

El Kitabı

Dökümhane Eğitim Projesi Özel Sayı Serisi

7000

Yıllık Tarihin

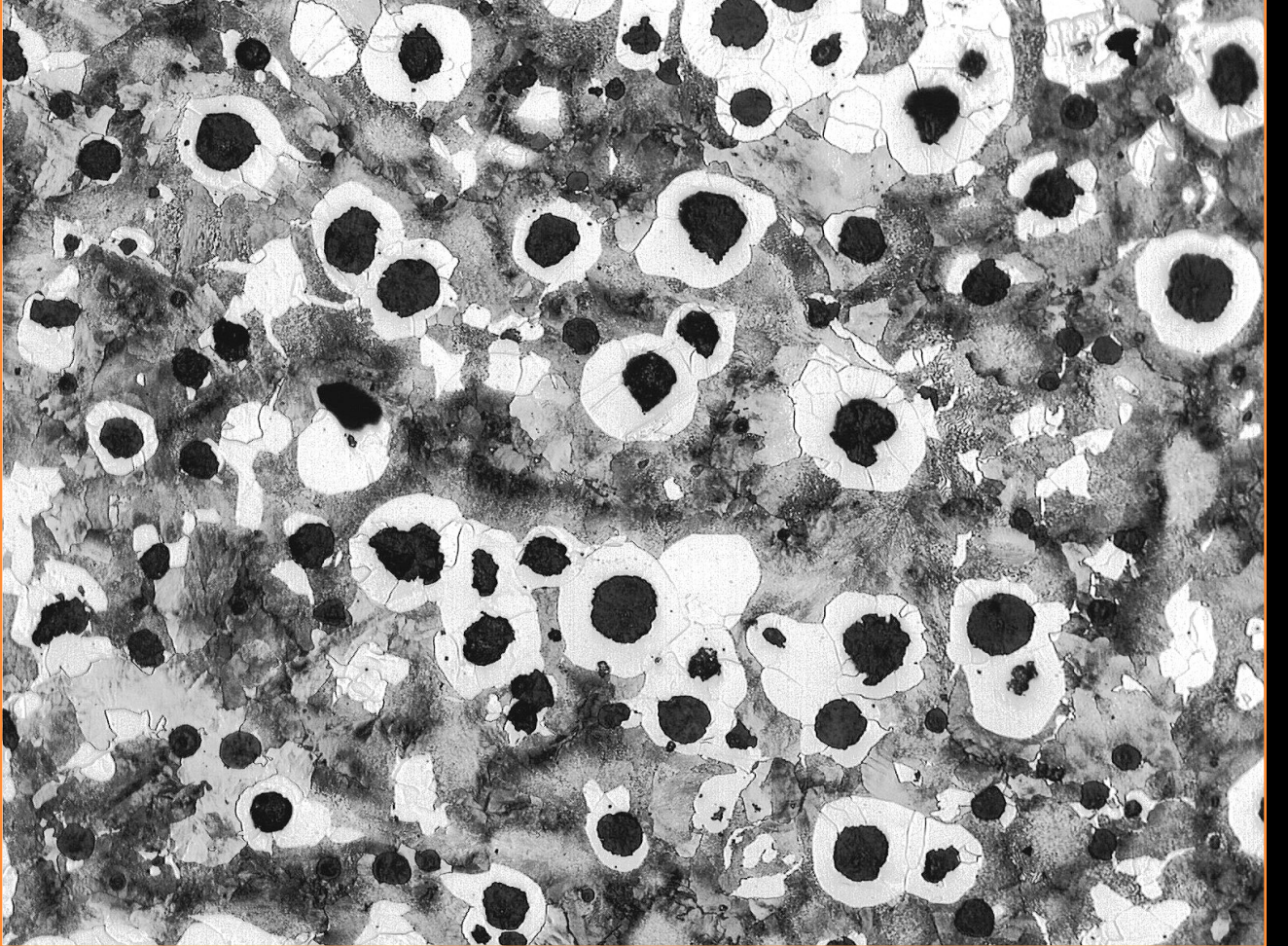
Gelecekle Buluşma Noktası

Dokumhane.net

02

Küresel Grafitli Dökme Demir

- Tarihçesi
- Sınıflandırılması
- Üretimi
- Döküm Hataları
- Süreç Kontrolü



El Kitabı Sayı: 2
Küresel Grafitli Dökme Demir
Yazan ve yayına hazırlayan: Dr. Arda Çetin
Eylül 2016

Kapak resmi: GJS500-7
Frank Vincentz
Wikimedia Commons (CC BY-SA 3.0)

Merhaba

El Kitabı'nın bu ikinci sayısının konusu küresel grafitli dökme demir, ya da sanayide yaygın kullanılan adıyla, *sfero*. Her ne kadar bir açıdan artık gelenekselleşmiş bir malzeme gibi değerlendirilse de, küresel grafitli dökme demir sergilediği geniş döküm hataları yelpazesi nedeniyle, dökümhaneleri hâla bazı açılardan zorlayabiliyor. Hata listesinde başı çeken çekinti problemine ek olarak, dross, chunky (bodur) ve patlak grafit gibi problemleri hiç yaşamadığını söyleyen bir dökümhane herhalde yoktur.

El Kitabı projesi, tahmin edilenin üzerinde bir ilgi çekti. İlk sayıya gösterilen bu yoğun ilgi, döküm sektörümüzün kapsamlı bir Türkçe bilgi kaynağına ne kadar ihtiyaç duyduğunu gösteriyor. O nedenle Dökümhane Eğitim Projesi kapsamında ürettiğimiz bu El Kitabı serisini ilerleyen aylarda da yayımlamaya devam edeceğiz. Küresel grafitli dökme demir üzerine hazırlanan bu kapsamlı sayının ardından, son yıllarda ortaya çıkışına tanık olduğumuz ve oldukça etkileyici mekanik özellikler sergileyebilen yüksek silisyumlu özel sfero alaşımlarını bir sonraki sayıda, ayrı bir başlık altında ele alacağız.

Dökümhane Eğitim Projesinin yakın takipçilerinin bildiği gibi, dökümcülük mesleğinin köklü tarihini bu proje kapsamında çeşitli yerlerde sıklıkla vurguluyoruz. Bu sayıda da bu tavrın yansımalarını göreceksiniz: El Kitabı'nda yer alan makaleler, 7000 yıllık bir tarihi olan dökümcülük mesleğinin geçmişini hatırlatan çeşitli sanat eserleriyle süslendi. Umarız bu eserler, bu özel sayıyı okurken aldığınız keyfi daha da arttırabilir.

Türk döküm sektörü için faydalı olması dileğiyle.

Saygılarımla,

Dr. Arda Çetin

İçindekiler

- 06 Küresel grafitli dökme demirin kısa tarihçesi
- 07 Tarihten notlar: Küresel grafit mümkün olabilir mi?
- 08 Keşfin ardındaki tesadüf
- 10 Küresel grafitli dökme demirin başlıca özellikleri
- 11 Küresel grafitli dökme demirin mikroyapısı
- 12 Küresel grafit biçiminin özellikler üzerindeki etkileri
- 15 Mekanik özellikleri etkileyen diğer mikroyapısal etkenler
- 20 Küresel grafitli dökme demirin sınıflandırılması ve alaşım elementlerinin etkileri
- 23 Alaşım elementlerinin etkileri
- 27 Küresel grafitli dökme demirin üretimi
- 29 Ergitme ve ocakta alaşımlama aşaması
- 33 Küreselleştirme işlemi (Mg tretmanı)
- 39 Küreselleştirme işleminin verimi
- 42 Kalan %Mg ile verimin değerlendirilmesi hakkında
- 44 Küresel grafitli dökme demirin aşılması
- 47 Aşılamanın mekanizması
- 48 Küresel grafitli dökme demirde görülen döküm hataları
- 50 Çekinti
- 58 Sferyo parçalarda ezik yüzeyler
- 61 Karbon yüzmesi

İçindekiler

- 63 Bodur (chunky) grafit
- 65 Sivri, iğnemsî (spiky) grafit
- 66 Patlak (exploded) grafit
- 68 Dross
- 70 Parça yüzeyinde lamelleşme
- 72 Küresel grafitli dökme demir üretiminde süreç kontrolü
- 77 Sonuç
- 78 Kaynaklar ve okuma listesi

UÇTAN UÇA ERP ÇÖZÜMLERİ

Yazılım sektöründe 30 yıllık geçmişiyle Türkiye'nin önde gelen döküm firmalarıyla çalışma deneyimi

- ❖ Demir, Çelik ve Alüminyum başta olmak üzere tüm döküm sektörüne yönelik çözümler
- ❖ Döküm operasyonunu takip eden ısıtılma işlemi, talaşlı imalat, kaynak gibi diğer tüm üretim süreçlerinin yönetilmesi
- ❖ Sektörün kullandığı kalite yönetim sistemleriyle tam uyum, belge yönetimi ve üst düzey izlenebilirlik
- ❖ Alışım, yarı-mamul, mamul maliyetlerinin hesaplanması
- ❖ Dipte kalan, kütük, döndü kullanımı, derece takibi, fason işlemler, ortak model yönetimi ve model ömrü gibi sektöre özel birçok konuda çözümler
- ❖ Sektöre özel ilerlemeli ekranlarla stok giriş çıkış, vardiya kayıtlarının operatör düzeyinde sahada gerçekleştirilmesi
- ❖ Üretim ve Lojistik süreçlerinin yönetilmesi ve yürütülmesi için bütünleşik mobil saha yönetimi uygulamaları

İŞİNİZİN

GELECEĞİ



Küresel Grafitli Dökme Demirin Kısa Tarihçesi

Joseph Mallord William Turner: The Interior of a Cannon Foundry (1798). Tate (CC BY-NC-ND 3.0).

El Kitabının bu ikinci sayısının konusu küresel grafitli dökme demir, ya da sanayide yaygın kullanılan adıyla *sfero*. Bir kişinin dökümcülük mesleğine ve dökme demirlere bir şekilde bulaşıp da bu malzemeyi hiç duymamış olması gerçekten mümkün değil. Her ne kadar tarihi çok eskilere dayanan bir malzeme olmasa da, küresel grafitli dökme demir sergilediği üstün özellikler sayesinde hem dökümhanelerin hem de döküm müşterilerinin kısa sürede dikkatini ve ilgisini çekmiş durumda.

Öyle ki, 2016 senesinin yaz ayları itibarıyla ülkemizdeki üretim verilerine baktığımız zaman, küresel grafitli dökme demirin artık gri dökme demire denk bir oranda üretildiğini görebiliyoruz. Muhtemelen yakın bir gelecekte ülkemizdeki *sfero* üretiminin gri dökme demiri geçtiğini görmüş olacağız.

Durum böyle olunca, bu önemli bir malzemenin özel bir sayı kapsamında ele alınması kaçınılmaz bir hale geldi. İsterseniz küresel grafitli dökme demiri bu kadar popüler hale getiren özelliklerine geçmeden önce, kısaca bu malzemenin tarihine bir göz atalım.

Tarihten notlar: Küresel grafit mümkün olabilir mi?

20. Yüzyılın ilk yarısını, özellikle iki büyük dünya savaşına sahne olması nedeniyle, *lamel* grafitli olarak da bilinen gri dökme demir ve temper dökme demir üretiminde önemli gelişmelerin kaydedildiği bir dönem olarak gösterebiliriz. Savaş döneminde ülkelerin silahlanma kapasitesi ve doğal olarak askeri gücü, demir-çelik alanında yaptığı yatırım ve ilerlemelere bağlı olarak gelişiyor. Durum böyle olunca, gri ve temper dökme demirlerin üretim süreçlerinde neden 20. Yüzyılın ilk yarısında önemli ilerlemeler kaydedildiğini anlayabiliyoruz.

Küresel grafitli dökme demirin ortaya çıkışını anlamak için, bu sürece farklı bir açıdan daha bakmamız gerekiyor. Çünkü bu dönemde kaydedilen ilerlemeler sadece dökme demir üretimiyle ilgili değil: Mekanik alanında, özellikle malzemelerin mekanik özelliklerini etkileyen faktörlerin tespiti alanında yapılan çalışmalarda da önemli başarılar elde ediliyor. Örneğin Birinci Dünya Savaşı sırasında İngiltere’de havacılık mühendisi olarak görev yapan A.A. Griffith, malzemelerin içinde bulunan çatlakların, aslında malzemeleri nasıl kırılanlaştırdığı üzerine önemli bir kuram geliştiriyor (Griffith, 1921). Bu önemli keşif ile küresel grafitli dökme demirin icadı arasında bir ilişki olduğunu iddia edebilir miyiz? Tarihsel gelişmeleri yan yana koyduğumuz zaman, aslında iddia edebiliriz gibi görünüyor.

Gri ya da lamel grafitli dökme demirin yapısını biliyoruz: Grafit lahana yaprağını andırır şekilde yapraklı (lamel) bir yapı sergileyerek katılıyor. Bu yaprakların iki boyutlu bir mikroskop fotoğrafında nasıl göründüklerini de biliyoruz: Mikroskop altında sivri uçlara sahip, iğnemi bir yapı görüyoruz. İşte Griffith’in geliştirmiş olduğu kuram sayesinde, o dönemde yaşayan mühendisler, gri dökme demirdeki bu sivri grafit parçacıklarının birer çatlak gibi davranıp malzemeyi zayıflatabileceğini anlayabiliyorlar. Durum böyle olunca, daha güçlü ve daha sünek bir dökme demir için ne yapılması gerektiği de kendiliğinden ortaya çıkıyor: Grafit yapraklarının küreselleşmesi ve sivri uçlarının gitmesi gerekiyor.

Bu noktada isterseniz tarihte biraz geriye gidelim ve sözü 1943 senesinde Amerikan Dökümcüler Derneği’nin (AFS) kongresinde konuşma yapan J.W. Bolton’a verelim:

“

Burada önemi bir soru sormamız lazım: Gri dökme demirdeki grafitin şekli gerçekten kontrol edilebilir mi? Bir düşünün: Dökümle üretilmiş bir gri dökme demir, fakat grafit uzun yapraklar halinde değil, temper dökümde gördüğümüz kürelerin biçiminde...

”

Enteresan değil mi? Bugün artık kanıksadığımız bir malzemeden, yakın bir geçmişte bir hayal gibi bahsedildiğini görmek biraz şaşırtıcı geliyor olabilir. Merak ediyorsanız, Amerikalıların küresel grafitli dökme demir üretimi ve araştırmaları üzerine kurdukları Ductile Iron Society'nin (ductile.org) internet sayfasında bu kelimelerin kaydını siz de görebilirsiniz. Yine aynı sayfada sunulan bilgilere göre, Bolton'un sunumundan beş yıl sonra, yani 1948 yılında düzenlenen AFS kongresinde, bu iddialı hayalin gerçekleştiği, yani küresel grafitli dökme demirin gerçekten de üretildiği İngilizler tarafından duyuruluyor. British Cast Iron Research Association'dan kongreye katılan Henton Morrogh, yaptığı sunumda dökme demir içine az miktarda seryum (Ce) ekleyerek grafit yapraklarını küreselleştirmeyi başardıklarını anlatıyor.

Gelin görün ki, İngilizlerin bu duyuruyu gururla yaptıkları bu sunumdan çok daha önce, Amerikalılar grafit parçacıklarını küreselleştirmenin yolunu zaten bulmuşlardı. Fakat bu önemli keşfi bir kongrede duyurmak yerine, ticari açıdan belki daha akıllıca olanı yaparak patent alma yoluna gitmişlerdi. Yaptıkları patent başvurusu 25 Ekim 1949 tarihinde kabul edildi ve küresel grafitli dökme demir keşfinin altına, International Nickel Company'de görev yapan Keith D. Millis, Albert P. Gegnebin ve Norman B. Pilling'in isimleri yazılmış oldu. Bu patentin bugün pek bir espirisi kalmadı, artık nasıl olsa herkes üretiyor, diye düşünüyor olabilirsiniz. Fakat bu patent başvurusu sayesinde, küresel grafitli dökme demirin icadını sadece Amerikalılar yapmış olarak görünüyor.

Bu bir açıdan çok yanlış bir şey de değil: Görüldüğü üzere Amerikalılar bu keşfi gerçekten de yapmışlar. Ama yaptıkları patent başvurusu sayesinde, birçok dökümcülük kitabına bu önemli malzemenin arkasındaki tek aktörlermiş algısını yaratarak geçmeyi ve Avrupa'dan gelen katkıların göz ardı edilmesini de başarmışlar.

Keşfin ardındaki tesadüf

Tarihte yapılan birçok önemli keşfin ardında çeşitli tesadüflerin yattığını siz de farklı yerlerde okumuş ya da görmüş olabilirsiniz. Yapılan birçok keşif ve bulunan yeni teknolojiler, çoğu zaman araştırmacılar farklı bir arayış içindeyken, belli tesadüflere bağlı olarak ortaya çıkıyor. Çok basit bir örnek verelim: Mesela not almak için kullandığımız Post-It'ler. 1968 senesinde 3M firmasında görev yapan araştırmacı Dr. Spencer Silver çok güçlü bir yapıştırıcı bulmak için çalışırken, denemeleri sırasında tesadüfen çok zayıf bir etkisi olan bir tür yapışkan geliştiriyor. Dr. Silver, tesadüfen yaptığı bu keşfi bir kenara atmak yerine ticari bir fikre dönüştürüyor ve böylece not alıp sağa sola kolayca yapıştırıp çıkarttığımız Post-It'ler ortaya çıkmış oluyor.

Benzer bir durum küresel grafitli dökme demir için de geçerli. Her ne kadar o dönemde grafitleri nasıl küreselleştiririz sorusu sorulmaya başlanmış olsa da, bu keşfin ardında da bazı tesadüfler yatıyor. Belki şaşıracaksınız ama küresel grafitli dökme demir patentinin ardındaki isim, Keith D. Millis, aslında küresel grafit üretmenin peşinde değildi.

1940'lı yıllarda krom tedariğinde yaşanan sıkıntı nedeniyle, aşınma direnci yüksek dökme demir üretebilmek için krom yerine kullanılabileceği alternatif bir elementin arayışındaydı. Yani aslında Millis'in çalışmalarının amacı, magnezyum kullanarak beyaz dökme demir üretmektir.

Evet, bu keşfin ardında da bir tesadüf yatıyor olabilir. Ama yine de Millis'in hakkını vermemiz ve yaptığı çalışmaya gereken takdiri sunmamız lazım. Çünkü magnezyum gerçekten de oksijen ve kükürtü tükettiği için karbür yapısını, yani beyaz dökme demiri ortaya çıkartabilen bir element Ama doğru oranda kullanıldığı zaman da, grafit parçacıklarını küreselleştirebilen bir element.

Magnezyumu doğru bir oranda kullanarak küresel grafitli dökme demir üretimini bir proses haline getirmek, özellikle hiçbir benzer çalışmanın ve kaynağın olmadığı bir dönemde yaşıyorsanız, gerçek anlamda sistemli bir çalışma ve dirayet gerektiriyor. Belki Millis değil de bir başkası olsa bu noktada vazgeçip, *"magnezyum ile beyaz dökme demir üretmek zormuş"* diyerek projeyi sonlandırabilirdi. Ama Millis yaptığı sistemli çalışma sayesinde küresel grafitli dökme demir üretimini mümkün kılacak sürecin şifresini çözmeyi başarmış. Yani her ne kadar sürecin başında bir tesadüf yatsa da, sonrasında yaptığı çalışma ve ortaya koyduğu çaba nedeniyle Millis'in takdiri hak ettiğini söylememiz lazım.

Fernand Cormon: An Iron Foundry (1893)





Küresel Grafitli Dökme Demirin Başlıca Özellikleri

Peder Severin Krøyer: From Fra Burmeister og Wain's Iron Foundry (1885).

Küresel grafitli dökme demir aslında nispeten yeni bir malzeme. Önceki sayfalarda bahsettiğimiz gibi sanayide kullanılmaya başlanması aslında 1950'li yıllardan sonrasına denk geliyor. Fakat her ne kadar nispeten yeni bir malzeme desek de küresel grafitli dökme demir sonuçta özünde bir dökme demir: Yani mikroyapısına baktığımız zaman ferritik ve/veya perlitlik bir matris üzerinde dağılmış grafit parçacıklarından oluşan bir yapı görüyoruz. Bu dökme demiri diğer bilinen dökme demir türlerinden ayıran en önemli fark ise, hepimizin bildiği gibi grafit parçacıklarının küresel bir şekle sahip olması.

