelerin hiçbirinde lamel grafit yapısına kesinlikle müsaade edilmiyor. Gri ve küresel grafitli dökme demirde olduğu gibi, bu malzemelerde de yüksek sıcaklık dayanımını ya da aşınma direncini arttırmak için çeşitli elementlerin takviye edildiğini görebiliyoruz. Bu standart kapsamında tanımlanan alaşım sınıflarını, bazı mekanik değerlerle birlikte aşağıdaki tablo üzerinde görebilirsiniz.

	GJV300	GJV350	GJV400	GJV450	GJV500
Çekme Dayanımı* (MPa)	300-375	350-425	400-475	450-525	500-575
Akma Dayanımı* (MPa)	210-260	245-295	280-330	315-365	350-400
Uzama (%)	2,0-5,0	1,5-4,0	3,5	1,0-2,5	0,5-2,0
Elastik Modül (GPa)	130-145	135-150	140-150	145-155	145-160

*15 mm kesit kalınlığı ve 0,75 modül için: Farklı numune ölçüleriyle yapılmış testlerde farklı sonuçların elde edildiğini başka kaynaklarda görebilirsiniz. (Kaynak: Classgauss technical sheet)

Küresel grafit oranı mekanik özellikleri nasıl etkiliyor?

Yukarıdaki tabloda da belirtildiği üzere, bu değerler sadece belli bir kesit kalınlığı ve modül için geçerli. Yani farklı bir kesit kalınlığı ve modülde katılmış numunelerde bu değerlerin farklılık gösterdiğini görebilirsiniz. Bu farkın en temel nedeni, yapıda bulunan küresel grafit oranının kesitin soğuma hızına bağlı olması: Yani siz kalın kesitli bir parça genelinde küresel grafit oranını %20'nin

altında tutmayı başarsanız bile, ince kesitlerde bu değer %20'nin üzerine çıkabilir. Yukarıda da bahsettiğimiz gibi, bu durum zaman zaman bizim için avantajlı olabiliyor, çünkü küresel grafit oranının artması, bu ince kesitlerin dayanımını arttıran bir etki ortaya çıkartıyor. Örnek olarak aşağıdaki tablo üzerinde GJV-450'de bulunan küresel grafit oranına göre mekanik özelliklerin nasıl değiştiğini görebilirsiniz.

Küresel Grafit Oranı (%)

	10	30	50	70	90
Çekme Dayanımı (MPa)	465	520	590	640	700
Akma Dayanımı (MPa)	350	370	390	420	470
Uzama (%)	1-2	1-3	2-4	2-5	3-6
Elastik Modül (GPa)	145	150	155	155	160

Kaynak: Material Data Sheet, Sintercast

DÖKÜMCÜNÜN EL KİTABI, DÖKÜMHANE AKADEMİ PROJESİ KAPSAMINDA HAZIRLANMIŞTIR.

El Kitabı

Dökümhane Eğitim Projesi Özel Sayı Serisi

7000

Yıllık Tarihin

Gelecekle Buluşma Noktası

Dokumhane.net

Vermiküler Grafitli Dökme Demirin Üretimi



Besleyici gömlekler
Mini besleyiciler
Kalıp ve maça reçineleri
Refrakter boyalar

*İsç bizim
kontrolümüzde!*

www.unikon.com.tr

U N I K O N

Vermiküler grafitli dökme demir üretiminde Mg işlemi

Vermiküler grafitli dökme demir üretiminde uygulanan Mg işlemi, teknik olarak küresel grafitli dökme demir üretimine büyük benzerlik taşıyor. Tabii, bazı ayrıntılar dışında.

İlk olarak, vermiküler grafitli dökme demir üretimi için istenen kalan Mg değeri, küresel grafitli dökme demire kıyasla daha düşük: Teknik literatüre baktığımızda, %0,010 – %0,025 bandında bir kalan Mg değeri elde ettiğimizde, %20'nin altında küresel grafit içeren vermiküler yapısını istikrarlı bir şekilde elde edilebileceğini görüyoruz.