Gri dökme demirle birebir aynı perlit/ferrit oranına sahip bir küresel grafitli dökme demirde, sırf bu biçimsel fark yüzünden, yani lamel grafitlerin küreselleşmiş olması nedeniyle, mekanik özellikler ve ısıl özelliklerin önemli sayılabilecek derecede farklılık gösterdiğine tanık oluyoruz. Bu farkların ne ölçüde olduğuna geçmeden önce, bu malzemenin yapısında gördüğümüz fazlara teker teker kısaca bir bakalım.

Küresel grafitli dökme demirin mikroyapısı

Ferrit

Ferrit dediğimiz faz, aslında az miktarda çözünmüş karbon içeren demirden başka bir şey değil. Yani ferriti, basit bir çelik gibi düşünerek de gözümüzde canlandırabiliriz. Ferrit tek başına ele alındığında çok üstün mekanik özellikler sergileyen bir faz değil: Her ne kadar çok kesin bir şey demek zor olsa da, ferrit dediğimiz bu yapıyı tek başına ele alıp mekanik değerlerini ölçtüğümüzde, yaklaşık 280 MPa gibi bir dayanma ve 80 HB gibi bir sertlik değerine sahip olduğunu görüyoruz. Bu nedenle bir dökme demirin ferritik bir yapıya sahip olması, malzemenin nispeten düşük bir dayanım ve sertliğe, fakat yüksek bir süneklığe ve tokluğa sahip olacağını gösteriyor.

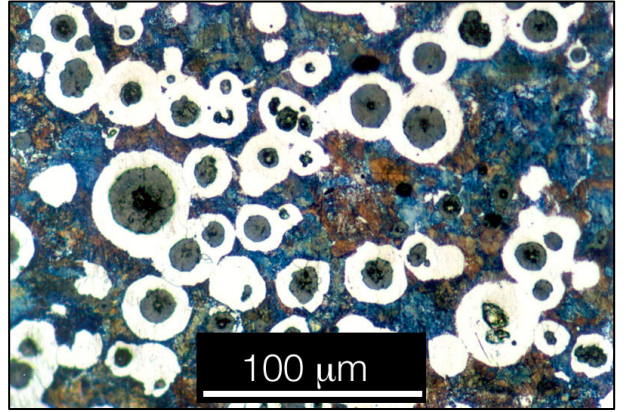
Perlit

Perlit, sementit adı verilen karbür yapısının ve yukarıda bahsettiğimiz ferritin bir karışımı. Perlit yapısı içinde bu iki faz oldukça ince katmanlar halinde sıralanarak ortaya çıkıyorlar. Yani aslında perlitte tek başına bir faz değil de, iki fazın (sementit ve ferrit) katmanlı bir karışımı olarak değerlendirmek daha doğru olur. Perlit içindeki ince karbür katmanları, araya dizilen ince ferrit katmanlarını desteklediği için, bu yapı ferrite kıyasla daha üstün bir dayanım ve sertlik sergiliyor.

Küresel grafitli dökme demire ait tipik bir mikroyapı görüntüsü

Kaynak: DoITPoMS, University of Cambridge
(CC BY-NC-SA 2.0)

Bu mikroyapı fotoğrafında perlit yeşil, ferrit beyaz, grafit küreleri ise siyah renkte görünür.



O nedenle dayanımın yüksek olması istenen durumlarda, dökme demir yapısında bulunan perlit oranının artırılması gerekiyor. Dayanımda meydana gelen bu artışın doğal sonucu olarak, perlitik yapıya sahip dökme demirlerde süneklığın bir miktar azaldığını gözlemliyoruz.

Grafit

Grafit, saf karbon atomlarından meydana gelen bir faz. Dökme demir perspektifinden baktığımızda, grafitin sahip olduğu en önemli özellikler arasında oldukça yüksek bir ısı iletkenliği yanında, düşük bir yoğunluğa sahip olmasını gösterebiliriz.

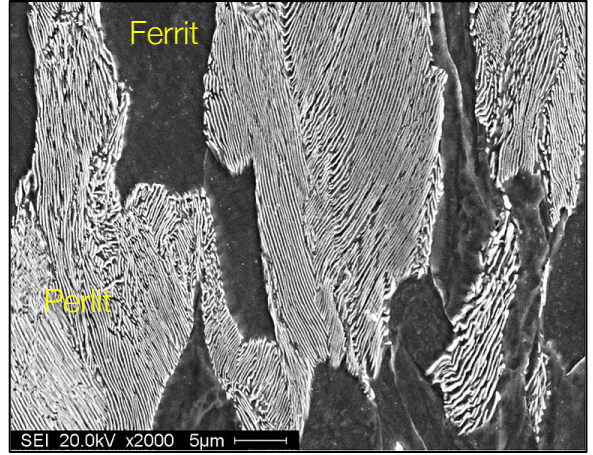
Bu noktada özellikle yoğunluğun düşük olmasını vurgulamamız önemli: Bir grafit parçacığı, aynı ağırlığa sahip saf demire kıyasla dört kat büyük bir hacim sergiliyor. Bu bilgi, özellikle küresel grafitli dökme demirde oluşan ufak çekinti gözeneklerinin giderilmesi açısından büyük önem taşıyor. Katılaşma sırasında oluşan grafit küreleri düşük yoğunlukları nedeniyle bir balon gibi şişip, kendilerini çevreleyen sıvı alaşımı çekinti oluşmaya başlayan konumlara doğru itebiliyorlar. Çekintinin engellenmesinin temel noktalarından biri olan bu konu hakkında ayrıntılı bilgileri, bu sayının ilerleyen sayfalarında bulabilirsiniz.

Karbür

Karbür dediğimiz yapı, demir ve karbon atomlarının oluşturduğu bir bileşik (Fe_3C). Sementit adıyla da bilinen bu faz, oldukça sert ve kırılgan bir doğaya sahip. Bu yüzden malzemenin yapısında bulunması bir yandan malzemeyi kırılganlaştırırken, aynı zamanda işleme açısından da zorluk yaratıyor. Karbür yapısının oluşması için karbon atomlarının grafit halinde ayrışmalarını engellemek gerekiyor. Bunun için de ya alaşımda karbür yapıcı elementlerin olması (krom ve vanadyum gibi), ya da soğuma hızının yüksek olması gerekiyor. Karbürleri dökme demirin yapısında görmeyi genellikle pek istemediğimiz için, grafitin katılaşma sırasında ayrışmasını kolaylaştırmak amacıyla aşılama adını verdiğimiz bir işlem uyguluyor ve böylece karbür oluşumunu engelleyebiliyoruz. Aşılama konusuna ilerleyen sayfalarda geri döneceğiz.

Katmanlı perlit yapısının görüntüsü

Kaynak: Wikimedia Commons



Küresel grafit biçiminin özellikler üzerindeki etkileri

Dökme demirlerin yapısında ortaya çıkan temel fazlara baktığımız zaman, aslında gri dökme demir ve küresel grafitli dökme demir arasında bir fark olmadığını görüyoruz: Her iki malzeme de ferritik ve/veya perlitik bir matris üzerinde dağılmış grafit parçacıklarından oluşuyor. Fakat ısı ve mekanik özelliklere baktığımız zaman, bu iki malzeme arasında önemli diyebileceğimiz oranda farklılıklar meydana geldiğini gözlemleyebiliyoruz.

Tahmin edebileceğiniz üzere, iki malzeme arasında bu farkı yaratan temel etken grafitin biçimi: Yani gri dökme demirde yapraksı, (lamel) yapıda oluşan grafitin, küresel grafitli dökme demirde küreselleşmiş olması. Gelin şimdi bir de bu basit farkın, dökme demirin temel özelliklerini nasıl etkilediğine bakalım.

Çekme dayanımı

Grafit yapısının mekanik özellikleri ne derece etkilediğini göstermek için, şu basit bilgi muhtemelen aydınlatıcı olacaktır: Gri dökme demirin sergileyebildiği en yüksek çekme dayanımı, küresel grafitli dökme demirde gördüğümüz en düşük çekme dayanımına denk geliyor. Yani sünekliliği en yüksek, dolayısıyla da dayanımı en düşük küresel grafitli dökme demir 400 MPa gibi bir çekme dayanımı sergilerken, bu değer lamel grafit yapısına sahip gri dökme demir için az çok bir üst limit olarak kabul ediliyor. Küresel grafitli dökme demirin çekme dayanımı, uygun üretim parametreleriyle 900 MPa ve üzerine çıkartılabiliyor. Aradaki fark oldukça dikkat çekici.

Akma dayanımı

İki dökme demir arasındaki farkı akma dayanımı değerlerinde de görüyoruz. Gri dökme demirde aslında gerçek anlamda bir akma dayanımından bahsedemiyoruz. Fakat 400 MPa çekme dayanımı sergileyen bir küresel grafitli dökme demirde, akma dayanımının 250 MPa gibi bir değere geldiğini görüyoruz. Yani çoğu dökümhanede dökülen ve çekme dayanımı 250 MPa olan EN-GJL-250 gibi bir dökme demirin sergilediği bu çekme dayanımı, zayıf olarak nitelendirebileceğimiz bir küresel grafitli dökme demirde (örneğin EN-GJS-400 gibi), akma dayanımına tekabül ediyor. Bu standart gösterimlerden ilerleyen sayfalarda ayrıntılı olarak bahsedeceğiz.

Uzama

Küresel grafitli dökme demir, uzama değerleri açısından da gri dökme demire kıyasla üstün özellikler sergiliyor. Örneğin düşük dayanıma, dolayısıyla da yüksek sünekliliğe sahip EN-GJS-400-18 gibi bir küresel grafitli dökme demirin uzama değerleri %18'den başlayıp, %30'a kadar çıkabiliyor. Gri dökme demirde bulunan yapraksı grafitin sivri uçları malzemenin sünekliliğini olumsuz etkilediği için, böyle yüksek uzama değerlerini gri dökme demirde göremiyoruz. Küresel grafitli dökme demirin dayanımı arttıkça, doğal olarak uzama değerleri düşüyor. Fakat bu malzemenin sunduğu özellikleri doğru bir şekilde manipüle edebildiğimiz zaman, malzemenin 600 MPa gibi yüksek bir dayanımı sergilerken, uzamasının da %10'un üzerinde olması sağlayabiliyoruz (örneğin EN-GJS-600-10 gibi). Bu özel küresel grafitli dökme demir alaşımlarını, El Kitabı'nın bir sonraki sayısında ele alacağız.

Sertlik

Bir malzemenin sertliği genellikle çekme dayanımıyla orantılı olarak artıyor. Dolayısıyla, daha yüksek çekme dayanımı sergileyen küresel grafitli dökme demirlerin, gri dökme demirlere kıyasla bir miktar daha sert olduklarını basit bir akıl yürütme ile anlayabiliyoruz. Sertlik değerlerinin esas olarak karbürlerin varlığından önemli şekilde etkilendiğini ve bu nedenle sertliği arttırmak için yapıdaki perlit oranını ve/veya karbür miktarını arttırmamız gerektiğini de parantez içinde belirtelim.

Darbe dayanımı

Küresel grafitli dökme demir, darbe dayanımı açısından da gri dökme demire kıyasla üstün özellikler sergiliyor. Gri dökme demirde bulunan yapraksı grafit parçacıklarının sivri uçları, gerinimi yoğunlaştırarak yapıda çatlakların oluşmasını kolaylaştırdıkları için, gri dökme demirin darbe dayanımı ister istemez küresel grafitli dökme demire kıyasla daha düşük oluyor. Matris yapısı perspektifinden baktığımız zaman ise, ferritin yumuşak ve sünek bir faz olması sebebiyle tokluğu arttırdığını görüyoruz. Bu nedenle en yüksek darbe dayanımına sahip dökme demirlerin, tamamen ferritik yapıya sahip küresel grafitli dökme demirler olduğunu gözlemliyoruz.

Isı iletimi

Yukarıda saydığımız özelliklerden farklı olarak, ısı iletimi konusunda gri dökme demirin daha iyi bir performans sergilediğini görüyoruz. Bunun sebebi, ısı iletimini arttıran grafit fazının, gri dökme demir içinde geniş yüzey alanı sergileyen yaprak biçiminde ortaya çıkıyor olması. Küre biçimindeki grafit parçacıklarında birim hacim başına düşen yüzey alanı daha düşük olduğu için, küresel grafit ısı iletimi açısından daha düşük bir performansla yol açıyor. Bu yüksek ısı iletimi becerisi nedeniyle, fren diski gibi ısı iletiminin önemli olduğu uygulamalarda gri dökme demirin tercih edildiğini görüyoruz.

Mekanik özellikleri etkileyen diğer mikroyapısal etkenler

Matris yapısı

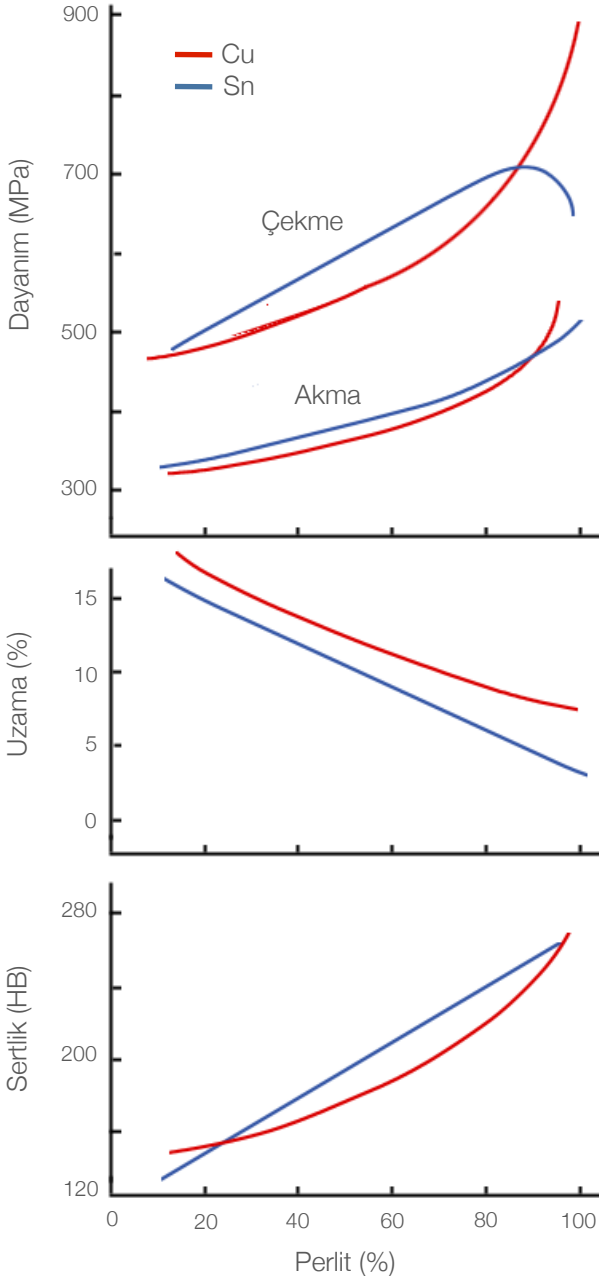
Dökümhanelerde dökülen çoğu küresel grafitli dökme demirin matris yapısı ferrit ve perlitten oluşuyor. Bazı özel dökme demir türlerinde yapıda östenit ya da martensit gibi farklı fazların da olduğunu görebiliyoruz. Fakat bu özel durumları şimdilik göz ardı edip, yapıda bulunan ferrit ve perlitin etkileri üzerinde duralım.

Önceki sayfalarda ferrit ve perlitin yapıları üzerinde durmuştuk. Hatırlarsanız ferrit daha yumuşak, dolayısıyla dayanımı düşük ama sünekliği yüksek bir yapı sergiliyor demiştik. Perlit ise malzemenin dayanımını arttırdığı için, sünekliğin belli bir derece azalmasına yol açıyor. Küresel grafitli bir dökme demir parçanın sergileyeceği mekanik özellikler önemli ölçüde yapıda bulunan ferrit ve perlit miktarlarına bağlı. Diğer bir deyişle, malzemenin yapısında bulunan ferrit ve perlit miktarlarıyla oynarak, dökülen parçanın sergileyeceği dayanım ve süneklik değerlerini istediğimiz şekilde ayarlama şansı bulabiliyoruz.

Perlit yüzdesinin mekanik özellikler üzerindeki etkisi, bir sonraki sayfadaki grafik üzerinde gösteriliyor. Bu grafiğe dikkat ederseniz, bakır eklenerek üretilen perlitik dökme demirlerde perlit oranı %100'e geldiğinde dayanımın hızlı bir artış gösterdiği göze çarpıyor. Bunun nedeni, malzeme tamamen perlitik yapı sergilemesine rağmen

Perlit yüzdesinin mekanik özelliklere etkisi

Kaynak: Ductile iron data for design engineers
(1998) Ductile.org



daha da fazla bakır eklediğimiz zaman, eklenen bu fazla bakırın, katı çözelti sertleşmesi (*solid solution strengthening*) sayesinde malzemeyi daha da güçlendiriyor olması. Tamamıyla perlitik yapı sergileyen bir dökme demire daha fazla kalay (Sn) eklediğimizde ise bunun tersi bir etki görüyoruz. Çünkü yüksek miktarda eklenen kalay, grafit şeklinde bozulmalara (lamelleşmeye) yol açıyor. Bunun doğal sonucu olarak, kalay miktarının yüksek olduğu durumlarda dayanımın bir noktadan sonra tekrar düştüğünü görmeye başlıyoruz.

Küresellik derecesi

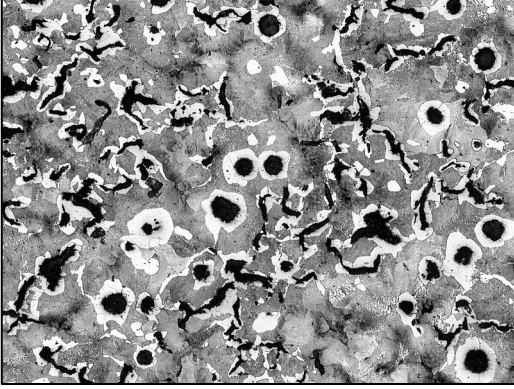
Küresellik ifadesinin zaman zaman küre sayısı ile karıştırıldığını görebiliyoruz. Küre sayısından farklı olarak “küresellik” dediğimiz zaman, grafit parçacıklarının küre biçimine ne oranda yaklaşıklarını kastediyoruz. Yani grafit parçacıkları mikroskop altında kusursuz kürelerden alınmış kesitler halinde görünüyorsa, o zaman küreselliğin yüksek olduğunu söylüyoruz. Eğer parçacıkların biçiminde az da olsa çarpılma ve bozulma varsa ve kusursuz birer küre olarak görünmüyorsa, bu durumu düşük bir küresellik olarak ifade ediyoruz.

Küresellik derecesi, küresel grafitli dökme demirlerin mekanik özelliklerini önemli derecede etkiliyor. Grafit parçacıklarının şekli kusursuz küre formundan uzaklaştıkça, küre yapısının ortaya çıkardığı yüksek dayanıma ek olarak, yüksek uzama değerlerinin de düşmeye başladığını gözlemliyoruz.

Düşük küreselliğe sahip bir mikroyapı

Kaynak: Wikimedia Commons (CC BY-SA 3.0)

Küreselliğin çok düşük olduğu durumlarda, vermiküler grafitli dökme demir adını verdiğimiz yapıyı elde edebiliyoruz.



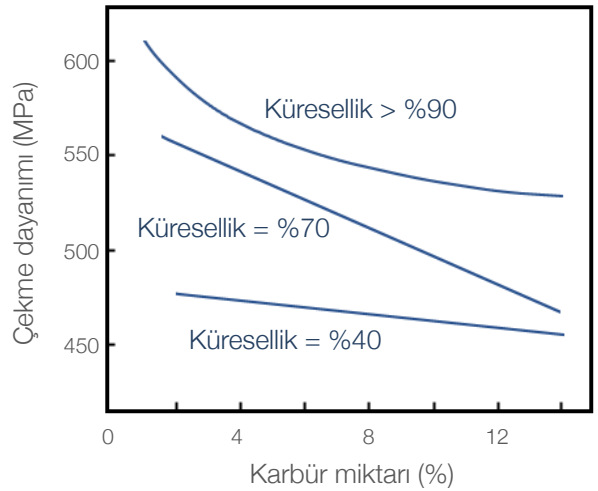
Bu noktada küresellik derecesinin neden azaldığı sorusu üzerinde düşünmemiz de faydalı olabilir. Bir dökme demir eriyiğini küresel grafit yapısı ortaya çıkartacak şekilde katılaştırabilmek için, dökümden önce magnezyumla bir işlem (Mg tretmanı) geçirmemiz gerektiğini biliyoruz. Magnezyum, düşük buharlaşma sıcaklığı ve yüksek buhar basıncı sayesinde dökme demir içinde hızlıca yayılıp hem kükürt, hem de oksijen seviyesini aşağı çekiyor. Böylece grafit parçacıklarının küreselleşmesi sağlanmış oluyor (ayrıntılarını ilerleyen sayfalarda ele alacağız).

Fakat magnezyumun bu kadar kolay buharlaşıyor olması nedeniyle, işlem sonu uzun bir süre beklenilmesi, bu etkinin yavaş yavaş kaybolmasına yol açıyor. Bunun doğal sonucu olarak grafit parçacıkları her ne kadar başta tam bir küre biçimini almış olsalar da, zamanla bu etki geçiyor ve küresellik derecesi düşmeye başlıyor.

Küresellik derecesinin düşük olmasının bir başka nedeni de, küreselleştirme işlemi sırasında sıvı içine verilen magnezyum miktarının yetersiz olması. Eğer bu işlemde tam küre şeklini elde edebileceğimiz oranda Mg kullanılmamışsa, yine küresellik derecesinin düştüğünü gözlemliyoruz. El Kitabı'nın bir önceki sayısında ele aldığımız vermiküler grafitli dökme demiri, yetersiz magnezyum kullanımı nedeniyle oldukça ciddi bir küresellik kaybına uğramış küresel grafitli dökme demir olarak da değerlendirebiliriz (yandaki fotoğraf).

Perlitik bir yapıda küresellik ve karbür miktarının çekme dayanımına etkisi

Kaynak: Ductile iron data for design engineers (1998) Ductile.org



Küresellik derecesinin düşmesi, kesinlikle hafife alınmaması gereken bir konu. Küresellik derecesinde hafif bir düşüş olması bile, mekanik özellikleri dikkat çekici oranda kötüleştirebiliyor. Örneğin yukarıdaki grafikte küreselliğin etkisi, karbür miktarının etkisi ile

birlikte veriyor. Dikkat ederseniz karbür miktarının %0 olduğu durumda, küreselliğin %90 seviyesinden %70 seviyesine gerilemesi, çekme dayanımında 50 MPa civarında bir düşüşe yol açıyor. İşin içine bir de karbürlerin varlığı girdiği zaman durum iyice kötüleşiyor ama bu basit gösterim, küresellikteki ufak bir düşüşün çekme dayanımını ne kadar olumsuz etkilediğini görmek açısından enteresan bir perspektif sunuyor. O nedenle istenilen mekanik değerleri tutturmakta zorluk çeken dökümhanelerin, küresellik derecesini daha ciddi bir şekilde ele almaları ve görüntülü analiz yazılımları kullanarak bu veriyi daha titiz bir şekilde değerlendirmeleri önerilebilir.

Küre sayısı

Küreselliğe ek olarak, küre sayısı da dökme demirin özelliklerini etkileyen önemli parametrelerden bir tanesi olarak kaşıma çıkıyor. Küre sayısı (bazı kaynaklarda *nodül sayısı* olarak geçtiğini de görebilirsiniz) genellikle 1 mm²'lik bir alana düşen küre adeti üzerinden değerlendirilir. Örneğin 300 küre/mm² tarzı bir ifade, 1 mm² alan içinde 300 küre olması gerektiğini ifade eder. Tabii burada dikkat etmemiz gereken bir nokta var: Kürenin tanımı gereği üç boyutlu olması gerekiyor. Fakat biz küre sayısını tanımlarken 1 mm²'lik bir alanı, yani 2 boyutlu bir büyüklüğü ele alıyoruz. Herhangi bir kafa karışıklığı olmaması açısından açıklamakta fayda olabilir: Biz burada küre derken, metalografik bir yüzeyde gördüğümüz kürelerin iki boyutlu kesitlerinden bahsediyoruz.

Küre sayısının değişmesi neden önemli? Çünkü küre sayısının değişmesi, dökme demirin mikroyapısını ve doğal olarak çeşitli özelliklerini etkiliyor. Örneğin küre sayısının artması demek, her şeyden önce mikroyapının incelmesi ve homojenleşmesi demek. O nedenle küre sayısının artması durumunda, alaşımda eser miktarda da olsa bulunan bazı zararlı elementler de homojen bir şekilde dağılıyor ve bu elementlerin belli konumlarda birikmeleri ve istenmeyen fazları ya da yapısal problemleri ortaya çıkarmaları engelleniyor.

Küre sayısının mekanik özellikler üzerindeki etkisini anlamak için biraz geride durup büyük resme bakmamız gerekiyor. Çünkü küre sayısının artması, mekanik özellikler üzerinde birbiriyle çelişen etkiler yaratabiliyor. Örneğin küre sayısının artması, tek başına ele alındığında çekme dayanımını arttıran bir etki ortaya çıkarıyor: Kürelerin sayısı artınca kürelerin boyutları küçülüyor ve bu incelme etkisi malzemenin güçlenmesine yol açıyor. Fakat diğer yandan küre sayısı artınca, perlit oranının düştüğünü görüyoruz. Perlitin azalması nedeniyle malzeme dayanımını bir miktar kaybederken, sünekliğini artırıyor.

Küre sayısının mekanik özellikler üzerinde yarattığı etkiler sadece bu çelişen iki durumdan ibaret değil: Küre sayısı arttıkça yapının homojenleşmesi neticesinde, karbür oluşma riskinin de azaldığını görüyoruz. Bu da doğal olarak malzemenin hem çekme dayanımını, hem sünekliğini, hem de işlenebilirliğini artırıyor.

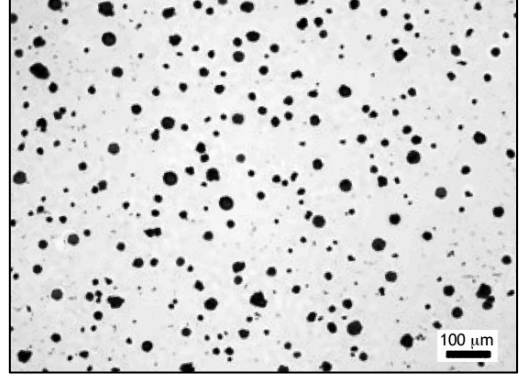
Ayrıca teknik literatürde sunulan verilere göre, küre sayısının düşük olduğu durumlarda çoğu zaman küresellik de düşük değerlerde seyrediyor. Bu da, mekanik özellikleri olumsuz yönde etkileyen bir diğer etken olarak karşımıza çıkıyor.

Küre sayısı nasıl artar diye baktığımız zaman, ilk önemli etkenlerden bir tanesi olarak karbon eşdeğerini görüyoruz. Genel olarak dökme demirin karbon eşdeğeri arttığı zaman, karbonun grafit olarak ayrışması kolaylaştığı için, küre sayısında bir artış meydana geliyor. Soğuma hızının yüksek olması da küre sayısını arttıran etkenlerden bir diğeri. Bu nedenle döküm bir parçadaki ince kesitlerde küre sayısının parça ortalamasına göre daha yüksek olduğunu görüyoruz.

Bir diğer ele almamız gereken etken ise, doğal olarak kullanılan aşılama seçimi. Farklı aşılama malzemeler dökme demir yapısında gördüğümüz küre sayısını farklı biçimlerde etkileyebiliyorlar. Bu konunun ayrıntılarını daha sonra ele alacağız, fakat şimdilik küre sayısının kullanılan aşılama türüne bağlı olarak değişiklik gösterdiğini belirtmekle yetinelim.

Geniş bir küre boyu dağılımı

Kürelerin boy dağılımının genişlemesi, küçük ve büyük kürelerin bir arada yer aldığını gösteriyor.



Kürelerin boy dağılımı

Küresellik ve küre sayısından farklı olarak, bir de kürelerin boy dağılımı üzerinde durmamız lazım. Boy dağılımından kastettiğimiz şey şu: Mikroskop altında grafit kürelerini incelediğimiz zaman, kürelerin hepsi hemen hemen benzer bir boyuta sahip olarak mı görünüyor, yoksa bazı küreler küçük, bazılarıysa büyük olacak şekilde farklı boyutta küreler mi görüyoruz?

Eğer tüm küreler benzer bir büyüklükte görünüyorsa, bu bizim pek istediğimiz bir durum değil. Mikroyapıyı incelediğimiz zaman hem küçük, hem de büyük kürelerin bir arada bulunduğu bir durumu tercih ediyoruz. Bunun nedeni mekanik özelliklere olan etkidenden ziyade, çekintinin giderilmesiyle ilgili bir durum. Grafitin farklı büyüklüklerde ortaya çıkmış olması, katılaşmanın son evresine kadar grafitin çekirdeklenmeye devam ettiğini gösteriyor. Dökülen parçada oluşan

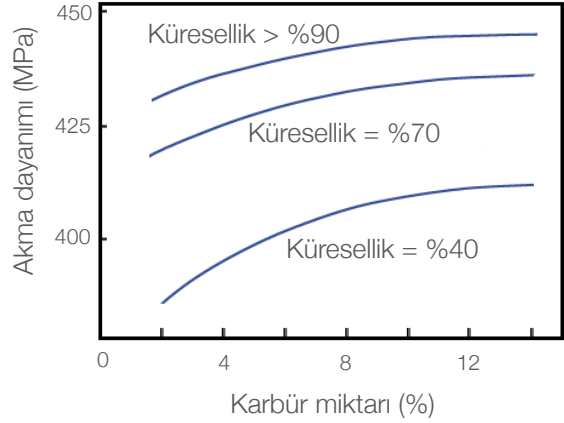
mikroçekinti gözeneklerini gidermek için, grafitin katılma süresi boyunca mümkün olduğunca uzun bir süre boyunca çekirdeklenmeye devam etmesini tercih ediyoruz. Bu konunun ayrıntılarını ilerleyen sayfalarda ele alacağız.

Yapıdaki karbür miktarı

Küresel grafitli dökme demirin mekanik özellikleri üzerinde oynamanın bir diğer yolu da, yapıda bulunan karbür miktarını değiştirmek. Karbür yapıcı elementler kullanarak malzemenin hem akma dayancını, hem de çekme dayancını değiştirebiliyoruz. Fakat karbürlerin varlığı bu iki dayanım değerini farklı şekillerde etkiliyor: Yapıdaki karbür miktarı arttıkça akma dayanımının arttığını görüyoruz. Fakat çekme dayanımı ters yönde bir eğilim göstererek azalmaya başlıyor. Yapıdaki karbür miktarının artması durumunda çekme dayanımının nasıl düştüğünü birkaç sayfa önce, *küresellik derecesi* başlığı altında ele almıştık. Karbür miktarının akma dayanımı üzerindeki kuvvetlendirici etkisini ise yandaki grafik üzerinde inceleyebilirsiniz. Dikkat ederseniz, yapıda karbürlerin bulunması özellikle küreselliğin nispeten düşük olduğu durumlarda akma dayanımının ciddi bir artış sergilemesine yol açıyor. Çekme dayanımında ise her açıdan tam ters bir etki gözlemliyoruz: Yani karbürlerin varlığı, özellikle küreselliğin yüksek olduğu durumlarda çekme dayanımını ciddi bir şekilde aşağı çekiyor. Karbürlerin akma ve çekme dayanımları üzerindeki bu tezat etkisini doğru bir şekilde anlamamız, mekanik özellikler üzerinde düşünürken doğru değerlendirmeleri yapabilmemiz açısından büyük önem taşıyor.

Perlitik bir yapıda küresellik ve karbür miktarının akma dayanımına etkisi

Kaynak: Ductile iron data for design engineers (1998) Ductile.org



Karbürlerin varlığını sadece dayanım perspektifinden değerlendirmek doğru olmaz elbette. Oldukça sert ve kırılgan bir yapıya sahip olan bu karbür parçacıkları, malzemenin sünekliğini olumsuz bir şekilde etkileyerek malzemenin kırılganlaşmasına yol açıyorlar. Ayrıca sert yapıları nedeniyle, malzemenin işlenebilirliği üzerinde de olumsuz bir etkileri olduğunu belirtmemiz lazım.



Küresel Grafitli Dökme Demirin Sınıflandırılması ve Alaşım Elementlerinin Etkileri

1920'li yıllarda Derby (İngiltere) dökümhanelerinden bir görüntü / Daily Mail

Küresel grafitli dökme demir üzerine şu ana kadar anlattıklarımız, herhalde bu malzemenin ne kadar geniş bir yelpazede özellikler sergileyebildiği konusunda fikir verebilmiştir. Bu malzeme bir yanda %25'e varan uzama değerleri sergileyecek şekilde tasarlanıp üretilebilirken, diğer yanda 1000 MPa mertebesinde dayanım değerleri sergileyecek şekilde de üretilebiliyor. Üstelik ya uzama ya da dayanım şeklinde bir tercih yapmak zorunda da değiliz: Son dönemde geliştirilen EN-GJS-600-10 gibi özel alaşımlar, bu malzemenin hem yüksek bir dayanıma, hem de sünekliğe sahip olabileceğini gösteriyor.

Küresel grafitli dökme demir bu kadar geniş aralıkta değişebilen özellikler sergileyince, sınıflandırılması da bir o kadar önemli bir hale geliyor.

Küresel grafitli dökme demirler EN-1563 standardı uyarınca sergiledikleri mikroyapı özellikleri ve mekanik özellikler dikkate alınarak sınıflandırılıyorlar. Bu standart uyarınca tanımlanan küresel grafitli dökme demir sınıfları ve beklenen minimum dayanım ve uzama değerleri, bir sonraki sayfada yer alan tablo üzerinde görülebilir.

Tablo: EN-1563 standardı uyarınca küresel grafitli dökme demir sınıfları ve sağlanması gereken minimum dayanım ve uzama değerleri.

Gösterim	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	Uzama (%)
EN-GJS-350-22-LT	350	220	22
EN-GJS-350-22-RT	350	220	22
EN-GJS-350-22	350	220	22
EN-GJS-400-18-LT	400	240	18
EN-GJS-400-18-LT	400	250	18
EN-GJS-400-18	400	250	18
EN-GJS-400-15	400	250	15
EN-GJS-450-10	450	310	10
EN-GJS-500-7	500	320	7
EN-GJS-600-3	600	370	3
EN-GJS-700-2	700	420	2
EN-GJS-800-2	800	480	2
EN-GJS-900-2	900	600	2

Bu tabloda sunulan verilere dair birkaç noktayı açıklığa kavuşturmakta fayda var. Öncelikle LT ve RT ifadeleriyle başlayalım. LT düşük sıcaklıkta (*Low Temperature*) yapılan test sonuçlarını, RT ise oda sıcaklığında (*Room Temperature*) yapılan test sonuçlarını temsil ediyor. Mekanik özellikleri tespit etmek

için dökülen parçalar nasıl üretilmiş olursa olsun, test numunelerinin aynı kum kalıba ya da benzer ısıl yayılım (*thermal diffusivity*) özellikleri sergileyen bir kum kalıba ayrı bir şekilde dökülmeleri gerekiyor.

Tablo: EN-1563 standardı uyarınca küresel grafitli dökme demirlerin sertlik değerlerine göre sınıflandırılması ve denk gelen dayanım değerleri.

Gösterim	Sertlik Aralığı (HB)	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)
EN-GJS-HB 130	< 160	350	220
EN-GJS-HB 150	130 – 175	400	250
EN-GJS-HB 155	135 – 180	400	250
EN-GJS-HB 185	160 – 210	450	310
EN-GJS-HB 200	170 – 230	500	320
EN-GJS-HB 230	190 – 270	600	370
EN-GJS-HB 265	225 – 350	700	420
EN-GJS-HB 300	245 – 335	800	480
EN-GJS-HB 330	270 – 360	900	600

Küresel grafitli dökme demirleri sertlik değerlerine göre de sınıflandırmaya tabi tutabiliyoruz. Yukarıdaki tabloda sertlik değerlerine göre küresel grafitli dökme demirlerin nasıl sınıflandırıldıklarını, denk gelen akma ve çekme dayanımı değerleriyle birlikte görebilirsiniz. Bu tabloda verilen EN-GJS-HB 300 ve EN-GJS-HB 330 sınıfı dökme demirlerin, kalın kesitlere sahip parçalar için önerilmediklerini son bir not olarak burada belirtelim.

Alaşım elementlerinin etkileri

Yukarıda verilen mekanik özellikleri elde etmek için kompozisyonun tam olarak nasıl ayarlanması gerektiği konusunda net bir bilgi vermemiz zor. Çünkü bu konu, her dökümhanenin üretim alışkanlıkları, kendi koşulları ve döküttüğü parçalar çerçevesinde şekilleniyor. Üretim ile ilgili bu konuları şimdilik ilerleyen sayfalara bırakalım ve yukarıda verilen mekanik özellikleri elde etmek için hangi elementleri kullanmamız gerektiği konusunda fikir edinmek için, bazı temel alaşım elementlerinin etkilerine bakalım.

Dökme demirdeki başlıca alaşım elementleri arasında, dikkate almamız gereken en önemli element doğal olarak karbon (C): Grafitin temel taşı olan karbonun alaşımda yüksek oranda bulunması, sıvının akışkanlığını, dolayısıyla da malzemenin dökülebilirliğini olumlu yönde etkiliyor. Yüksek karbon, doğru aşılama pratiği ile birleştiği zaman, yapıda bulunan küre sayısının artmasına da yol açıyor. Küre sayısının artması bir yandan karbür oluşumunu engellerken, diğer yandan matris içindeki karbonu tüketerek perlit miktarını azaltıyor, ferrit oranını ise artırıyor.

Benzer şekilde ferrit oluşumuna yol açan bir diğer temel alaşım elementi de silisyum (Si). Silisyum, grafit yapıcı özelliği sayesinde grafitin ayrışmasına destek veriyor ve ötektik katılaşma sırasında gözlenen aşırı soğuma (ΔT) miktarını düşürüyor. Grafit oluşumunu

desteklediği için, matristeki karbon miktarının azalmasını ve dolayısıyla da ferritik bir yapı elde edilmesini sağlıyor. Bu ferrit yapıcı etkisi nedeniyle EN-GJS-600-10 gibi yüksek miktarda Si içeren özel sfero alaşımlarında tamamen ferritik bir yapı oluştuğunu görüyoruz.

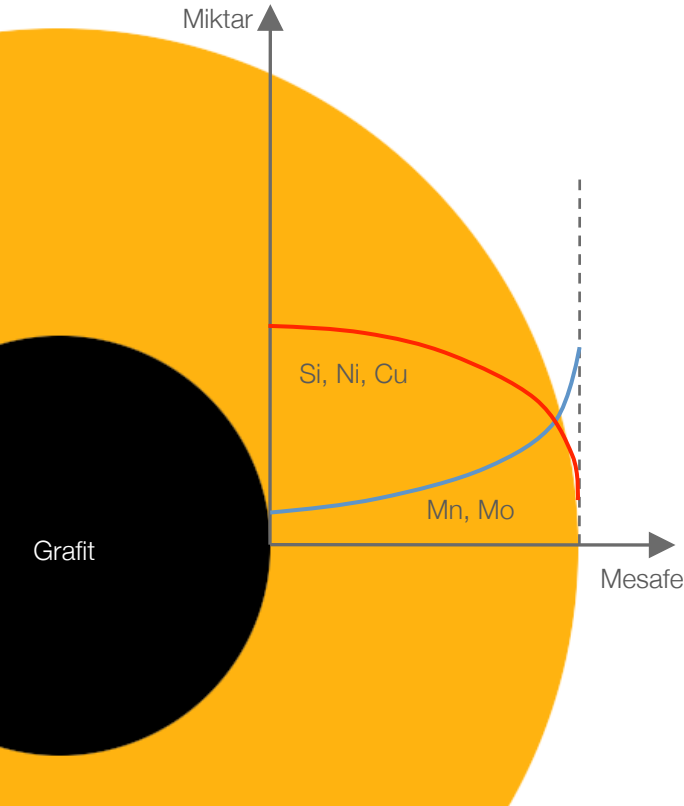
Eğer yapıda perlit oluşmasını istiyorsak, o zaman dikkate almamız gereken elementlerin başında bakır (Cu) geliyor. Genellikle %1 oranında bakır eklenmesi, küresel grafitli dökme demirin tamamıyla perlitik bir yapı sergilemesi için yeterli geliyor. Bu tutarlı etkisi nedeniyle perlitik yapı elde etmek için dökümhanelerde genellikle bakırın tercih edildiğini görüyoruz. Benzer bir amaçla kullanılabilen bir diğer element ise kalay (Sn). Kalay, bakıra kıyasla çok daha kuvvetli bir perlit yapıcı etkiye sahip. O nedenle çok daha düşük oranlarda kullanılması gerekiyor. Genellikle %0,1 – %0,15 oranında eklenen kalay, yapıyı tamamen perlite dönüştürmek için yeterli geliyor. Fakat kalayla ilgili olarak dikkat edilmesi gereken bir nokta var: Bu elementin gereğinden fazla kullanılması, lamelleşmeye yol açabiliyor. Çok düşük miktarda bile ciddi etkiler ortaya çıkarması nedeniyle, kalay miktarının mutlaka hassas bir şekilde kontrol edilebiliyor olması gerekiyor. Kalayın bu zorlayıcı yönleri nedeniyle, dökümhanelerin perlit oluşturmak için genellikle bakırı tercih ettiklerini görüyoruz.