Fakat işi biraz daha ileri götürüp ayrıntısına baktığımız zaman, işin sırrı aslında sadece kalan Mg değerinde değil, Mg/S oranında gibi görünüyor. Çünkü dökümhanelerdeki üretim alışkanlıklarına baktığımız zaman, zaman zaman %0,030'un altındaki kalan Mg değerlerinde de başarılı bir şekilde küresel grafitli dökme demir üretilbildiği görebiliyoruz. Burada işin sırrı Mg/S oranında saklı olduğuna göre, küresel grafit yapısından uzaklaşarak vermiküler yapıya doğru gidebilmemiz için, sferodan farklı olarak kükürt oranını biraz daha artırma yoluna gitmemiz gerektiğini anlayabiliyoruz.



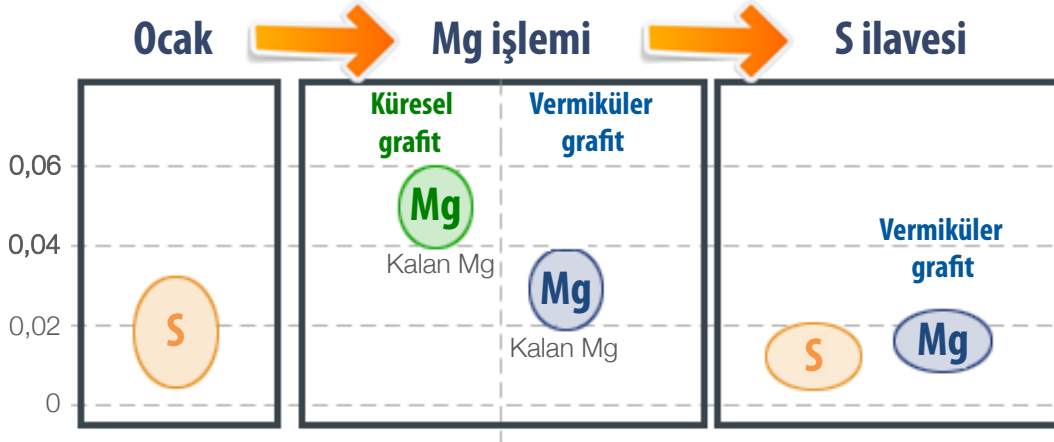
Gerçekten de, teknik literatüre baktığımız zaman (Riposan, 2003), istikrarlı bir vermiküler grafitli dökme demir üretimi için kalan Mg değerinin %0,010 ile %0,025 bandında tutulduğunu ve Mg/S oranını 0,5 ila 2,0 aralığına çekmek için kükürt ilavesi yapıldığını görüyoruz. Açıkçası bu Mg/S oranı yapı üzerinde o kadar önemli bir etki ortaya çıkartıyor ki,

bazı kaynaklarda kalan Mg oranının %0,04 sınırına gelmiş olmasına rağmen, kükürt takviyesiyle başarılı vermiküler grafitli dökme demir üretiminin gerçekleştirilebildiğinin örneklerini görüyoruz (Chisamera, 2002). Sıvı içinde hızlıca çözünen FeS briketleriyle yapılan bu işlem, sıvının kompozisyonunu hızlı bir şekilde istenen aralığa getirebilmek için oldukça kullanışlı bir işlem fırsatı sunuyor.

Mg/S oranı 0,5 ila 2,0 aralığında olacak derken ne gibi değerlerden bahsettiğimizi anlamak için biraz hesap yapalım: Örneğin yukarıda örneğini verdiğimiz tarzda %0,025 kalan Mg değerinde vermiküler grafitli

dökme demir üretimi yapmak istiyorsak, tretman sonrasında Mg/S oranını örneğin 0,5 değerine getirmek için, son dökülen parçada kalan Mg değerinin %0,025 kükürtün ise %0,05 oranında bulunduğundan emin olmamız gerekiyor.

Kükürt takviyesiyle vermiküler grafitli dökme demir üretiminin aşamaları



Mg/S oranını baz alarak vermiküler grafitli dökme demir üretimi için sağlamamız gereken değerleri yukarıda özetledik. Şimdi, bu aşamaların net bir şekilde anlaşıldığından emin olmak için isterseniz adım adım tekrar bir üzerinden geçelim.

I. İlk olarak ocakta baz alaşımı hazırlıyoruz. Dökümhaneden dökümhaneye farklı değerler gözlenebilir, ama eğer işi kitabına sadık kalarak anlatmak istersek, bu aşamada, ocaktaki alaşımda en fazla %0,03 oranında kükürt olması gerektiğini söyleyebiliriz.

II. Ocakta gerekli alaşımlamayı yaptıktan sonra Mg tretmanına geçiyoruz. Bu aşamada, sferoya kıyasla daha düşük bir kalan Mg değerini hedefleyerek, tretman sonrasındaki kalan Mg değerini %0,025 ila %0,04 bandında tutarak işlemem çıkıyoruz.

III. Elde ettiğimiz bu kalan Mg değeri, başarılı bir vermiküler dökme demir üretimi için hala yüksek. En son aşamada kalan Mg değerini %0,010 ila %0,025 arasına çekip, final Mg/S oranını da 0,5 ila 2,0 arasında tutacak şekilde kükürt takviyesi yapıyoruz.

Kükürt takviyesi olmadan vermiküler grafitli dökme demir üretimi

Dikkat ederseniz yukarıda tarif edilen işlemde kalan Mg değerini ve kükürt değerlerini istenen değerlere getirmek için iki aşamalı bir işlem uyguluyoruz: İlk aşamada Mg tretmanı ile bu değerleri belli bir yere getirip, ardından tabiri caizse ince bir ayar daha yaparak arzu edilen değerlerle işlemi bitiriyoruz.

Tabii bu işlemi tek bir adımda yapmamız da mümkün olabilir. Yani sonuç olarak arzu edilen kalan Mg değerini ve Mg/S oranını bir dökümhane sadece Mg tretmanı sonrasında, tek adımda elde edecek şekilde üretim sürecini optimize edebilir. Tabii, tahmin edebileceğiniz üzere, bu pek o kadar kolay bir iş değil (ama imkansız da değil).

Ti takviyesiyle vermiküler grafitli dökme demir üretimi

O nedenle, ikinci bir kükürt verme işlemine girme zahmetinden uzak durup, sadece tek adımda bu işi bitirmek isteyen dökümhanelerin uyguladığı bir yöntem daha var. Aslında burada da ikinci bir adım var, ama yukarıda anlattığımız yola kıyasla burada uygulanan yöntem daha basit: Küreselleştirme etkisine zıt etki eden ve küreselliği bozan bir element ekliyoruz. Örneğin, titanyum (Ti), alüminyum (Al) ya da bizmut (Bi) gibi. Sanayideki kullanım alışkanlıkları açısından baktığımız zaman, bu amaçla kullanımı daha sık tercih edilen elementin Ti olduğunu görüyoruz.

Daha önceki kısımlarda, vermiküler grafitli dökme demirdeki küresel grafit oranının %20'nin altında olması gerektiğini, fakat ince kesitlerdeki yüksek soğuma hızı nedeniyle bu kesitlerde küresel grafit oranının artış gösterebildiğini belirtmiştik.

İşte Ti takviyesiyle gerçekleştirilen bu işlem, özellikle ince kesitlerdeki küre oranının da düşük kalması istenen durumlarda avantaj sağlıyor. Çünkü kalan Mg değerini düşürmek, ince kesitlerdeki küresel grafit oranını aşağı çekme konusunda her zaman fayda sağlamıyor: Teknik literatürde sunulan çalışmalara baktığımız zaman, kalan Mg değeri %0,01 mertebesinde olan durumlarda bile, özellikle 4 mm'den daha ince kesitlerde küresel grafit oranının oldukça yüksek olduğunu görüyoruz.

İşte bu tür durumlarda, yani ince kesitlerdeki küre oranının %20'nin altına olması gerektiği zamanlarda işi Ti takviyesiyle çözmek, Mg/S oranı üzerinden gitmeye kıyasla daha kolay bir yol olarak görünüyor.

Ne kadar Ti eklenmek lazım?

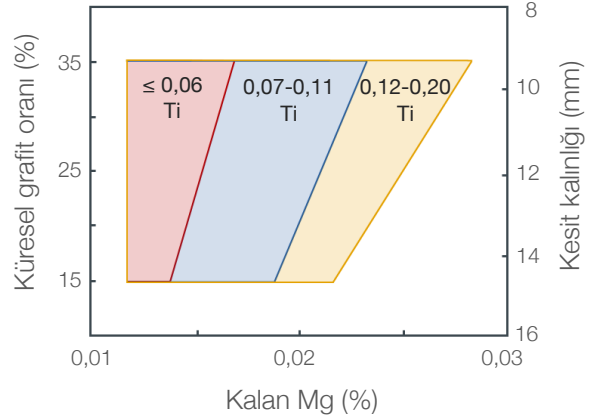
Ti her ne kadar ince kesitli parçaların üretiminde bir avantaj sağlasa da, bu elementi çok fazla kullanmaktan kaçınmak gerekiyor. Bunun ilk nedeni Ti'nin sıvıda birikme eğiliminde olan bir element olması. O nedenle kullanılan döndülerle birlikte bu element tekrar ocağa girebiliyor. Sıvı dökme demir içinde kaldığı zaman karbonla birleşerek oldukça sert TiC parçacıklarını ortaya çıkartan bu elementin miktarı arttıkça malzemenin sertleştiğini, fakat sünekliliğini kaybettiğini görüyoruz. Oluşan bu TiC parçacıkları her ne kadar en fazla 3-4 mikron boyuta sahip ve en fazla %1 oranında bir hacim işgal ediyor olsa da, mekanik özellikleri önemli bir şekilde etkileyebiliyorlar.