Nikel (Ni), östenit yapıcı bir element olması nedeniyle genellikle östenitik dökme demirlerin üretiminde kullanılıyor. Her ne kadar perlit yapıcı bir element olarak değerlendirilmesine de, düşük oranlarda kullanıldığında perlit oluşumunu destekliyor ve perlit yapısının incelmelerini sağlıyor. Böylece matris yapısının tokluğunu arttırdığı gibi, parçanın farklı kesitleri arasında bulunan sertlik farklarının giderilmesini de sağlayabiliyor.

Mangan (Mn), perlitik yapı oluşumunu destekleyen elementlerden bir diğeri. Fakat yapıda karbür oluşması durumunda, bu karbürlerin yapısına da eklenebiliyor. Benzer bir etkiye sahip bir diğeri element ise molibden (Mo). Perlit oluşumunu destekleyen molibdeni, yüksek segregasyon eğilimi nedeniyle çoğunlukla düşük oranlarda ve bakır ve nikelde birlikte ekliyoruz. Yüksek oranda molibden eklenen alaşımlarda, tane arası bölgelerde karbür oluştuğunu görebiliyoruz.

Bazı alaşım elementlerinin mikrosegregasyon eğilimleri

Kaynak: Pietrowski et al. (2012)



Bu segregasyon eğilimi ve karbür oluşma meselesini biraz daha açmamızda fayda olabilir. Yandaki resim üzerinde çeşitli alaşım elementlerinin nasıl bir segregasyon (birikme) eğilimi sergilediklerini görebilirsiniz. Dikkat ederseniz hem mangan, hem de molibden, grafit küresinden uzaklaştıkça miktarları artacak şekilde bir birikme eğilimi gösteriyorlar. İşte sergiledikleri bu eğilim nedeniyle tane aralarında birikip karbür oluşumuna yol açabiliyorlar. Bu segregasyon konusuna birazdan tekrar döneceğiz.

Karbür yapıcı elementler dediğimiz zaman, muhtemelen çoğu kişinin aklına ilk olarak krom (Cr) geliyordur. Oldukça kuvvetli bir karbür yapıcı olan krom, karbür (çil) oluşumunu destekleyerek malzemenin hem çekme dayanımının, hem sünekliğinin, hem de işlenebilirliğinin azalmasına yol açıyor. Vanadyumu da (V) benzer şekilde karbür oluşumunu destekleyen bir element olarak gösterebiliriz. Titanyum da (Ti) bu kapsamda ele almamız gereken bir diğeri karbür yapıcı element. Fakat titanyumu düşük miktarlarda kullandığımız zaman, küresel grafit parçacık-

larını vermiküler yapıya dönüştürebiliyoruz. Bu özelliği nedeniyle titanyumun özellikle ince kesitli vermiküler döküm parçalarda kullanıldığını görebilirsiniz.

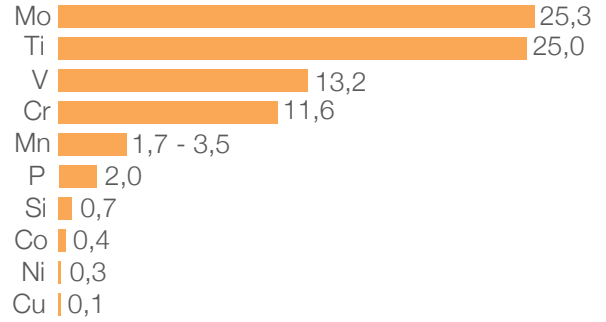
Küresel grafitli dökme demir hakkında yazarken, magnezyumdan (Mg) bahsetmemek olmaz elbette. Küreselleştirme amacıyla kullanılan en yaygın element olan magnezyum, küreselleştirme işlemi sonrasında işlemin verimi ve alaşımda bulunan kükürt miktarına bağlı olarak yapıda %0,035 – %0,055 civarında kalıyor. Türkiye’de her ne kadar pek örneği görülmesine de, küreselleştirme amacıyla seryum (Ce), tellür (Te) ve itriyum (Y) elementleri de kullanılabilir. Magnezyum sıvıdaki oksijen ve kükürtü bağladığı için, gereğinden fazla kullanılması durumunda aşının etkinliğini düşürüyor. Çünkü aşının çalışabilmesi için, sıvı içinde mutlaka belli bir miktar kükürt ve oksijen bulunması gerekiyor. Oksijen ve kükürtün düşük olması sıvının yüzey gerilimini, dolayısıyla da akma özelliğini (viskozite) arttırdığı için, yüksek oranda magnezyum kullanılması mikro-çekinti gözeneklerinin oluşumunu tetikleyebilir.

Yukarıda, karbür yapıcı elementlerin segregasyon eğilimi hakkında birkaç cümle söylemiştik. Farklı elementlerin segregasyon eğilimlerinin kıyaslaması, yandaki çizelge üzerinde ayrıntılı olarak sunuluyor.

Karbür yapıcı elementlerin yüksek bir segregasyon eğilimi gösteriyor olması, her ne kadar toplam alaşım içindeki miktarları düşük olsa da, belli konumlarda birikip kar-

Çeşitli elementlerin segregasyon eğilimleri

Kaynak: J.D. Mullins (2006)



bür oluşumunu tetikleyebilecekleri anlamına geliyor. Bu karbür parçacıkları tane sınırları arasında oluşabildiği gibi, yuvarlak kesite sahip kalın parçaların orta kısımlarında, ters çil formunda da ortaya çıkabiliyorlar.

Borun perlit üzerindeki olumsuz etkisi

Son olarak biraz da bor elementinin etkisi üzerinde durmamızda fayda var. Borla ilgili ne bilmemiz gerekiyor? Her şeyden önce literatürde sunulan bilgilere baktığımızda, borun oldukça güçlü bir karbür yapıcı olduğunu görüyoruz. Ductile Iron Society’nin 1991’de yayımladığı Kalite Kontrol El Kitabında bu element, bilinen en güçlü karbür yapıcılardan biri olarak tanımlanıyor. Yapıda 10-20 ppm (%0,0010 – %0,0020) aralığında bulunması bile, sferodaki perlit miktarının azalması için yeterli oluyor. Bor içeren bir sıvıyla sfero üretirken perlitte tekrar arttırabilmek için dökme demir alaşımına bakır ya da kalay takviyesi yapmanız gerekiyor (Naro et al. 2004).

Çok düşük seviyelerde bulunduğunda bile etkili olması nedeniyle, bu element zaman zaman dökümhanelerin dikkatinden kaçabiliyor. Farkındalık yaratması açısından bir ipucu verelim: Eğer istenen bakır miktarını eklemiş olmanıza rağmen ürettiğiniz perlitik küresel grafitli dökme demirin sertliği istenen değerin altında kalıyor ve nedenini bulmakta zorlanıyorsanız, bor miktarını bir kontrol etmenizi önerebiliriz.

Bor için bilinen en güçlü karbür yapıcı elementlerden bir tanesi dedik. Böyle bir elementin zararlı etkileri sadece perlit miktarını azaltmaktan ibaret olabilir mi? Elbette hayır: Borun en sevimsiz taraflarından biri de biriken bir element olması. Yani her ne kadar ilk etapta dökümhanenizin kapısından eser miktarda bor girmiş olsa bile, bu element döndülerle tekrar tekrar ocağa girip birikmeye başlıyor. Alaşımdaki miktarı yaklaşık 20 ppm (%0,0020) üzerine çıktığı zaman da, ısıl işlemle giderilmesi mümkün olmayan karbür parçacıklarının oluşumuna yol açmaya başlıyor.

Literatürde sunulan bilgilere göre, borun etkilerini özellikle kalın kesitli parçalarda görüyoruz (Wyatt et al. 1968). Örneğin kalın kesitli silindir yapısındaki parçalarda bor bulunması, ters çil adını verdiğimiz duruma yol açabiliyor. Küre sayısı üzerinde de olumsuz etkileri olan bu element, yaklaşık 15 cm çapında bir parçanın uzamasını %50'ye varan oranlarda aşağı çekebiliyor.

Bazı kaynaklarda bordan perlit yapıcı bir element olarak bahsedildiğini görebilirsiniz. Bu etkiyi ortaya çıkartabilmesi için alaşımdaki bor seviyesinin yaklaşık 10 ppm (%0,0010) mertebesinde olması gerektiğini bilmemizde fayda var. Bu seviyenin üzerinde bulunan bor, yukarıda saydığımız problemlere yol açmaya başlıyor



Küresel Grafitli Dökme Demirin Üretimi

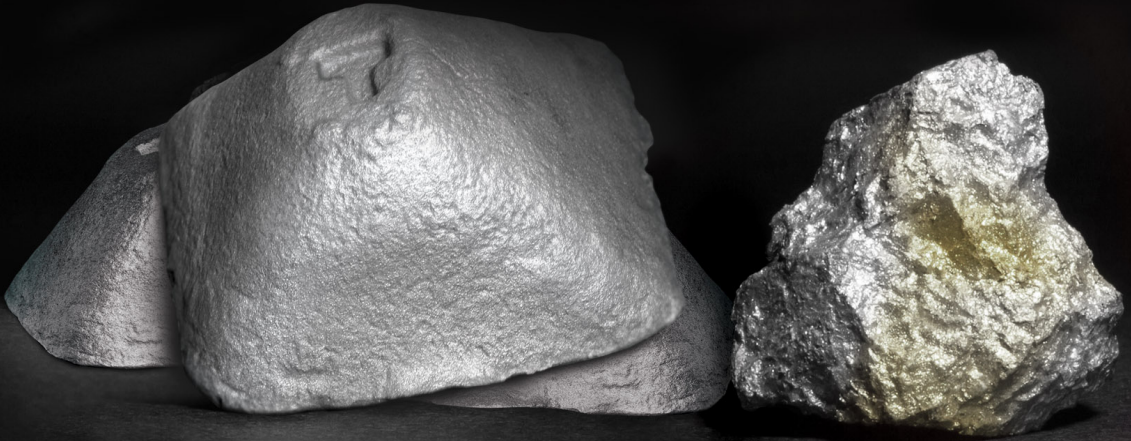
El Kitabı'nın bu ikinci sayısında, bu noktadan itibaren artık küresel grafitli dökme demirin üretimi üzerinde durmaya başlayacağız. Küresel grafitli dökme demirin üretim sürecine yüzeysel bir şekilde baktığımız zaman, gri dökme demire kıyasla Mg tretmanı dışında çok da farklı bir işlem uygulanmıyormuş gibi görünüyor olabilir. Fakat bu işlemin gerektirdiği hassas yaklaşım bile başlı başına büyük bir dikkatle ele alınması gereken bir konu. Bu işlem sonrasında oksijen ve kükürt seviyelerinin ciddi bir şekilde düşüyor olması da, aşılama

işleminin bilinçli bir şekilde yapılması gerektiğinin sinyallerini veriyor.

Fakat yine de bu süreçlerin zaman zaman ezberci bir yaklaşımla ve neden yapıldığı bilinmeden sürdürüldüğünü görebiliyoruz. O nedenle bu noktadan sonra hem küreselleştirme için yapılan Mg işlemi (tretmanı), hem de aşılama süreçleri üzerinde ayrıntılı olarak duracağız.

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 Tavşanlı Mevkii
Yolbulan Antrepo Yanı Gebze, Kocaeli TURKEY
T. +90 (262) 724 99 14-15 F. +90 (262) 724 99 12

Ergitme ve ocakta alaşımlama aşaması

Kaliteli bir sfero döküm parçasının üretimi, her şeyden önce ocakta doğru bir alaşım oranı tutturmadan ve temiz bir eriyik hazırlamaktan geçiyor. Öncelikle şunu belirtmemiz lazım ki, dökme demir için hazırlanan eriyiğin metalurjik kalitesi birçok farklı şekilde istenen seviyeye getirilebilir. Yani mutlaka pik demir ya da SiC kullanılması gerekir gibi bir kuraldan bahsedemeyiz. Dünya üzerinde, özellikle Japon dökümhanelerinde, hiç pik demiri kullanmadan sfero üreten birçok dökümhane olduğunu biliyoruz.

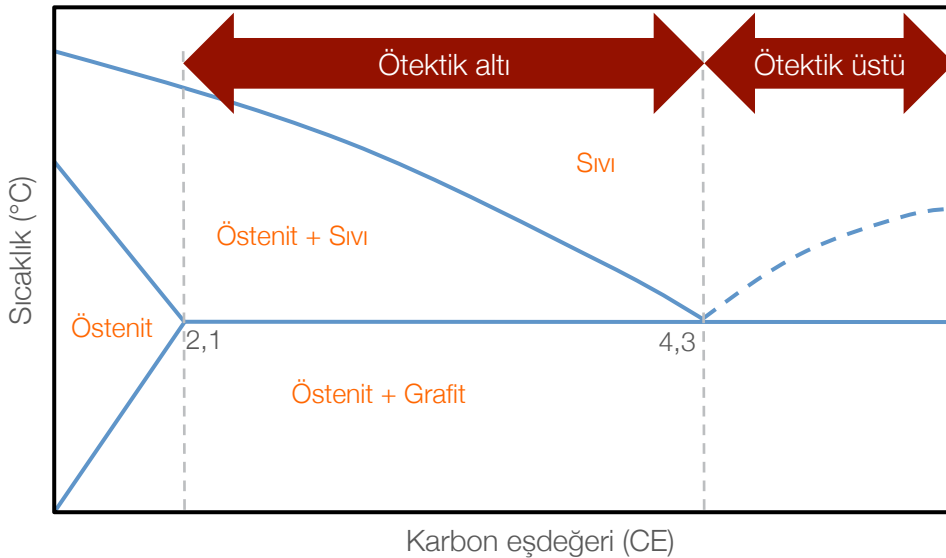
Pik demir kullanılmadan şarj hazırlığı yapıldığı zaman, döndülerden gelen ve sıvıda birikme eğilimi gösteren bazı elementer problem yaratabiliyor. Örneğin seryum (Ce) ve lantan

(La) gibi elementler döndüler yoluyla sıvıda birikip grafit yapısında çeşitli biçimsel bozulmalara yol açabiliyorlar.

Küresel grafitli üretimine dair şu noktayı açıkça belirtmek lazım: Bu işin tek bir doğru yolu yok. Farklı dökümhanelerin oldukça farklı ocak kompozisyonları, aşı oranları ve çeşitleri ve kalan %Mg değerleriyle çalışarak optimum değerleri tutturabildiklerini görüyoruz. Bu farklılıklar karbon eşdeğeri gibi temel noktalarda farklılık gösterebildiği gibi, küreselleşme için belirledikleri kalan Mg oranı ya da perlit oranını ayarlamak için kullanılan bakır miktarı gibi daha ince noktalarda da farklılık gösterebiliyor.

Demir-karbon denge faz diyagramı

(Sadece ötektik kısım gösteriliyor.)

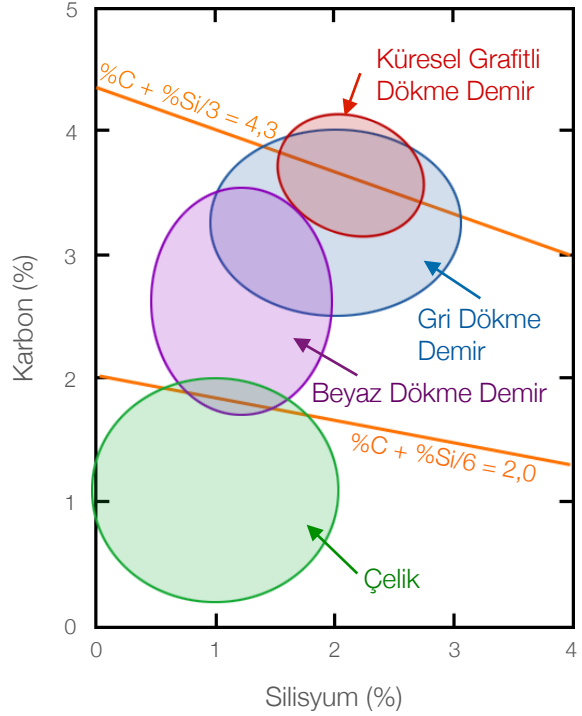


İlk olarak karbon eşdeğeriyle başlayalım. Dökme demir katılaşmasında karbonun ne kadar önemli bir etkiye sahip olduğunu biliyoruz. Bir dökme demirin ötektik noktaya referansla nasıl bir kompozisyona sahip olacağını en ciidi şekilde bu element belirliyor. Fakat bu özelliğe sahip olan tek element karbon değil. Benzer şekilde silisyum (Si) ve fosfor (P) elementleri de ötektik noktaya referansla malzemenin nasıl bir kompozisyona sahip olacağını belirleyebiliyor. Daha teknik bir ifade kullanmak istersek, alaşımda bulunan silisyum ve fosfor, ötektik noktanın denge faz diyagramı üzerindeki konumunu sola kaydırarak, %4,3'ten daha düşük miktarda karbon içeren bir dökme demirin bile ötektik üstü kompozisyona sahip olmasına yol açabiliyor. Silisyum ve fosforun ortaya çıkardığı bu etkiyi değerlendirmek için, aşağıdaki matematiksel ifadeden faydalanıyoruz:

$$CE = \%C \times \frac{(\%Si + \%P)}{3}$$

Bu eşitlikte CE ile gösterilen terim karbon eşdeğerini (İngilizce: *carbon equivalent*) temsil ediyor. Dökme demir için uygun olan tek bir karbon eşdeğeri yok. Fakat üretim yaparken arasında kalmamız gereken bazı aralıklar var. Yandaki grafik üzerinde, küresel grafitli dökme demir için uygun kabul edilen yaklaşık karbon eşdeğeri aralığını görebilirsiniz.

Demir-karbon alaşımlarının yaklaşık karbon eşdeğeri aralıkları



Tabii bu noktada şunu belirtmemiz lazım: Bu grafik üzerinde verilen değerler tretmana girmiş ve aşılama yapılmış alaşımdaki nihai değerler. Yani, kalıba dökülen alaşımın kompozisyonu. Tabii bu değerlerin doğal olarak ocaktaki ilk değerlerden farklı olması gerektiğini kolaylıkla görebiliyoruz. O zaman soralım: Küresel grafitli dökme demir üretmek için ideal bir ilk ocak kompozisyonu ne olmalı?

Önceki sayfalarda da belirttiğimiz gibi, bu sorunun tek bir doğru cevabı yok. Dökülen parçanın kesit kalınlığı dağılımına, kompozisyonuna ve dökümhanenin yıllar içinde

geliştirdiği kendi üretim alışkanlıklarına göre, farklı dökümhanelerin farklı oranlar kullanarak bu karbon eşdeğeri penceresi içinde bir yer bulduklarını görüyoruz. Fakat genel bir değerlendirme yapmış olmak adına, FeSiMg ve aşı takviyesi sonrasında gelen silisyumu da hesaba kattığımız zaman, yukarıda verilen karbon eşdeğeri penceresi içinde dökümü tamamlamak için yaklaşık olarak nasıl bir ocak ayarı tutturmamız gerektiğini anlayabiliriz.

Yukarıda bahsettiğimiz değişkenlere ek olarak, dökümhanenin kullandığı ocağın tonajı, tretmanda kullandığı potanın ölçüleri ve tretman yöntemi de ilk ocak ayarını değiştiren parametreler olarak karşımıza çıkıyor. Büyük ocaklarda açık yüzey alanı nispeten düşük olduğu için, beklemler sırasında yanan karbon oranı düşüyor. Tretmanda kullanılan potanın ölçüleri, boy/çap oranı ve tretman yöntemi de (tel tretman, devirmeli pota, sandviç ya da açık pota gibi) tretman sırasındaki karbon kaybını etkiliyor. Zaten bu tür değişkenlerin çok fazla olması nedeniyle ocak başlangıç değerleri dökümhaneden dökümhaneye farklılık gösteriyor. O nedenle burada net rakamlar vermekten kaçınıp, yukarıda da belirttiğimiz gibi, final karbon eşdeğeri penceresi içinde prosesi bitirecek şekilde her dökümhanenin bu değerleri kendisinin belirlemesini öneriyoruz.