Peki, ne kadar Ti eklememiz lazım? Literatürde sunulan verilere bakalım: Örneğin Gorny'nin (2013) çalışmasında sunulan verilere bakılırsa, %0,13 oranında eklenen Ti, 5 mm'lik bir kesit içindeki küresel grafit oranını %20'nin altına çekmek için yeterli oluyor. Ti takviyesi bunu başarıyor ama, bu araştırmada üretilen vermiküler grafitli dökme demirin uzamasını %30'a varan oranda da düşürüyor. Yine de, ince kesitlerde de yüksek orana bir vermiküler grafit oluşumu istenen durumlarda, bu şekilde başarılı sonuçlar elde edebileceğimizi aklımızda tutmakta fayda var.

Ti'nin malzemeyi sertleştirmesi sadece uzama değerlerini olumsuz etkilemiyor, malzemenin işlenebilirliğini de ciddi bir şekilde aşağı çekiyor.

Vermiküler grafit eldesi için Ti miktarı

Kaynak: Jonuleit et al. makalesinde sunulan veriler baz alınarak çizilmiştir.



Örneğin Guesser'in (2001) sunduğu verilere göre, sadece %0,05 oranında Ti eklenmesi bile, işlemede kullanılan takım ömrünü %70 – %80 oranında azaltabiliyor. Eklenen daha fazla Ti, bu değeri çok daha kötüye götürmüyor, ama sunulan bu bilgiler ışığında azıcık bir titanyumun nelere kadir olduğu görmek oldukça enteresan. İşlenebilirlik konusuna birazdan geri döneceğiz.

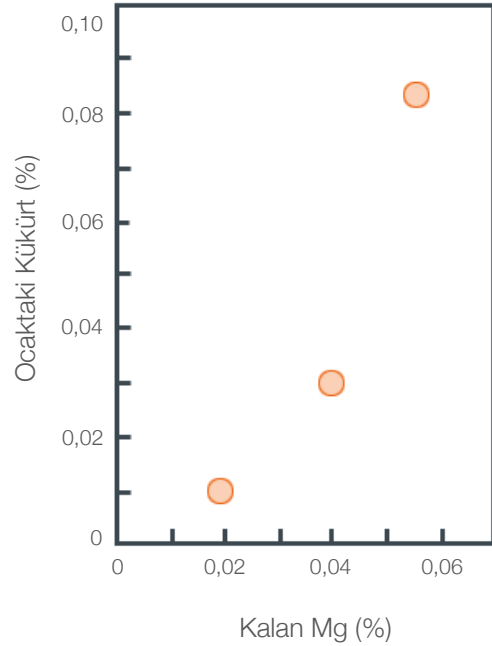
Ocaktaki ilk kükürt değeri ne kadar önemli?

Ocaktaki ilk kükürt değeri ne kadar düşükse, küreselleştirme işlemi sonrasında o kadar düşük bir kalan Mg ile bitirerek harika sonuçlar elde edebiliyoruz. Örneğin küresel grafitli dökme demir üzerinden birkaç değer verelim: Yandaki grafik üzerinde de görebileceğiniz gibi, eğer ocaktaki kükürt düzeyini %0,01 ve altında tutabiliyorsanız, Mg işlemi sonrasında %0,018 gibi bir kalan Mg değeriyle küreselliği gayet yüksek bir sfero üretmeniz mümkün olabiliyor. Eğer ocaktaki kükürt değerinizi %0,03 civarında ise, iyi bir küresellik için kalan Mg değerini %0,04 civarında tutmanız yeterli geliyor. Ocaktaki kükürt değerinin daha yüksek olduğu, örneğin %0,085 gibi bir durumda ise, iyi bir küresellik için kalan Mg değerinin %0,055 civarında olması gerekiyor. Fakat bu değerler kükürt ne kadar düşükse, Mg işlemi için o kadar iyi şekilde yorumlanmamalı: Örneğin ocaktaki kükürt değerinin %0,008'in de altında olması durumunda sıvı alaşım aşılama tepki vermekte yetersiz kaldığı için, bu sefer küre sayısının düşük kaldığını görebiliyoruz. Bu da çekinti gibi hiç istemediğimiz başka sorunlara davetiye çıkartabiliyor.

Burada verdiğimiz değerler her ne kadar küresel grafitli dökme demir için geçerli olsa da benzer bir paralelliği vermiküler grafitli dökme demirle de kurabiliriz. Yani, ocaktaki kükürt değeri ne kadar düşükse, o oranda düşük bir kalan Mg değeriyle başarılı vermiküler grafitli dökme demir üretimi

“Sfero” için ocaktaki %S ve kalan %Mg ilişkisi

Kaynak: Gundlach et al. (1992)



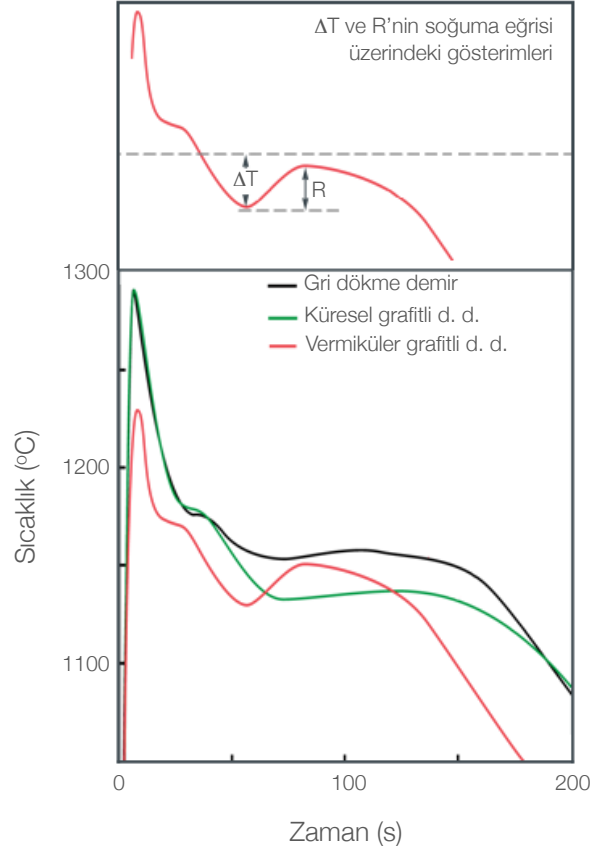
yapabiliyoruz. O nedenle yukarıda işlemin adımlarını anlattığımız kısımda verdiğimiz değerleri kesin nicelikler olarak kabul etmemek ve bu tür değişkenlere bağlı olarak farklılıklar gösterebileceğini aklımızda tutmamızda fayda var.

Termal analiz ile süreç kontrolü

Soğuma eğrileri yoluya süreç kontrolü, hızlı ve ekonomik bir yöntem olması yanında güvenilir sonuçlar sağlaması nedeniyle birçok dökümhane tarafından uzun yıllardır kullanılıyor. O nedenle bu noktada bir parantez açıp, vermiküler grafitli dökme demir üretiminde görmeyi beklediğimiz termal analiz parametreleri hakkında da biraz bilgi vereceğiz. Burada bu yöntemi halihazırda kullanan dökümhanelere tavsiye niteliğinde bilgi sunmayı amaçladığımız için, termal analiz hakkında bir giriş yapmadan, bu yöntemin okuyucular tarafından zaten bilindiğini kabul ederek konuyu açıklayacağız.

Soğuma eğrileri, vermiküler grafitli dökme demir üretiminde bize nasıl bir bilgi sağlayabilir? Lafı fazla uzatmadan söyleyelim, ayrıntılarına daha sonra geçelim: Mg tretmanı sonrasında, Mg'nin etkisi geçmeden dökümü tamamlamak için oldukça kısa bir süre aralığına sahibiz. Soğuma eğrisi analizi, işte bu konuda süreci kontrol edebilmemiz için bize ihtiyacımız olan bilgiyi sağlayabiliyor. Nasıl sağladığına geçmeden önce, ilk olarak lamel, vermiküler ve küresel grafitli dökme demirlerin soğuma eğrilerini bir inceleyelim.