Pik demir kullanmadan sfero üretimi

Türkiye’de pik demir kullanmadan küresel grafitli dökme demir üreten dökümhaneler olduğunu biliyoruz. Çelik hurda kullanmanın avantajı, elbette daha ucuz olması. Bu ucuz malzemeyi kullanarak küresel grafitli dökme demir üretmekten bahsettiğimizde, ister istemez herkesin kafasında maliyetlerin azalacağı şeklinde bir algı oluşuyor. Bu bir açıdan doğru: Özellikle maliyeti arttıran pik demirin aradan çıkması demek, dökümhaneler için önemli bir kalemden kurtulmak anlamına geliyor. Fakat pik demir kullanmanın getirdiği ve maliyetlere olumlu etki eden birçok avantaj da var. Küresel grafitli dökme demir üretimiyle ilgili olarak şu ya da bu yöntemin kullanılması doğrudur diyemeyiz. Her yöntemin kendine göre avantaj ve dezavantajları bulunuyor.

Konuyla aşinalığı olanlar biliyordur: Pik demir kullanmadan dökme demir üretimi, özellikle Japon dökümhanelerinde çok sık gördüğümüz bir yaklaşım. Bunun ardında anlaşılabilir bir neden yatıyor: Japonya dünyanın en büyük çelik üreticilerinden bir tanesi. 30 yıldan daha uzun bir süredir, yıllık çelik üretimi 100 milyon tonun üzerinde seyreden bir ülkeden bahsediyoruz. Bu kadar ciddi bir çelik üretimi, bir de gelişmiş bir otomotiv, makine ve inşaat sektörüyle birleşince, ister istemez ciddi bir miktarda çelik hurdanın da üretileceğine işaret ediyor. Doğal olarak, böyle bir ülkede üretilen hurdanın neden iyi bir fiyat avantajı sunduğunu da anlayabiliyoruz.

Pik kullanmadan, çelik hurdayla dökme demir üretimine dair birkaç noktanın açıkça anlaşılması gerekiyor. Pik demir kullanımının maliyeti arttıran bir faktör olduğu doğru. Fakat pik kullanmadan, sadece çelik hurda ergiterek çalışmak, daha yüksek ısıtma sıcaklığı, dolayısıyla da artan enerji maliyeti anlamına geliyor. Ayrıca pik demir kullanmadan ısıtma yapıldığında, dökme demirin ihtiyacını karşılamak için karbonun ve silisyumun da ocağa ayrıca verilmesi gerekiyor.

Bu noktada kullandığınız karbon vericinin türünün de oldukça önemli olduğunu söylememiz lazım. Dökümhanelerde genellikle antrasit, doğal ya da suni grafit bazlı çeşitli karbon vericilerin kullanıldığını görebiliyoruz. Bu farklı karbon vericiler içerdikleri kül, karbon ve kükürt miktarlarına bağlı olarak birbirlerinden ayrılıyorlar. Küresel grafitli dökme demir üretimine uygun olması açısından, tedarikçinizden karbon oranı yüksek, kükürt ve fosfor içeriği ise düşük olan karbon vericileri temin ettiğinizden emin olmanızı tavsiye ederiz.

Çelik hurda ile çalışırken, sadece fazladan eklememiz gereken elementlerden bahsederseniz, eksik bilgi vermiş oluruz. Bir de kurtulmak istediğimiz elementler var: Kullandığınız çelik hurda içinde galvanizli, yüksek dayanımlı, ya da farklı özel çelik türleri varsa, o zaman ocağın içine kontrolsüz ve yoğun bir şekilde çinko (Zn), alüminyum (Al), kurşun (Pb) ya da krom (Cr) gibi elementler girebiliyor. Bu elementlerin dökme demir içine de bir şekilde girmesi demek, birçok istenmeyen durumla karşılaşabileceğiniz anlamına geliyor.

Örneğin dökme demir içinde yer alan az miktarda kurşun grafitin şeklini bozarken, çinkonun varlığı minik gözeneklerin oluşumuna yol açabiliyor. O nedenle çelik hurda kullanarak dökme demir üretimine girişecekseniz, mutlaka temiz ve ne içerdiğini bildiğiniz bir hurda ile çalışmanız gerekiyor.

Sonuç olarak özetleyecek olursak, pik demir kullanmadan, sadece çelik hurda kullanarak küresel grafitli dökme demir üretmek mümkün müdür diyecek olursanız, bunun cevabı evet. Pik demiri işin içinden çıkartmak her ne kadar fiyat açısından avantajlı görünse de, yukarıda bahsettiğimiz yüksek sıcaklık ve eklenmesi gereken malzemeler gibi etkenler nedeniyle, maliyetleri düşündüğünüz kadar aşağı çekmeniz mümkün olmayabilir. Bunun yanına bir de kalitesiz ya da ne olduğu belirsiz hurda kullanmanın getireceği sorunlar eklendiğinde, bu işe kalkıştığınıza pişman da olabilirsiniz.

Fakat diğer yandan, yukarıda da söylediğimiz gibi, hem Türkiye’de hem de dünyada uzun yıllardır bu şekilde küresel grafitli dökme demir üreten ve son derece memnun olan dökümhaneler de var. Sonuçta hangi yolun izleneceği, dökümhanenin kendi üretim alışkanlıklarına bağlı bir tercih olarak kalması gerekiyor. Bu yöntemle çalışmayı tercih ederseniz, belli bir çekme dayanımını ya da mikroyapıdaki perlit oranını tutturmak için öğrenmiş olduğunuz tüm yolları baştan gözden geçirmeniz gerekebilir.

Küreselleştirme işlemi (Mg tretmanı)

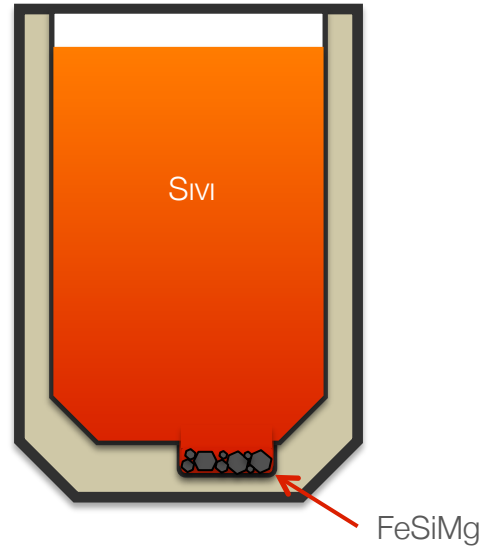
Küresel grafitli dökme demir üretiminde, grafitin küresel bir şekilde çökmesini sağlayabilmek için, sıvı alaşımı bir magnezyum işleminden geçiriyoruz. Bu işlemi, sıvı dökme demirin yüzey gerilimini azaltan ve dolayısıyla grafitin yapraklı biçimde büyümesine yol açan oksijen ve kükürt miktarlarını düşürmek için uyguluyoruz. Magnezyum, sadece oksijen ve kükürtle tepkimeye girebilen bir element olduğu için değil, aynı zamanda demirle herhangi bir bileşik oluşturmaması, ve yüksek denge buhar basıncı sayesinde karıştırmaya gerek kalmadan sıvı içine kolaylıkla yayılabilmesi nedeniyle dökümhaneler tarafından tercih ediliyor. Magnezyum dışında zaman zaman seryum (Ce) içeren bazı nadir toprak elementi karışımlarının da (lantanum, neodim ve praseodimiyum gibi) bu amaçla kullanıldığını görebiliyoruz.

Yukarıda, magnezyumun yüksek bir denge buhar basıncına sahip olduğunu söylemiştik. Bu özelliği sayesinde magnezyum işlem sırasında buharlaşıp bir kaynama etkisi yaratarak, oksijen ve kükürtü etkin bir şekilde temizleyebiliyor. Fakat denge buhar basıncının yüksek olması, magnezyumun aynı zamanda buharlaşarak sıvıdan kaçma eğiliminde olduğu anlamına da geliyor. Bu yüzden işlem sonrasında uzun bir süre beklemeden, sıvı alaşımı mutlaka kalıba dökmek gerekiyor.

Açık pota yöntemi

Magnezyum işlemi, birkaç farklı şekilde yapılabilir. Bunlardan en basit olanı, magnezyumu bir potanın dibine ferroalyaj formunda (FeSiMg) yerleştirip, ocakta hazırlanan sıvı alaşımı bu potaya almak (aşağıdaki resim). Açık pota işlemi adı verilen bu yöntemde, sıvı dökme demire kıyasla daha hafif olan FeSiMg bir yandan tepkimeye girerken, diğer yandan yüzme eğiliminde olduğu için, işlemin verimi %20-%30 gibi nispeten düşük değerlerde kalıyor.

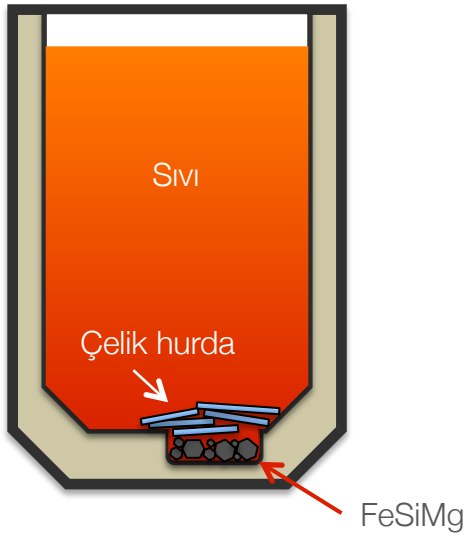
Açık pota yönteminin şematik gösterimi



Sandviç yöntemi

FeSiMg alaşımının yüzmesini engellemek için, potanın dibine yerleştirdiğimiz ferroalyajın üzerine örtü görevi gören bir malzeme yerleştirip, dökme demiri ondan sonra bu potaya alıyoruz (aşağıdaki resim). Sandviç yöntemi adını verdiğimiz bu yöntemde, FeSiMg üzerine genellikle çelik hurdası ya da FeSi ile bir battaniye yapıldığını görebiliyoruz. Bekletme süresinin daha uzun olması istenen uygulamalarda, reçineli kum ya da kalsiyum karbür de battaniye olarak kullanılabilir.

Sandviç yönteminin şematik gösterimi



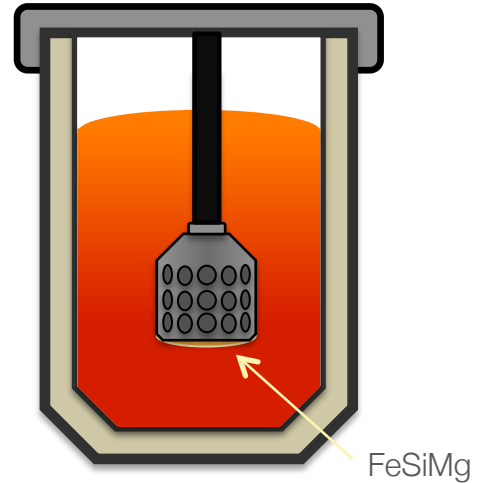
FeSiMg'nin yüzmesini engellemek için alınan bu basit önlem sayesinde, işlemin verimini %40-%45 aralığına kadar çıkartabiliyoruz.

Oldukça basit bir yöntem olması nedeniyle Türkiye'deki çoğu dökümhane bu yöntemi tercih ediyor. Bu yöntemin bir dezavantajı olarak, battaniye olarak kullanılan malzeme miktarının fazla olması durumunda sıvı sıcaklığının çok azalabileceğini parantez içinde belirtelim.

Daldırma yöntemi

FeSiMg'nin yüzmesini engellemek için yapabileceğimiz başka bir şey daha var: Daldırma yöntemi adı verilen bu yöntemde, tüm ferroalyajı bardak yapısında refrakter bir kaba doldurup, ters bir şekilde sıvı içine daldırıyoruz (aşağıdaki resim).

Daldırma yönteminin şematik gösterimi



Dikkat ederseniz yukarıda bahsi geçen diğer yöntemlerde ferroalyaj potaya yerleştirildikten sonra, sıvı pota içine dökülüyordu. Bu yöntemde ise, sıvı alaşım

pota içindeyken, ferroalyajı biz daldırıyoruz. Oldukça yüksek bir verime sahip olan bu işlem, %50'ye varan verimiyle sandviç yönteminin önüne geçebiliyor. Dejavantajı ise, sıvı içine daldırılan düzeneğin soğuk olması nedeniyle, sıvı sıcaklığının azalmasına yol açıyor olması.

Devirmeli pota (konvertör) yöntemi

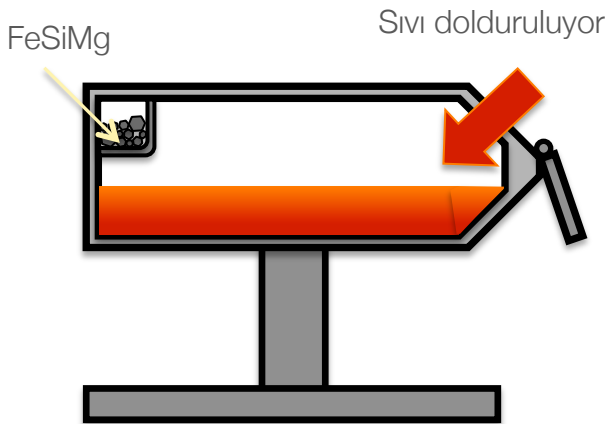
Yukarıda bahsi geçen yaklaşımlara kıyasla oldukça farklı görünen bir başka yöntemden daha bahsedelim: Devirmeli pota ya da konvertör işlemi adı verilen bu yöntemde, ilk aşamada yatay pozisyonda duran ve üst kısmında cep bulunan bir pota kullanılıyor.

Basit bir devirmeli pota kullanılan durumlarda genellikle FeSiMg alaşımları kullanılırken, konvertör olarak anılan sistemlerde zaman zaman saf magnezyumun kullanıldığını da görebiliyoruz.

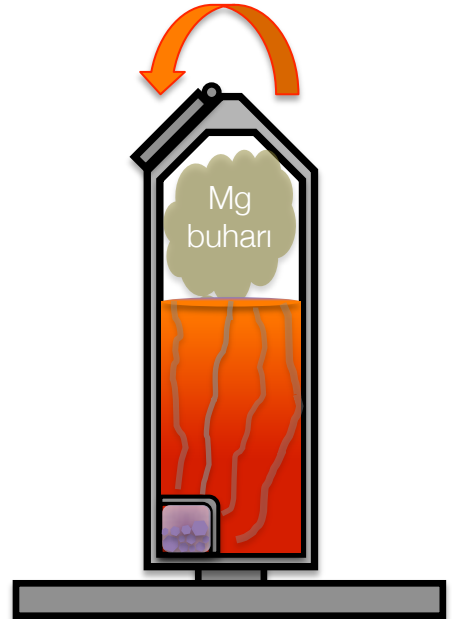
Magnezyum alaşımı potanın içindeki bu cebe, yani üst kısma yerleştirildikten sonra, sıvı alaşım pota içinde doldurulup, potanın kapağı kapatılıyor. Ardından, pota dikey pozisyona getirilip, sıvı alaşımın cepte duran magnezyum alaşımıyla tepkimeye girmesi sağlanıyor. Kapak sayesinde magnezyum buharı pota içinde kaldığı için prosesin verimi artıyor.

Konvertör işleminin şematik gösterimi

1. Sıvı metal Mg ile temas etmeden dolduruluyor



2. Pota devrildikten sonra tretman başlıyor



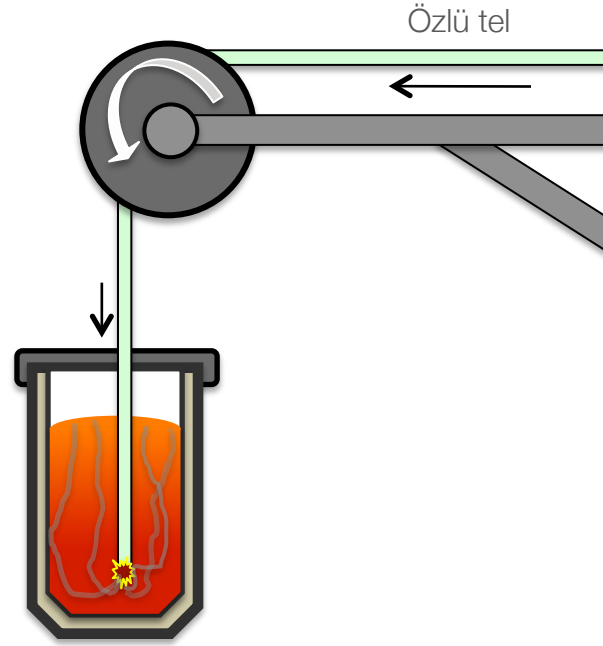
Yaklaşık %50'ye varan oranda verim sağlayabilen bu yöntemin en büyük dezavantajı, potanın soğuk olması durumunda sıvı metalin de soğumasına yol açıyor olması. Bu işlemin sıcaklık kaybı olmadan efektif bir şekilde kullanılabilmesi için, konvertörün sürekli olarak (bir saat içinde en az iki ya da üç defa) kullanılması gerekiyor.

Tel tretmanı

Tel tretman yöntemi son yıllarda hem Avrupa'da hem de ülkemizde popülerlik kazanmaya başladı. Her ne kadar yeni bir yöntem gibi algılansa da, 60 yıllık bir geçmişi olan tel tretman yönteminin kökeni aslında çelikhanelere dayanıyor: İlk olarak 1950'li yıllarda, çelik üretiminde kullanılan çeşitli kükürt gidericilerin özlü tellerle sıvıya verilmeye başlandığını görüyoruz. İşlemin sunduğu kolaylık nedeniyle, dökümhanelerin de bir süre sonra bu teknolojiyi adapte etmek için çalışmaya başlamaları aslında sürpriz değil.

O zaman soralım: Çelikhanelerde kökeni 1950'li yıllara dayanan bu teknolojinin dökümhanelere geçişi neden 90'ların başına kadar uzamış olabilir? Bu sorunun akla gelen ilk muhtemel cevabı, küresel grafitli dökme demirin zaten bu yıllarda keşfedilmiş olması: Wikipedia'da sunulan bilgilere göre, magnezyum işlemi ile küresel grafitli dökme demir üretimi konusunda Amerika'da alınan ilk patentin tarihi 1949 senesine dayanıyor. Bu yıllarda yeni keşfedilen bu malzemenin dünyaya yayılması da doğal olarak belli bir süre alıyor.

Tel tretmanının şematik gösterimi



İkinci muhtemel neden ise, yatırım maliyeti. Birazdan bu konu üzerinde duracağız ama sandviç ya da açık pota gibi çok daha ekonomik yöntemler dururken, çelikhanelere kıyasla daha küçük işletmeler olan dökümhanelerin o yıllarda bu yatırımı yapmaktan neden kaçındıklarını anlayabiliyoruz.

Akla gelen son muhtemel neden ise, Mg işleminin hassas bir kontrol gerektiriyor olması: Tel verme hızını hem güvenilir bir şekile kontrol edebilen, hem de duruma göre değiştirebilen teknolojilerin dökümhaneleri ikna edebilecek konuma gelmesi biraz uzun zaman alıyor.

Örneğin bu yöntemin ilk denenmeye başlandığı dönemlerde kullanılan tel sürücüler dakikada en fazla 20 metre tel verebilme becerisine sahipken, günümüzde bu değer dakikada 60 metreye kadar çıkabildiğini görüyoruz. Bu da, özellikle büyük pota kullanan dökümhanelerde, işlem süresinin 3 kat hızlandığı anlamına geliyor.

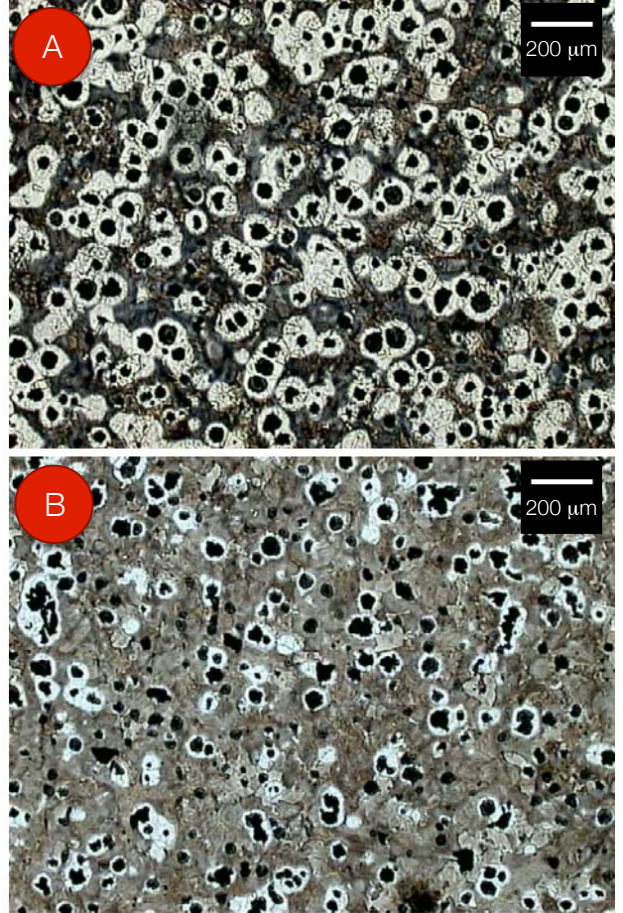
Tel tretmanı ne gibi avantajlar sağlıyor?