Bu üç dökme demire ait soğuma eğrilerinde gördüğümüz ilk önemli nokta, aşırı soğuma (ΔT) miktarı: Lamel grafitli dökme demir katılaşmasında gördüğümüz ΔT miktarı



oldukça düşük olmasına rağmen, bu değer vermiküler ve küresel grafitli dökme demirler için daha yüksek. Aslında sadece bu bilgi bile, soğuma eğrilerini nasıl kullanabileceğimiz konusunda bize ışık tutuyor: Tretman sonrasında Mg'nin etkisinin geçmesi, grafitin lamelleşmesine yol açacağı için, ΔT değerinin ne kadar azaldığına bakarak, lamelleşmenin başlayıp başlamadığını analiz edebiliyoruz.

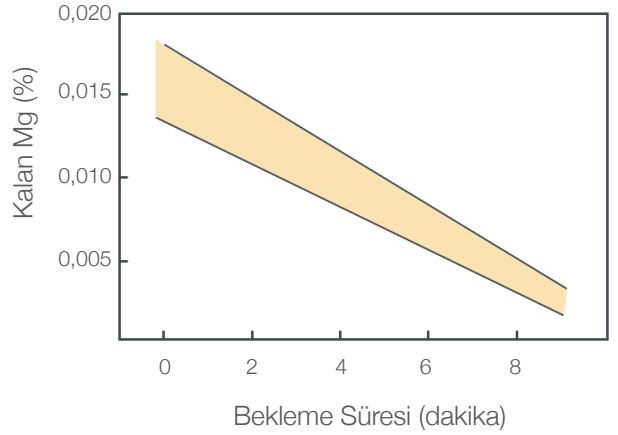
Aradaki bir diğer fark ise, aşırı soğumadan sonraki yeniden ısınma miktarı, ya da İngilizce'deki tabiriyle *recalescence* (R). Yukarıdaki grafiğe dikkat ederseniz, lamel ve küresel grafitli dökme demirlerde bu değer düşük olmasına rağmen, vermiküler grafitli dökme demirde görülen yeniden ısınma miktarı çok daha yüksek. Bu da, soğuma eğrilerinin süreç kontrolü için sağladığı bir diğer önemli bilgi.

Eğer sadece ΔT değerini ya da sadece R değerini kontrol ederek sürecin gidişatını incelemek isterseniz, elbette bu veriler tek başlarına sizi yanıltabilir. Fakat vermiküler grafitin lamelleşme sürecini bu iki değerdeki değişimlere bakarak takip etmek isterseniz, o zaman çok daha net bir şekilde süreci kontrol edebilirsiniz.

Yapılması gereken oldukça basit: Döküm sırasında farklı zamanlarda ΔT ve R değerlerini ölçerek, ne kadar bir süre zarfında vermiküler yapının bozulup lamelleşmenin başladığını anlamak. Böylece Mg tretmanı sonrasında ne kadarlık bir süre zarfında dökümü tamamlamanız gerektiğini anlamanız mümkün olabilir. Ayrıca biraz zaman ayırıp, bu ölçümleri farklı kalan Mg değerleri ve Mg/S oranları için de tekrar edebilirsiniz, tretman sonrasındaki termal analiz değerlerini kimyasal kompozisyonla ilişkilendirebilir ve sadece bu değerlere bakarak, sürecin hatasız gitmesini sağlayabilirsiniz.

Bekleme süresi ve kalan Mg ilişkisi

Kaynak: Jinhai et al. (2011)'de sunulan veriler baz alınarak çizilmiştir. Farklı dökümhanelerde farklı değerler görülebilir.



İşlenebilirliği

Her şeyden önce şunu söylememiz lazım ki, vermiküler grafitli dökme demirin küresel grafitli dökme demire kıyasla sahip olduğu bilinen avantajlardan bir tanesi, işlenebilirliğinin daha iyi olması. Fakat bu malzemenin işlenebilirliği, yine de gri dökme demir kadar iyi değil. Yani vermiküler grafitli dökme demire işlenebilirlik perspektifinden baktığımızda da, yine gri ve küresel grafitli dökme demirler arasında bir performans sergilediğini görüyoruz. Fakat üretim aşamasında doğru tercihleri yaparak, bu malzemenin işlenebilirliğini daha da ileri taşımamız mümkün olabiliyor.

O zaman soralım: Bir dökme demirin işlenebilirliğini hangi parametreler belirliyor?

Burada dört parametrenin öne çıktığını görüyoruz: Grafit şekli, perlit miktarı, kompozisyon ve inklüzyonların varlığı.

Vermiküler grafitin sahip olduğu biçimsel özellikler, yukarıda da belirttiğimiz gibi bu malzemenin gri ve küresel grafitli dökme demir arasında bir işlenebilirliğe sahip olmasına yol açıyor. Grafit şekliyle oynama şansımız olmadığı için, bu parametreye dair pek bir değişiklik şansımız bulunmuyor.

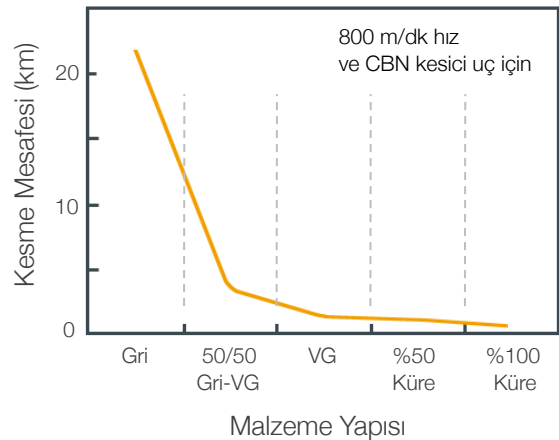
Bu listede dikkat etmemiz gereken parametrelerden bir tanesi yapıdaki perlit oranı. Perlit oranı arttıkça, dökme demirin sertliğinin arttığını biliyoruz, önceki kısımlarda bu konuda bilgi vermiştik.

Perlit yapıcı elementlerin alaşımda olması sonucunda eğer dökme demir perlitik bir yapıya sahip olmuşsa, malzemenin işlenebilirliğinin bu durumdan olumsuz etkilendiğini görüyoruz.

O nedenle eğer dayanımın yüksek olması, ya da yapıda perlit olması özellikle istenmiyorsa, işlenebilirliği arttırmak için GJV-300 ya da GJV-350 gibi bir ferritik bir malzemenin üretilmesini tavsiye edebiliriz. Bu ferritik malzemelerin GJV-450 gibi bir malzemeye kıyasla dayanımları daha düşük olmasına rağmen, içerdikleri düşük perlit miktarı nedeniyle daha iyi bir işlenebilirliğe sahip olduklarını görüyoruz.

Grafit tipinin takım ömrüne etkisi

Kaynak: Dawson et al. (2001) makalesinde sunulan veriler baz alınarak çizilmiştir.



Sonuç

Sonuç olarak küresel grafitli dökme demirle kıyasladığımızda mekanik özellikler açısından biraz geride kalan bu malzemenin, yüksek ısı iletkenliğinin ve sönüm kapasitesinin istendiği durumlarda tercih edildiğini görüyoruz. Bu nedenle özellikle otomotiv sektöründe, V8 motorlar, silindir kafaları ve fren diskleri gibi uygulamalarda vermiküler grafitli dökme demir bir tercih sebebi olabiliyor.

Üretimi her ne kadar zaman zaman dökümhanelerin gözünü biraz korkutuyor olsa da, aslında bu özel sayıda anlattıklarımıza bakılırsa, çok da zor bir iş değil bu malzemeyi üretmek: Sadece küresel grafitli dökme demire kıyasla süreç sırasında elde etmeniz gereken kalan Mg ve kükürt değerlerine dikkat etmeniz gerekiyor. Eğer Mg/S oranı üzerinden gitmek zor geliyorsa, önceki sayfalarda anlattığımız gibi biraz Ti takviyesiyle de bu işi çözebiliyoruz.

Mekanik özellikleri olumsuz etkileyen lamelleşme probleminden uzak durmak için de termal analiz ile süreç takibi yapmak, dökümcülere hem pratik hem de güvenilir bir çözüm yolu sunuyor.

Umarız bu özel sayıda aktarılan bilgiler, dökümhanelerimizi bu nispeten yeni malzemeyi üretme konusunda biraz olsun cesaretlendirmiştir.