Bu işlemin akla gelen ilk önemli avantajı, otomasyona açık ve insan müdahalesini minimize edebilen bir yöntem olması. Bugün piyasada bulunan çeşitli sistemler, spektrometreden gelen kükürt değerini ya da termal analiz parametrelerini dikkate alarak verilecek tel miktarını ve hızını anında hesaplayabildiği için, insan hatasına fırsat vermeyecek şekilde bu sistemleri üretim sürecine entegre etmek mümkün olabiliyor. Ayrıca, tel verme makinası için yatırım yapan bir dökümhane, bu sistemi aşılama için de kullanabiliyor. Böylece potada yapılan aşılamanın da otomasyona açık bir hale getirilmesi mümkün olabiliyor.

Bu işlemin bir diğer avantajı da tekrarlanabilir sonuçlar üretebiliyor olması. Yukarıda da belirttiğimiz gibi, hedeflenen “kalan Mg” değerini tutturmak için verilmesi gereken tel miktarı hassas bir şekilde ayarlanabiliyor. Ayrıca işlemin sahip olduğu yüksek verim sayesinde, hedeflenen kalan Mg değeri, sandviç yöntemine kıyasla daha az Mg harcanarak elde edilebiliyor. Örneğin yanda gösterilen resimde, aynı oranda Mg kullana-

(A) Tel tretman yöntemi ve (B) sandviç yöntemi sonuçlarının kıyaslaması

Kaynak: Guzik (2008)



rak gerçekleştirilen tretmanlarda elde edilen sonuçların kıyaslaması gösteriliyor: (A) tel treatment yöntemi, (B) sandviç yöntemi (Guzik et al. 2008). Aynı oranda Mg kullanılmasına rağmen, tel tretmanın yüksek verimi sayesinde küreselliği daha yüksek bir yapı elde edilebildiğini görüyoruz.

Bu son nokta, maliyet hesabı konusunda tek taraflı düşünülmemesi gerektiği konusunda bize bir ipucu veriyor: Tel tretman sisteminin ilk yatırım maliyeti yüksek olmasına rağmen, tretman sırasında kullanılan küreselleştirici maliyetinin azalması nedeniyle, aslında uzun vadede ekonomik açıdan avantajlı bir duruma yol açıyor (Guzik et al. 2008).

Bu yöntemin bir diğer avantajı da, tretman sırasında ortaya çıkan cürufun sandviç yöntemine kıyasla daha az olması. Cürüflaşma süresinin bazen dökümhaneler tarafından pek dikkate alınmadığını görüyoruz: Zaman zaman, Mg işlemi sonrasında cüruf oluşması tam anlamıyla sonlanmadan cüruf temizliği yapıldığı için, döküm ocaklarında cüruf birikmesi gerçekleşebiliyor. Tel tretmanında cüruf miktarı azaldığı için, bu yöntem potadaki metalin soğumasından endişe ederek cüruf temizliği konusunda aceleci davranan dökümhanelere kolaylık sağlayabiliyor. Ayrıca daha az Mg kullanılması, oluşan dross seviyesini de aşağı çekeceği için, bu işlemin özellikle kalın kesitli parçalar döken dökümhaneler için avantajlı olacağını söyleyebiliriz.

Tel tretman hangi durumlarda avantaj sağlıyor?

Tel tretmanının bütün dökümhaneler için en ideal işlem olduğunu söylersek, elbette yanlışmış oluruz. Sandviç yönteminin daha avantajlı olduğu ve tercih edilebileceği durumlar da var.

İlk olarak, tel tretmanının yatırım maliyetiyle başlayalım. Sadece potanın dibine FeSiMg alaşımını yerleştirmekten ibaret olan bir yöntemle kıyaslandığında, bu yöntemin özellikle küçük dökümhaneleri ekonomik açıdan zorlayacak bir yatırım olduğunu söylememiz lazım. Fakat yukarıda da belirttiğimiz gibi, uzun vadede tel kullanmanın ekonomik açıdan daha avantajlı görüldüğünü tekrar vurgulayalım. Örneğin aynı oranda (%5) Mg içeren bir ferro alaşımla özlü telin fiyat performansı kıyaslandığında, tel tretmanının uzun vadede daha avantajlı bir sonuç ortaya çıkardığını Guzik'ın (Guzik et al. 2008) çalışmasında görebilirsiniz.

İkinci önemli nokta ise kullanılan potanın boyutları. Doğru bir tretman için, sıvı içine verilen telin pota dibine ulaştığında erimesi ve içindeki magnezyumun sıvıyla tepkimeye girmesi gerekiyor. Küçük pota kullanan dökümhanelerde, tel yavaşça verilmesine rağmen pota dibine ulaştığında erimezse, işler sarpa sarıyor: Telin pota dibinde topaklanıp, yukarıdan pota içine sürülen kısmın ilerlemesini engellediğini görüyoruz. Bu da, sürecin sağlıklı ilerlemesi açısından ciddi bir problem ortaya çıkartıyor. Ayrıca tretman sırasında oluşan cürufun taşmaması için, potanın üst kısmının en az %30, ideal olarak %50 oranında boş kalması gerekiyor. Bu sebeplerden dolayı, Mg tretmanı için yarım tondan (500 kg) daha düşük kapasiteye sahip pota kullanan dökümhanelerde bu yöntemin kullanılması tavsiye edilmiyor.

İnce kesitlere sahip parçalar döken dökümhanelerde, tel işlemine geçildikten sonra zaman zaman çil probleminin başladığını görebiliyoruz. Sandviç yönteminde kullanılan ferro alaşımların yüksek oranda silisyum içeriyor olması, magnezyumun karbür yapıcı etkisini dengeleyerek ince kesitlerde çil oluşmasının önüne geçebiliyor. O nedenle bu yöntemi kullanarak sfero üretimi yaparken, silisyum ayarı için eklenmesi gereken ekstraların da dikkate alınması gerekiyor.

Sonuç

Sonuç olarak hangi yöntemin tercih edileceği, dökümhanelerin inisiyatifine ve

üretim alışkanlıklarına kalmış bir durum. Tel tretman, süreç kontrolü ve otomasyon açısından önemli bir avantaj sunuyor. Fakat diğer taraftan sandviç ya da açık pota gibi yöntemler, pratik ve ucuz olmaları yanında, grafitleşmeyi desteklemeleri nedeniyle dökümhaneler tarafından tercih ediliyor. Yukarıda yaptığımız değerlendirmeler neticesinde, bu yöntemin özellikle ağır parçalar döken ve büyük potalar kullanan dökümhaneler için doğru bir seçim olacağı sonucuna varabiliriz. Fakat bir döküm hattı üzerinde döküm yapan dökümhanelerin de, nispeten büyük ölçülerde (> 500 kg) pota kullandıkları sürece, bu yöntemi tercih etmemeleri için bir engel bulunmuyor.

Küreselleştirme işleminin verimi

Mg ile yapılan küreselleştirme işleminin verimini hesaplamak için teknik literatürde verilen bazı eşitlikler olduğunu biliyoruz. Fakat küresel grafitli dökme demir üreten çoğu dökümcünün bildiği üzere, küreselleştirme işlemi için aynı ferroalyajı aynı miktarda kullansak da, zaman zaman işlemin verimi beklentimizden oldukça farklı olabiliyor.

Bu farkın nedeni, Mg işleminin veriminin aslında çok fazla sayıda parametreye bağlı olması. Şimdi kısaca Mg ile yapılan küreselleştirme işleminin verimini etkileyen ve dökümcüler tarafından zaman zaman göz-

den kaçınılabilen bu parametrelere bakalım.

Potadaki sıvı metalin ağırlığı

Ele almamız gereken ilk parametre, potadaki sıvı metalin ağırlığı: Dökümhaneler küreselleştirme işlemi için potaya verecekleri FeSiMg miktarını dikkatli bir şekilde tartarsalar da, aynı hassasiyeti ocaktan tretman potasına aldıkları sıvı metalin ağırlığına göstermediklerini görebiliyoruz. Örneğin bir dökümhane, yaklaşık %0,040 oranında kalan Mg elde etmek için FeSiMg miktarını %1,3 magnezyuma denk gelecek şekilde ayarlıyor ve ona göre tartıp tretman potasının

altına yerleştiriyor diyelim. Eğer bu hassasiyet sıvı dökme demir ocaktan tretman potasına alınırken gösterilmiyor ve göz kararı bir şekilde pota dolduruluyorsa, ister istemez Mg işleminin veriminde değişik sonuçlar görebiliyoruz. Bu nedenle küreselleştirme işlemi ister tel besleme sistemiyle, ister sandviç yöntemiyle, ister konvertör işlemiyle yapılıyor olsun, potadaki sıvı metalin ağırlığına da aynı hassasiyeti göstermek gerekiyor.

Ferroalyajdaki %Mg miktarı

Verimi etkileyen bir diğer faktör de, ferroalyaj içindeki %Mg miktarı: Tedarikçi firmalardan alınan ferroalyajdaki magnezyum miktarı için tedarikçiniz her ne kadar size bir değer veriyor olsa da (örneğin %5,6 gibi), ferroalyajın gerçek magnezyum içeriğinde %1'e varan oranlarda sapmalar görebiliyoruz. Bu ilk bakışta önemli bir fark gibi görünmeyebilir: Fakat bir ferroalyajdaki Mg miktarının %5 civarında olduğu düşünülürse, %1'lik bir farkın ne kadar önemli bir etki ortaya çıkartacağı anlaşılabilir.

Oksijen aktivitesi

Dökümhaneler tarafından çoğu zaman gözden kaçırılan, fakat dikkate alınması gereken önemli faktörlerden bir diğeri de sıvıdaki oksijen aktivitesi. Çoğu dökümhane Mg verimini hesaplarırken öncelikli olarak kükürtü dikkate alıyor. Fakat aslında oksijen, bu işlemin verimi üzerinde kükürte kıyasla daha baskın bir etkiye sahip.

FeSiMg parçacıkları



Bunun nedeni, metalurji kökenli olan okuyucularımızın iyi bildiği üzere, oksitlerin oluşum enerjisinin sülfütlere göre daha düşük olması: Yani oksitlerin Ellingham diyagramında sülfütlere kıyasla daha aşağıda yer alması. Diğer bir deyişle, magnezyumun oksijenle bileşik oluşturma eğiliminin, kükürtle bileşik oluşturma eğiliminden daha yüksek olması. Bu nedenle sıvıdaki oksijen aktivitesini tamamen göz ardı ederek sadece kükürt miktarı üzerinden bir değerlendirme yapmak, Mg verimi hesabı için verilen çoğu eşitliğin en zayıf noktasını oluşturuyor.

Kükürtün etkisi

Kükürt de tıpkı oksijen gibi Mg ile bileşik oluşturma eğiliminde olan bir element. Bu nedenle Mg işleminin verimini doğru hesaplayabilmek için, tretman öncesinde sıvı alaşımda bulunan kükürt oranını bilmek büyük önem kazanıyor.

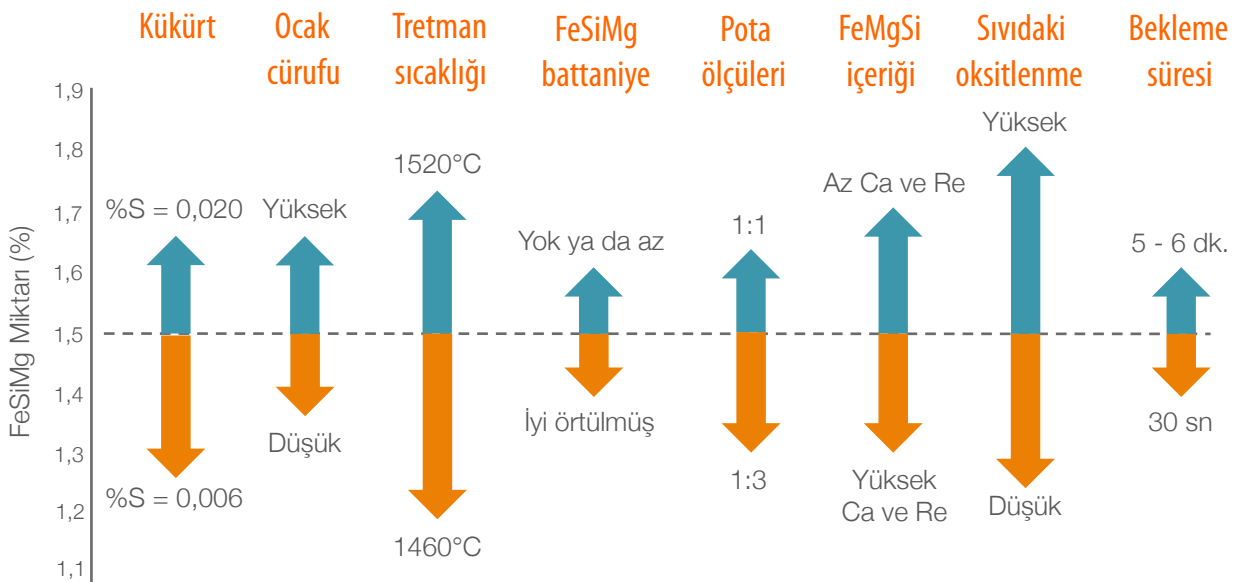
Küreselleştirme işlemi sonrasında sıvıdaki oksijen aktivitesinin 0,1 ppm'in altına düştüğü düşünülürse, kükürt miktarını ölçmek için oksijen aktivitesi kadar hassas bir ölçüm yöntemi gerekmeyeceğini anlayabiliriz. Fakat yine de, kükürtü doğru bir şekilde analiz etmek de çoğu zaman kolay olmuyor. Spektrometre analizi bize kükürt miktarı hakkında ortalama bir değer veriyor. Fakat daha hassas bir ölçüm yapmak için, mutlaka yakma temelli yöntemlerden yardım almak gerekiyor.

Bekleme süresi

Son olarak sıvı alaşımın sıcaklığı ve tretman sonrasındaki bekleme süresini de küreselleştirme işleminin verimini etkileyen faktörler arasında saymamız gerekiyor.

İlk olarak bekleme süresiyle başlayalım: Mg işleminin verimini hassas bir şekilde kontrol edebilmek için, sıvı metalin magnezyum ile ilk temasından sonra döküme kadar geçen sürenin mümkün olduğunca sabit tutulması gerekiyor. Tabii bu süre zarfında birçok işlem birden yapmak gerekiyor: küreselleştirme işlemi, ardından sıvı alaşımın tretman potasından döküm potasına alınması, cüruf temizliği, aşılama ve kalıplama hattındaki farklı kalıplara döküm yapılması gibi. O nedenle bu süreyi sabitlemek her zaman söylendiği kadar kolay olmuyor. Ama bu süreyi mümkün olduğunca belli bir aralıkta tutmanız, Mg verimi konusunda tekrarlanabilir sonuçlar elde etmenize yardımcı olacaktır.

Sandviç yönteminde verimi etkileyen faktörlerin özeti



Sıcaklık

Sıvı alaşımın sıcaklığı da zaman zaman dikkatimizden kaçabilen parametrelerde bir tanesi. Sıvı alaşım ne kadar sıcaksa, magnezyumun sıvıyla ilk temasında o derece şiddetli bir tepkime gerçekleştiğini görüyoruz. Bunun sonucu olarak da, işlemin veriminin azaldığını gözlemliyoruz. Dolayısıyla, tıpkı döküm süresi gibi, tretman sırasında sıvı alaşımın sıcaklığını da kontrol etmek ve tretmanı benzer sıcaklıklarda gerçekleştirmek, küreselleştirme işleminin aynı verimde tekrarlanabilmesi için öne çıkan etkenlerden bir tanesi olarak karşımıza çıkıyor.

Sonuç

Her ne kadar teknik literatürde Mg verimini hesaplamak için verilen çeşitli eşitlikler olsa

da, biz burada böyle bir eşitlik vermekten kaçınacağız. Bunun nedeni, Mg işleminin bu eşitliklerde verilmeyen pota temizliği ve küreselleştirme yöntemi (sandviç, açık pota, tel ya da konvertör) gibi parametrelerden de etkileniyor olması. Aynı zamanda, yukarıda en önemli parametrelerden biri olarak saydığımız oksijen aktivitesinin çoğu zaman bu eşitliklerde yer almadığını görüyoruz. O nedenle bu yazıda bir eşitlik vermek yerine, yukarıda saydığımız parametreleri tekrarlanabilir seviyede tutmanın önemini vurgulamakla yetineceğiz. Çünkü tüm bu değişkenleri kontrol altına almadan, sadece belli başlı bazı parametreleri dikkate alan eşitlikler üzerinden verim hesaplamaya çalışmanın, pek bir anlamı olacağını söyleyemeyiz.

Kalan %Mg ile verimin değerlendirilmesi hakkında

Dökümhanelerde uygulanan genel pratiğe baktığımızda, küreselleştirme için magnezyumun ferroalyaj formunda ve yaklaşık %1,1 – %1,4 civarında eklendiğini görüyoruz. Küreselleştirme işlemi sonrasında yapılan spektrometre analizinde, dökümhanelerin genellikle %0,035 – %0,055 civarında bir kalan Mg ile işlemi sonlandırdıklarını ve döküme gittiklerini biliyoruz.

Birçok dökümhane, küreselleştirme işlemi sonrasında ölçülen bu “kalan Mg” değerini işlemin verimini değerlendirmek için bir referans olarak kabul etse de, aslında bu yaklaşım dökümhaneleri yanlış değerlendirmeler yapmaya itebiliyor. Bu yanlış yönlendirmenin neden ortaya çıktığını anlamak için, magnezyum işlemi sırasında gerçekleşen tepkimelere yakından bir bakmamız lazım

Magnezyum çok kuvvetli bir oksit giderici olduğu için (ve Ellingham diyagramında oluşum serbest enerjisi en düşük oksitlerden birine sahip olduğu için) ilk olarak sıvıdaki oksitleri indirgemeye başlıyor. Mg işlemi öncesinde sıvı dökme demir içinde sadece 1 ppm (milyonda bir) civarında oksijen olduğunu teknik literatürdeki araştırmalardan biliyoruz. Sıvıdaki oksijen miktarı milyonda bir olmasına rağmen, sıvı içine çok daha yüksek miktarda Mg ekliyor olmamızın nedeni, sıvıda hâlihazırda bulunan bu oksitlerin Mg ile tepkimeye girerek Mg'nin baştan tükenmesine yol açıyor olması. Zaten sıvı dökme demir Mg ile temas ettiğinde kuvvetli bir reaksiyon gerçekleşmesinin nedeni de, sıvıda bulunan bu oksitlerin indirgeniyor olması: Sonuçta sadece milyonda bir mertebesinde bulunan oksijenin bu kadar kuvvetli bir tepkime yaratmasını bekleyemeyiz.

Sıvı dökme demir Mg ile tepkimeye girince, sıvıda çözünen Mg'ye ek olarak MgO, MgS, MgN gibi bileşikler de ortaya çıkıyor. Bu tepkime ürünleri arasında büyük olanlar cürufa giderken, daha küçük olanlar sıvı içinde kalabiliyor. Siz böyle bir sıvı içinden spektrometre numunesi aldığınız zaman, okuduğunuz %Mg değeri sadece sıvıda çözünen Mg'yi değil, aynı zamanda MgO, MgS ve MgN gibi bileşikler de temsil ediyor. Tepkimenin verimini değerlendirmenize yardımcı olacak parametre, sıvıdaki çözünmüş oksijen ile tepkimeye giren çözünmüş Mg olduğu için, böyle toplu bir değerlendirme yapan spektrometre analizi, maalesef ihtiyaç duyulan bilgiyi sağlamakta yetersiz kalıyor. O nedenle kalan %Mg değerine bakarak işlemin verimini değerlendirirken, bu noktayı da aklımızda tutmamız faydalı olacaktır.

Küresel grafitli dökme demirin aşılması

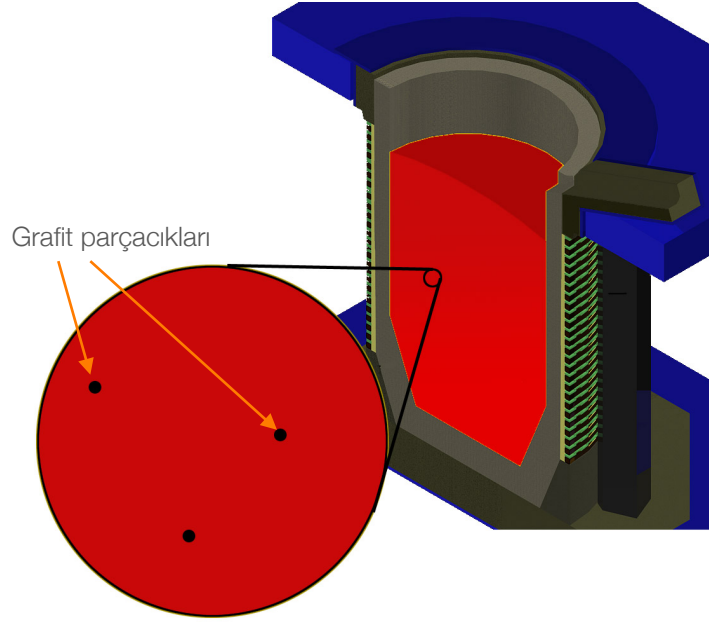
Aşılama, dökme demir üretiminde yer alan en önemli adımlardan bir tanesi. Bir döküm parçanın tüm üretim sürecini düşünün: Şarj ve kalıp hazırlığı bir tarafta, ardından ergitmeyle başlayan döküm süreci ve parçanın temizlenip işlenmesine kadar uzanan oldukça uzun bir süreç. Yoğun emek isteyen bu süreç, bir avuç tozu sıvının içine attığınız ve sadece birkaç saniye süren bir aşama neticesinde harika sonuçlara dönüşebileceği gibi, parçanın fireye ayrılmasıyla da sonuçlanabiliyor. Aşılama dışarıdan basit gibi görünse de, dökülen parçanın özellikleri üzerinde önemli etkiye sahip bir işlem.

Aşılamaı ezbere yapmak yerine, sıvı alaşımın ihtiyacına göre ve doğru seviyede yapmak gerekiyor. Bu amaçla aşılamaı birkaç farklı aşamada gerçekleştirebiliyoruz. İlk önce teker teker bu aşamalara bakalım.

Ön koşullandırıcı

Ön koşullandırıcı aslında tam anlamıyla bir aşılama işlemi sayılmaz. Ön koşullandırıcıları sıvıyı aşılama için değil, sonradan yapılacak aşının çalışması için, yani sıvıyı “canlı” tutabilmek için yapıyoruz. Aşılama benzemesi nedeniyle bazen ocak aşısı olarak da isimlendirilen ön aşının kullanım amacını anlamak için, öncelikle ocaktaki sıvının durumunu anlamamız lazım.

İndüksiyon ocağında çözünmeyen grafit parçacıkları



Ocakta yeni erimiş durumda bulunan sıvı dökme demir, her ne kadar gözümüze tamamen sıvı fazdaymış gibi görünse de, aslında içinde 1 mikrondan daha küçük boyutta grafit parçacıkları barındırıyor. Bir sıvı içinde çözünmeden kalan ve sıvı içinde asılı kalmışçasına sıvıyla birlikte hareket eden bu ufak parçacıklara, kimyada koloit, ya da asıntı (İngilizce: *colloid*) adını veriyoruz.

Sıvı içinde hâlihazırda çözünmemiş çok ufak grafit parçacıklarının bulunması, ister istemez bu sıvı metal kalıba dökülüp katılaşı-

maya başladığında, grafitin ayrışmasını ve gri yapı oluşmasını kolaylaştırıyor. Fakat bu minik grafit parçacıkları sıvı içinde çözünmeden uzun süre kalamıyor: Eğer sıvı metal ocakta uzun bir süre beklemişse, ya da sıvı sıcaklığı bir nedenden yüksek değerlere çıkartılmışsa, o zaman bu parçacıkların tamamen çözündüğünü gözlemliyoruz. Bu parçacıkların çözünmesi sonucunda bir anlamda çekirdeklenme potansiyelini iyice kaybeden sıvı metali tekrar “canlandırmak” için, ön koşullandırıcı adını verdiğimiz bu takviyeden faydalanıyoruz.

Ön koşullandırıcı, en basit tarifiyle, grafit ayrışmasını kolaylaştırmak için, ocaktaki sıvı dökme demire eklediğimiz bir takviye malzemesi. Aşırı malzemelerden farklı olarak ön koşullandırıcılar, ocakta bulunan sıvı metaldeki grafit parçacıklarını stabilize etmek ve böylece grafit ayrışmasını kolaylaştırmak amacıyla kullanılıyorlar.

Geleneksel olarak ön koşullandırıcı olarak dökümhanelerde ferrosilis ya da silisyum-karbür gibi malzemelerin kullanıldığını biliyoruz. Özellikle silisyum karbür, kuvvetli bir grafit yapıcı element olan silisyuma ek olarak ocağa karbon da verdiği için, sıvı metalin canlı kalmasını sağlayabiliyor. Tabii kullanılan bu takviye malzemelerinin etkisinin de belli bir süre sonra geçtiğini belirtmemiz gerekiyor.

Bu geleneksel malzemelerin dışında, yüksek oksitlenme potansiyeline sahip Al ve Zr gibi elementler içeren ve yine yüksek silisyum içeriğine sahip olan farklı ön koşullandırıcılar kullanıldığını da görebiliyoruz. Al ve Zr gibi

elementler sıvı içine girdiklerinde çabucak oksitlenip kararlı oksit inklüzyonları oluşmasını sağlayabiliyorlar. Bu oksit inklüzyonları da grafitin ayrışmasını kolaylaştırarak, ocakta bekleyen sıvı metalin uzun bir süre canlı kalmasını sağlayabiliyor.

Ön koşullandırıcı kullanımı, özellikle dökümden döküme aşırı performansına dair tutarsızlıklar yaşayan dökümhanelere fayda sağlıyor. Ocaktaki sıvı metalin bekleme süresinin ya da bekleme sıcaklığının çok değişken olduğu durumlarda, yukarıda bahsi geçen sıvı içindeki ufak grafit parçacıklarının miktarı da değişeceği için, bu farklı sıvıların aşılama verdikleri tepkiler de değişkenlik gösterebiliyor. Dolayısıyla siz hep aynı miktarda aşırı kullanırsanız bile, sıvı metalin durumu değişkenlik gösterdiği için, elde ettiğiniz sonuçlarda da tutarsızlık görebiliyorsunuz. Bu nedenle ön koşullandırıcı kullanımı, aşılama öncesinde sıvı metali benzer bir duruma getirmek ve sıvının aşılama verdiği tepkiyi kontrol altına almak adına, aşılama bağlı sorunlar yaşayan dökümhaneler için pratik bir çözüm yolu olabiliyor.

Potada aşılama

Potada aşılama, dökümhanelerde oldukça yaygın bir şekilde kullanılan bir aşılama yöntemi. Genellikle küresel grafitli dökme demir üretiminde, Mg tretmanından hemen sonra gerçekleştirilen bu işlemde, potadaki metalin miktarına göre 0,6 mm ile 6 mm arasında değişen tane boylarında aşırı kullanılabiliyor. Bu yöntemde aşırı sıvı içine direkt elle verilebileceği gibi, özlü tel içinde de verilebiliyor.

Bu noktada hangi aşı malzemelerinin bu işlemler için uygun olduğuna dikkat etmemizde fayda var. Birlikte çalıştığınız tedarikçi firma bu konuda size ihtiyacınız olan bilgiyi sunup, hangi aşamada hangi aşının kullanılması gerektiği yönünde tavsiyeler veriyordur. Fakat farklı aşı türlerinin etkilerine örnek vermek adına, mesela baryum içeren aşılarda potada kullanılmasının uygun olduğunu söyleyebiliriz. Sıvı içindeki oksijen ve kükürtü bağlayan baryum, bu özelliği sayesinde tretman sonrasında magnezyumun etkisinin daha uzun sürmesini sağlıyor. Fakat küre sayısı üzerinde önemli bir etkisi olmadığı için, genellikle bir ön aşama aşısı olarak tercih edilmesi ve farklı bir aşıyla desteklenmesi öneriliyor.

Mg işleminde kullanılan tel verme yöntemi, aşılama amacıyla da kullanılabilir. Tıpkı tel tretman işleminde olduğu gibi, bobin şeklinde temin edilen ve Mg yerine aşı malzemesi içeren bir özlü teli sıvı içine vererek aşılama yapabiliyoruz. Tabii tıpkı Mg işleminde olduğu gibi, aşılamanın telle yapılabilmesi için yine teli kontrollü bir şekilde sıvı içine verebilen makinalardan yardım almamız gerekiyor. Tel aşılama yöntemi de potada gerçekleştirildiği için, bu yöntemi de yukarıda bahsettiğimiz potada aşılamanın farklı bir yolu olarak değerlendirebiliriz.

Geç aşılama

Geç aşılamaı iki şekilde yapılabiliriz: Ya döküm sırasında kalıp içine akan metale aşığı veriyoruz (ağız aşısı), ya da aşığı kalıp içine blok halinde yerleştiriyoruz.

Geç aşılamaı kullanılan aşılarda biraz daha pahalı. Çünkü akışa verdiğimiz aşı her ne kadar nispeten düşük oranda olsa da (~%0,1 – %0,15) ince tane boyuna sahip olduğu için fiyatı artıyor. Kalıp içi aşılarda da nispeten daha pahalı olduklarını biliyoruz. Fakat eğer bu aşılama adımı doğru bir şekilde kullanabilirsek, fire sayısını ya da firesiz üretim için kullanmak zorunda kaldığımız besleyici sayısını azaltarak, maliyetleri aslında daha da düşürmemiz mümkün olabiliyor. O zaman bu önemli adım hangi durumlarda gerekli olabilir, bir bakalım.

Biraz basit bir tarif olacak belki ama, bize bir perspektif sunması açısından pota aşısını aşılamanın bel kemiği, geç aşılamaı ise son bir ince ayar olarak ele alabiliriz. Bu demek değil ki sadece geç aşılamaı ile üretim yapılamaz: Elbette yapılabilir. Fakat aşılama sürecini böyle iki adımda ele almak, hem sıvının yapısındaki, hem de üretim sürecindeki dalgalanmalardan gelebilecek potansiyel zararları minimize etmek için daha efektif ve güvenilir bir çözüm yolu sunuyor.

Buraya kadar iyi güzel ama bir de hangi aşılarda kullanacağız sorusunu sormamız lazım. Bu duruma göre değişiklik gösterdiği için bu konuda en doğru bilgiyi size birlikte çalıştığınız tedarikçi verecektir. Fakat sadece bir fikir vermesi açısından bir örnek verebiliriz: Yukarıda da belirttiğimiz gibi, baryum içeren aşılarda geç aşı olarak etkinliğinin zayıf olduğunu biliyoruz. Baryum, özellikle oksijen ve kükürtü tutma becerisi sayesinde, tretman sonrasında magnezyumun etkisinin daha uzun sürmesini sağladığı için tercih ediliyor.

Bu basit düşünceden anlaşılacağı üzere baryumlu aşılarda özellikle tretimandan hemen sonra, pota aşısı olarak kullandığımız zaman fayda görüyoruz. Etkinliği çok çabuk geçen fakat aşılama potansiyeli çok daha yüksek olan, örneğin stronsyum gibi elementlerin akışa az miktarda verilmesi ise, geç aşılama için çok daha etkili sonuçlara yol açıyor.

Geç aşılamanın özellikle küre sayısının düşük olduğu (100-200 küre/mm²) ve küre sayısını arttırmakta zorluk çeken dökümhaneler için

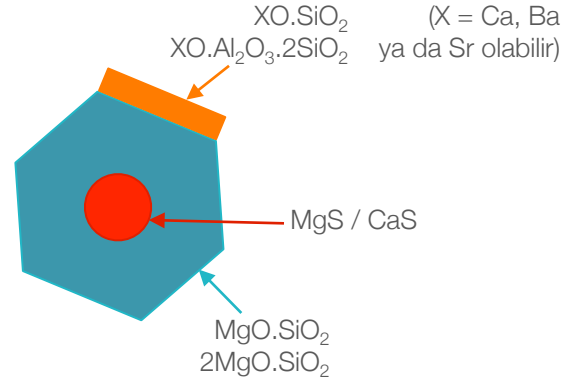
etkili bir çözüm olacağını vurgulayalım. Küre sayısının düşük olması ve mikroyapıda sadece büyük kürelerin görünür olması sadece çekinti problemi değil, aynı zamanda karbür oluşumu gibi sorunlara da yol açabiliyor. Etkili bir geç aşılama uygulamasıyla küre sayısını artırabilir, sıvıda bulunan karbür yapıcı elementlerin belli konumlarda birikmesini engelleyebilir ve mikroçekinti yanında ters çil adını verdiğimiz problemi de giderebilirsiniz.

Aşılamanın mekanizması

Aşılamanın çeşitleri üzerinde durduktan sonra, son olarak bir de aşılamanın nasıl çalıştığı hakkında kısa bir bilgi vermemiz de faydalı olabilir. Zaman zaman dökümhane mühendislerinin kafasında, grafitin eklenen aşı partikülleri üzerinde çekirdeklendiği yönünde yanlış bir algı oluşabiliyor. Fakat işin aslı farklı: Aşı eklendikten sonra sıvı içinde nelerin olup bittiğine dair bazı farklı kuramlar olsa da, teknik literatürde en çok kabul gören kuram, oksit ve sülfür oluşumuna dayanıyor (yandaki resim. Skaland, 1993). Bu kurama göre sıvı içine eklenen aşı ilk olarak çözünüyor. Ardından, sıvı içinde boyu yaklaşık 1 µm civarında CaS ve MgS gibi inklüzyonların oluştuğunu görüyoruz. Daha büyük olanlar cürufa gidiyor olsa da, küçük olanlar sıvı içinde kalabiliyor. Devamında gelen süreçte bu sülfür inklüzyonlarının üzerinde $MgO \cdot SiO_2$ gibi silikatların oluştuğunu görüyoruz. İş burada bitmiyor: Sonrasında bu silikatların üzerinde de Al, Ba,

Küresel grafit çekirdeklenmesi için sıvıda oluşması gereken fazlar

Kaynak: Skaland (1993)



Ca ve Sr gibi elementleri içeren farklı silikatlar çekirdekleniyor. Grafit, işte son aşamada oluşan bu silikat katmanını üzerinde çekirdekleniyor. Zaten bu yüzden küresel grafitli dökme demir üretiminde kullanılan aşılarda Al, Ca ve Ba gibi elementleri içerdiğini görüyoruz.



Küresel Grafitli Dökme Demirde Görülen Döküm Hataları

Wikimedia Commons ©

Tüm dökümcülerin bildiği üzere, dökümcülüğün en zor taraflarından bir tanesi de döküm hatalarıyla uğraşmak. Bu hataları ortadan kaldıracak doğru üretim parametrelerinin belirlenmesinin zorluğu bir yana, zaman zaman karşılaştığımız hatanın ne olduğunu ve altında yatan temel nedeni anlamakta da zorluk çekiyoruz. Dökme demirde gördüğümüz hataları oldukça geniş bir yelpazede ele alabiliriz. Fakat konuyu fazla dağıtmamak adına, bu özel sayıda sadece küresel grafitli dökme demire özgü yaygın döküm hataları üzerinde duracağız.

İlk olarak çekintiyle başlayalım. Çekinti küresel grafitli dökme demire özgü bir hata değil elbette. Fakat bu malzemeyi üreten dökümcülerin en çok başını ağrıtan problemler sıralamasında en başta geldiği bir gerçek.

O yüzden sferodaki döküm hatalarından bahsedeceksek, ilk sırayı çekinti problemine vermemiz gerekir.

Yerli üretim **EXACTCAST™** mini besleyici gömlekleri kullanıcılara yüksek verimlilik sağlıyor



Ankiros Fuarında H3 – B 150
standımıza bekliyoruz.

Sodyum Silikat bağlayıcı ile üretilen mini besleyicilerimizin sağladığı yüksek katma değerden yararlanmanız için sizleri de bekleriz:

Tel.: 0 (312) 212 72 35 / 212 72 84 / 212 72 91

E-mail: info.turkey@ask-chemicals.com

www.ask-chemicals.com

ASKCHEMICALS
We advance your casting



Çekinti

İlk olarak çekinti nasıl oluşuyor, kısaca bir hatırlayalım. Kalıba döküğümüz bir parça soğudukça, parçada hacimsel bir daralma meydana geldiğini hepimiz biliyoruz. Bu daralma, yandaki grafikte de görülebileceği üzere, 3 farklı aşamada gerçekleşiyor: Sıvıda, katılaşma sırasında ve katılaşma sonrasında katıda.

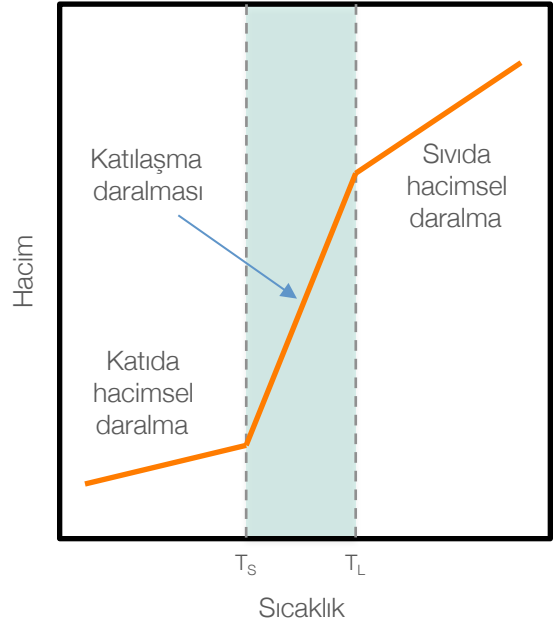
Grafiğe dikkat ederseniz, en büyük miktardaki daralma katılaşma sırasında gerçekleşiyor. Fakat bu durum, çekintinin diğer aşamalarını göz ardı edebileceğimiz anlamına gelmiyor: Örneğin katılaşma öncesinde sıvının soğurken bir miktar çekiyor olması, döküm sıcaklığını yüksek tutarsak, sıvıdaki daralma miktarını arttıracığımızın sinyallerini veriyor. Yüksek döküm sıcaklığının çekintiyi teşvik ettiğini zaten bu nedenle görüyoruz.

Katılaşma başladığı zaman, bu sefer de katılaşma daralması adını verdiğimiz aşama başlıyor. Grafik üzerinde de görülebileceği üzere, katılaşma sırasında oluşan bu daralma, toplam çekinti üzerindeki en büyük etkiyi ortaya çıkartıyor. Katılaşma tamamlandıktan sonra, katılaşmış parçanın hacminde, az da olsa bir miktar daha daralma gerçekleştiğini görüyoruz.

Çekinti hatalarının sınıflandırılması

Yukarıda da belirttiğimiz gibi, çekinti hatalarının ne şekilde sınıflandırılması gerektiği konusunda sağlanmış net bir fikir

Çekintinin oluşma aşamaları

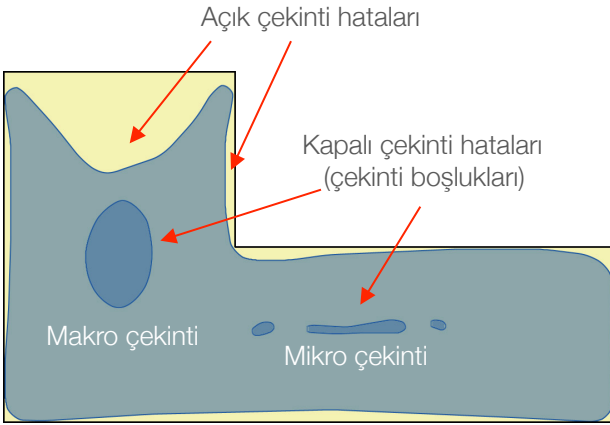


birliği yok. Farklı kaynaklarda ve döküm-hanelerde kullanılan ifadeler arasında farklılıklar olduğunu görebiliyoruz.

Yine de teknik literatüre baktığımız zaman, çekinti hatalarının sınıflandırılmasında çoğu zaman Stefansecu'ya (2009) ait bir yaklaşımın kullanıldığını görürüz. Bu yaklaşımda, çekinti hataları açık ve kapalı olmak üzere ikiye ayrılır. İsimlerinden de anlaşılabilen üzere açık çekintiler parça yüzeyinde, kapalı çekintiler ise parçanın iç kısımlarında görülürler.