El Kitabı'nın bir sonraki sayısında görüşmek üzere.



Kaynaklar ve Okuma Listesi

Article on product of cast iron with vermicular graphite (CGI). M. Jonuleit, W. Maschke. Ask Chemicals Technical Article.

ASM Speciality Handbook Cast Irons. Ed: J.R. Davis (1996) ASM International.

Compacted graphite cast irons and their production by a single alloy addition. E.R. Evans, J.V. Dawson, M.J. Lalich. AFS International Cast Metals Research Journal (1976) 13.

Compacted graphite cast iron – A new material for highly stressed cylinder blocks and cylinder heads. S. Watson, F. Indra. SinterCast (2012).

Compacted graphite irons. In Metals Handbook Casting. D.M. Stefanescu, R. Hummer, E. Nechtelberger. ASM International, Materials Park, Ohio. Vol. 15 (1988) 667.

Characterization of graphite particle shape in spheroidal graphite iron using a computer based image analyser. B.I. Imasogie, U. Wendt. Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering. Vol.3 (2004) 1.

Ductile iron handbook: Composition of ductile irons. R.B. Gundlach, J.R. Loper, Jr., B. Morgenstern. AFS, Des Plaines (1992) 77.

Effect of chromium on the solidification process and microstructure of vermicular graphite cast iron. Archives of Foundry Engineering. Vol. 15 (2015) 29.

Effect of metallurgical variables on the machinability of compacted graphite iron. S. Dawson, I. Hollinger, M. Robbins, J. Daeth, U. Reuter, H. Schulz. Society of Automotive Engineers 2001-01-0409 (2001).

Experience Producing Compacted Graphite Cast Irons by Sulfur Addition After Magnesium Treatment. M. Chisamera, I. Riposan, St. Stan, D. Sparkman, D. Kelley, M. Barstow. AFS Transactions, Vol. 110 (2002) 851.

Influence of fading on characteristics of thermal analysis curve of compacted graphite iron. L. Jinhai, Y. Litao, L. Guolu, L. Changqi, L. Yinguo, Y. Zhaoyu. China Foundry, Vol. 8 (2011) 295.

Magnesium-Sulfur Relationships in Ductile and Compacted Graphite Cast Irons as Influenced by Late Sulfur Additions. I. Riposan, M. Chisamera, R. Kelley, M. Barstow, R.L. Naro. AFS Transactions 03-093 (2003) 1.

Observations on the graphite morphology of compacted graphite cast iron. P.C. Liu, C.R. Loper Jr., T. Kimura, E.N. Pan. AFS Transactions, Vol. 89 (1981) 65.

On the inoculation and graphite morphologies of cast iron. H.M. Muhmond, Doktora Tezi (2014) KTH İsveç.

Production experience with compacted graphite iron automotive components. W. Guesser, T. Schroeder, S. Dawson. AFS Transactions 01-071 (2001) 1.

Role of titanium in thin wall vermicular graphite cast iron castings production. M. Gorny, M. Kawalec. Archives of Foundry Engineering, Vol. 13 (2013) 25.

Structure and mechanical properties of vermicular cast iron in cylinder head casting. E. Guzik, S. Dzik. Archives of Foundry Engineering, Vol. 9 (2009) 175.

The effect of metallurgical variables on the machinability of compacted graphite iron. S. Dawson, I. Hollinger, M. Robbins, J. Daeth. SAE Technical Paper 2001-01-0409, 2001, doi:10.4271/2001-01-0409.

The effect of vermicularity on the thermal conductivity of vermicular graphite cast iron. Z.J. Ma, D. Tao, Z. Yang, Y.C. Guo, J.P. Li, M.X. Liang, L.T.L. Yeung. Materials & Design, Vol. 93 (2016) 418.

Thermal conductivity of gray iron and compacted graphite iron used for cylinder heads. W.L. Guesser, I. Masiero, E. Melleras, C.S. Cabezas. Revista Materia, Vol. 10 (2005) 265.

Wear resistance of cast iron used in brake disc rotors. G. Cueva, A. Sinatora, W.L. Guesser, A.P. Tschiptschin. Wear 255 (2003) 1256.

Dökümcünün
El Kitabı
Serisi – 01
Vermiküler Grafitli Dökme Demir

Dökümcünün El Kitabı Serisi
“Dökümhane Akademi”
Projesi Kapsamında Hazırlanmıştır.

Dokumhane.net

Haziran 2016