Kapalı çekinti hataları, çekintinin boyutlarına göre ikinci bir sınıflandırmaya daha tabi tutulur: Makro ve mikro çekinti hataları. Makro çekintiler genellikle tek ve büyük bir boşluk halinde ortaya çıkarken, mikro çekintiler dendritler arasına dağılmış, minik gözenekler şeklinde yapıda yer alırlar. Bu kapalı çekintilerden bazı kaynaklarda iç çekinti (İngilizce: *internal shrinkage*) adıyla bahsedildiğini de görebilirsiniz.

Çekinti türleri



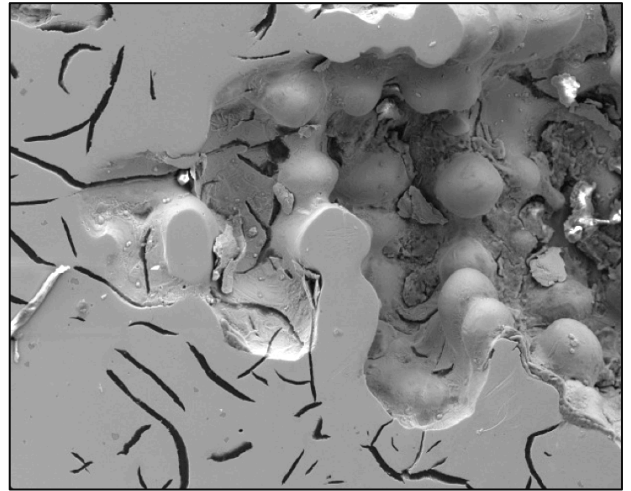
Bu noktada, bir çekinti boşluğuna hangi noktadan sonra mikro adını vermemiz gerektiği konusuna da cevap vermemiz lazım. Tahmin edebileceğiniz üzere, bu konuda da teknik literatürde bir fikir birliğinin sağlanamadığını görüyoruz. Bazı kaynaklar bir takım değerler verse de, bu değerlerin de başvurduğunuz kaynağa göre farklılıklar gösterdiğini görebiliyorsunuz.

Bu ufak gözeneklerin, dendritler arasında besleme zorluğu yaşanan bölgelerde ortaya çıktığını daha önceki yazılarda da belirtmiştik. Bu nedenle bir referans noktası sunması açısından, ancak mikroskop yardımıyla yapılarını net bir şekilde görebileceğimiz, yaklaşık olarak 1 mm'den daha küçük boyuta sahip gözenekleri mikro çekinti olarak sınıflandırabileceğimizi söyleyebiliriz. Örneğin aşağıdaki resimde, gri dökme demir bir parça içinde, dendritler arasında oluşan bir mikro çekintinin elektron mikroskopuyla çekilmiş bir fotoğrafı gösteriliyor. Mikro çekintinin temel özelliklerinden biri olan dendrit kollarının, resimdeki boşluğun içinde nasıl göze çarptıklarını görebilirsiniz.

Gri dökme demirde mikroçekinti

Kaynak: L. Elmquist (2012)

Çekinti boşluğu içinde dendritlerin kolları net bir şekilde seçilebiliyor.



Bazı kaynaklarda ise, mikro çekinti boşluklarının kendi aralarında gözenek (*porosity*) ve mikro gözenek (*microporosity*) olarak sınıflandırıldıklarını da görebiliyoruz. Bu sınıflandırmaya göre boyutları 3 mm ve 1 mm arasında değişen boşluklar gözenek, 1 mm'den daha küçük olanlar ise mikro gözenek olarak tanımlanıyor.

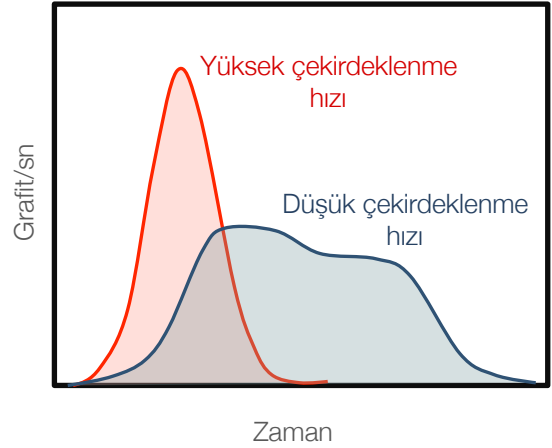
Tek bir döküm hatasının bile kendi içinde birçok farklı varyasyonu olduğunu görebiliyoruz. Hataların bu ince ayrıntılarına hâkim olmamız, bir döküm hatasıyla karşılaştığımız zaman doğru teşhisi koyabilmemiz açısından büyük önem taşıyor. Örneğin daha önceki yazılarda, mikro çekinti hatalarının zaman zaman gaz gözenekleri ile karıştırılabildiklerinden bahsetmiştik. Bu tür yanlışlara düşmemek için hataların biçimsel özelliklerini ve oluşum mekanizmalarını doğru anladığımızdan emin olmamız gerekiyor.

Mikroçekinti oluşumu ve grafit çekirdeklenmesi ilişkisi

Mikroçekintinin oluşumunda, grafitin çekirdeklenme hızı ve süresi büyük bir önem taşıyor. İlk olarak, grafitin çekirdeklenme hızı ifadesiyle ne kastettiğimizi açıklayarak başlayalım. Dökme demir yapısında ortaya çıkan grafit, ister küresel olsun, ister lamel ya da vermiküler, katılaşma sırasında birden bire ortaya çıkmıyor. Bu grafit parçacıkları ilk olarak sıvı içinde birçok noktada birden çekirdeklenmeye başlıyorlar. Ardından, çekirdeklenen grafitlerin büyüdüklerini görüyoruz.

Bu noktada şunu doğru anladığımızdan emin olmamız lazım: Çekirdeklenme, sıvı içinde birçok noktada başlayabiliyor, ama tabii ki bu çekirdeklerin hepsi aynı anda oluşmuyor. Kimi grafit parçacıkları ötektik dönüşümün ilk saniyelerinde çekirdeklenirken, kimi parçacıklar son kalan sıvıda çekirdeklenip, ancak katılaşma sürecinin son faslında ortaya çıkabiliyorlar.

Yüksek ve düşük çekirdeklenme hızı



Bu süreci, yağmuru düşünerek kavrayabiliriz. Yağmur damlacıkları, tıpkı dökme demirdeki grafit parçacıklarının sıvı içinde çekirdeklenmesi gibi, bulutların üzerinde çekirdekleniyor. Tabii bu damlacıklar yer çekimi nedeniyle biraz büyüdükten sonra yeryüzüne doğru düşmeye başlıyorlar. Her ne kadar ilk etapta çok farklı süreçlermiş gibi görünseler de, aslında yağmur damlacıklarının yere düşme hızı, yani yağmurun şiddeti, çekirdeklenme sürecinin ne şekilde gerçekleşebileceğini anlamamız açısından bize güzel bir model sunuyor.

Zaman zaman yağmurun birden bire bastırıldığını görürüz. Bu durum, çekirdeklenme hızının çok yüksek olduğuna işaret ediyor. Yani kısa bir zaman diliminde birçok damla birden çekirdeklenip, aynı anda yere düşmeye başlıyor. Fakat bazen de, yağmurun yavaş yavaş kuvvetlendiğini, bir süre sabit bir hızda yağdığını, sonrasında ise yavaş yavaş dindiğini görürüz. Bu durumda ise, çekirdeklenme hızının daha yavaş olduğunu ve çekirdeklenmenin uzun bir süre, az çok sabit bir hızda devam ettiğini anlıyoruz.

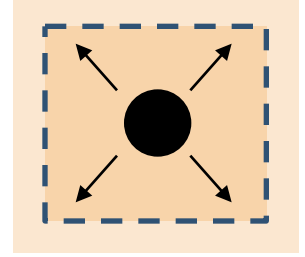
Bu iki çekirdeklenme örneği, dökme demirlerde de karşımıza çıkıyor. Yani grafit çok hızlı bir şekilde, nispeten kısa bir sürede çekirdeklenebileceği gibi, yavaş yavaş, katılaşma sürecinin son aşamasına kadar sürecektir şekilde de çekirdeklenebiliyor. Örnek olarak bir önceki sayfada yer alan grafik, bu iki durumun bir kıyaslamasını sunuyor.

Şimdi gelelim çekirdeklenme hızının çekintiyle olan etkisine. Kalıp içinde katılaşan, ötektik altı kompozisyona sahip bir küresel grafitli dökme demir düşünelim. Sıcaklık sıvılaşma sıcaklığı (likidüs) altına düşünce, katılaşma ilk olarak ağacımsı yapı sergileyen östenit dendritlerinin oluşmasıyla başlayacak. Ya da, daha basit bir ifadeyle söylemek istersek, grafitte sıra gelmeden önce ilk olarak demirin katılaşmaya başladığını göreceğiz. Bu sürecin devamında, sıcaklık ötektik noktaya gelince de, grafit kürelerinin çekirdeklenip büyümeye başladıklarını göreceğiz.

Büyüyen küreler çevrelerindeki sıvıyı itiyor



Sıvı faz



Grafit sıvıyı iterek büyüyor

Çekinti açısından işin püf noktası, dendritlerden sonra ortaya çıkan grafitin büyüme sürecinde saklı: Sıvı içinde büyüyen grafit küreleri, sanki sıvının içinde şişen bir balon gibi, kendilerini çevreleyen sıvıyı itiyorlar. Parça içinde bir yer teşkil edebilmeleri için, yani bir hacim kaplayabilmeleri için, ister istemez kendilerini çevreleyen sıvıyı iteklemek durumundalar. Peki o zaman sormamız gereken soru şu: itilen sıvı nereye gidecek? Tabii ki tekrar besleyiciye gidecek. Çünkü kalıbın içi zaten dolu, kalıp duvarları da sıvının başka bir tarafa gitmesine müsaade etmiyor. O zaman grafitin şişmesi sonucu itilen sıvı, ister istemez tekrar besleyiciye doğru hareket etmek durumunda. Fakat birincil katılaşma sırasında oluşan östenit dendritleri eğer kalıp ve besleyici arasındaki kanalı tıkağılırsa ve sıvıda yoğun bir dendrit ağı oluşmuşsa, o zaman durum farklı: Sıvı tekrar besleyiciye gidemez, çünkü yol kapanmış durumda. İşte o zaman, grafit kürelerinin şişerek ittiği sıvı, çekinti olan bölgeleri doldurmak durumunda kalıyor. Çünkü, yoğun dendrit ağı nedeniyle beslemenin zayıf kaldığı bu bölgelerden başka sıvının ilerleyebileceği bir başka yer kalmıyor.

O zaman, mikroçekintiyi engelleyebilmek için, neye ihtiyaç duyduğumuz da açıklığa kavuşmuş oluyor: Biz, katılaşma sürecinin son faslına kadar grafitin çekirdeklenmeye devam etmesini istiyoruz. Çünkü, yukarıda anlatılanlardan da anlaşılabilceği üzere, parça ve besleyici arasındaki bağlantı açıkken çekirdeklenen grafit kürelerinin bize pek bir faydası dokunmuyor. Çünkü bu küreler sadece sıvıyı tekrar besleyiciye itmeye yarıyorlar. Fakat parça ve besleyici bağlantısı kesildikten sonra, yani katılaşmanın sonlarına doğru çökelen grafit küreleri, sıvıyı çekinti oluşan bölgelere iterek, çekinti oluşmasını engelliyorlar.

Sonuç olarak çekintisiz bir dökme demir üretmek için, yapıdaki tüm karbonun katılaşmanın ilk aşamalarında hızlıca çökmesini engellememiz gerekiyor. Çekinti sadece bu şekilde engellenemez elbette: Fakat işin bu kısmını doğru bir şekilde halletmediğimiz sürece, yaptığımız diğer müdahaleler çekintinin giderilmesi konusunda yetersiz kalabiliyor.

Çekinti ve kompozisyon ilişkisi

Yukarıda, küresel grafitli dökme demirde çekinti oluşmasını engelleyen esas faktörün, katılaşma sırasında oluşan grafit küreleri olduğunu açıkladık. Tabii burada ele aldığımız çekintinin besleyici hesabına bağlı makro çekintiler değil, yapıda toplu iğnenin ucu kadar kendini gösteren mikro çekintiler olduğunu tekrar hatırlatalım. Sıvı içinde çekirdeklenip balon gibi şişen grafit küreleri, çevrelerindeki sıvıyı mikro çekintilerin oluştuğu bölgelere doğru ittiği için, ne kadar

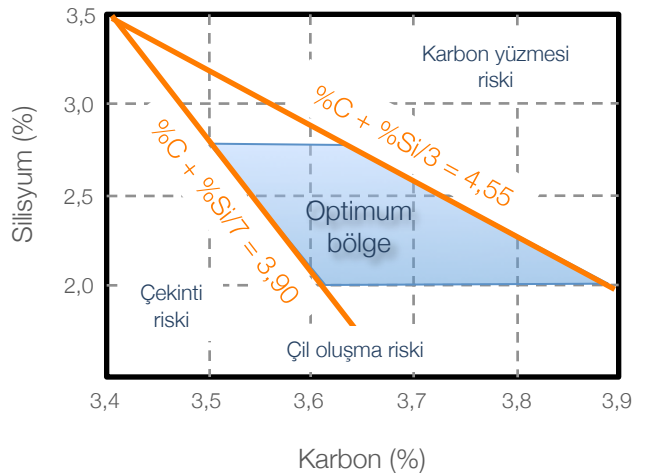
çok grafit küresi oluşmuşsa, çekinti riskinin de o oranda azalacağını anlayabiliyoruz.

Küresel grafitli dökme demirde çekinti problemi yaşayan dökümhaneler, bu basit akıl yürütmeden yola çıkarak karbon eşdeğerini mümkün olduğunca yüksek değerlerde tutma yoluna gidebiliyorlar. Fakat bu sefer de, özellikle ötektik üstü kompozisyona kaydıklarında, ilerleyen sayfalarda ele alacağımız karbon yüzmesi problemiyle karşılaşabiliyorlar.

Bu iki sorunu da yaşamadan, çekintisiz bir küresel grafitli dökme demir dökülebilmek için, ilk olarak kompozisyonu doğru aralıkta seçtiğimizden emin olmamız gerekiyor. Bu seçimi nasıl yapmamız gerektiğini, aşağıdaki diyagramı inceleyerek anlayabiliriz.

Optimum karbon eşdeğeri aralığı

Kaynak: J.R. Davis (1996)



İsı bizim kontrolümüzde!

Unikon; uzman kadroları, titiz üretim ve kalite kontrol aşamaları ile satış öncesi ve sonrasında sürekli hizmet ilkesini benimsemiştir.

Dökümhaneler İçin Besleme Çözümleri

- Mini Besleyiciler
- İzolasyon Besleyici Gömlekleri
- Eksotermik Besleyici Gömlekleri
- Besleyici Örtü Tozları ve Kapakları

Kalıp ve Maça Reçineleri

- CO₂ ile Sertleşen Reçineler
- MeF ile Sertleşen Reçineler
- Havada Sertleşen Reçineler

Soğuk Pota Plakaları

Refrakter Kalıp ve Maça Boyaları



EN ISO 9001:2015

ANKIROS
2016

ANNOFER
2016

TURKCAST
2016

29 Eylül-01 Ekim 2016 TÜYAP Fuar ve Kongre Merkezi

Salon 3 - Stand No: E100

UNİKON METALURJİ ve
KİMYA SAN. TİC. LTD. ŞTİ.

Ofis // Office:

Orhantepe Mh. Orhangazi Cd. No:93/2 34865 Dragos/Kartal/İstanbul/Turkey
T: +90 216 399 98 68 F: +90 216 442 11 90

Fabrika ve Satış Ofisi // Factory & Sales Office:

Mollafenari Yolu Cd. No:104 Pelitli Köyü Gebze/Kocaeli/Turkey
T: +90 262 751 39 03 F: +90 262 751 38 88
satis@unikon.com.tr

www.unikon.com.tr

U N I K O N

Bu diyagram üzerinde de görebileceğimiz gibi, çekintiden kaçarken karbon yüzmesine yakalanmamak için, %C + %Si/3 değerinin %4,55'in altında olması gerekiyor. Yine diyagram üzerinde görülen %C + %Si/7 değeri %3,9'un altına düşmüşse, bu sefer de büyük bir çekinti riskinin ortaya çıktığını görüyoruz.

Bu diyagram ince kesitler için geçerli bir resim ortaya koysa da, yaklaşık 1.5 cm'den daha ince kesitlerde de çekintiye yakalanmamak için bu diyagramda verilen değerlerin daha da üzerinde karbon eşdeğerinde çalışmak gerekebilir. Kesit kalınlığı arttığında ise, bu sefer karbon yüzmesi daha muhtemel bir sorun olacağı için, karbon eşdeğerini mümkün olduğunca optimum alan içinde, fakat düşük değerlerde tutmak gerekiyor.

Yüksek karbon eşdeğeri de çekintiye tetikleyebilir

Önceki sayfada yer alan grafik üzerinde, karbon eşdeğerinin yüksek olması durumunda sadece karbon yüzmesi olabirmiş gibi görünse de, aslında yüksek karbon eşdeğeri de çekinti oluşumunu tetikleyen faktörlerden bir tanesi. Diğer bir deyişle, aslında karbon eşdeğeri yüksek olduğunda da çekinti problemiyle karşılaşabiliyoruz. Bunun temel nedeni, grafit kürelerinin büyümesi sırasında yaratılan basınç değerinin ötektik-üstü alaşımlarda düşük olması.

Basit bir şekilde açıklamaya çalışalım: Grafit kürelerinin büyürken çevrelerindeki sıvıyı

ittiklerini biliyoruz. Eğer ötektik altı kompozisyona sahip bir alaşım katılıyorsa, grafit küreleri ortaya çıkmadan önce, bir miktar östenit dendritinin oluşmasıyla besleyici ve parça arasındaki kanallar tıkanıyor. Böylece sıvının besleyiciye itilmesi engellendiği için, grafit küreleri sıvıyı iterken yüksek bir basınç yaratabiliyorlar. Ötektik üstü alaşımlarda ise östenit dendritleri görülmediği için, besleyici ve parça arasındaki kanallar daha geç donuyor. Dolayısıyla grafit küreleri büyürken çevrelerindeki sıvıyı tekrar besleyiciye itebiliyorlar: Yani bir anlamda, parçanın besleyiciyi beslediğini görüyoruz. Sıvının parçadan besleyiciye doğru rahata akabiliyor olması, yani kalıp içine hapsolmaması nedeniyle, grafit küreleri sıvıyı iterken yüksek bir basınç yaratamıyor. Çünkü sıvı besleyiciye rahatlıkla ilerleyebiliyor. Çekinti boşluklarını beslemesi gereken bu sıvı besleyiciye gidince, döktüğümüz parçada yine çekinti boşluklarıyla karşılaşabiliyoruz.

Doğru karbon eşdeğeri aralığında çalışmak, çekinti probleminden kurtulmanın ilk adımı. Fakat malesef tek adımı değil. Çekinti sorununu yaşamamak için, daha başka faktörleri de kontrol altına aldığımızdan emin olmak gerekiyor. Örneğin küreselleştirme işleminde kullandığımız küreselleştirici de çekintiye yol açan bir etken olarak karşımıza çıkabiliyor. Bir sonraki konu başlığında küreselleştirici seçiminin etkisi üzerinde duracağız.

Küreselleştirici seçimi ve çekinti ilişkisi

Yukarıda, grafitin çekirdeklenme hızını kontrol ederek çekinti eğilimini azaltabileceğimizi belirtmiştik. Bu etki sadece aşılama ile değil, küreselleştirme işlemi sırasında kullanılan alaşımın türüyle de sağlanabiliyor.

Türkiye'deki dökümhanelere baktığımızda, küreselleştirme işleminin genellikle FeSiMg alaşımı kullanılarak yapıldığını görüyoruz. Çeşitli tedarikçilerden elde edilebilen FeSiMg içinde, mutlaka bir miktar Seryum (Ce) gibi nadir toprak elementlerinin bulunduğunu biliyoruz. Küre sayısını optimize etme konusunda büyük faydası olan bu elementler, aynı zamanda dökme demirde bulunan kurşun (Pb), antimon (Sb) titanyum (Ti) ve bizmut (Bi) gibi istenmeyen elementlerle kararlı intermetalik bileşikler oluşturarak, bu zararlı elementlerin etkisini ortadan kaldırma görevi görüyorlar.

FeSiMg içine eklenen nadir toprak elementlerine baktığımızda, genellikle *mischmetal* adı verilen bir nadir toprak elementi karışımı kullanıldığını görüyoruz. Mischmetal her ne kadar çekintiye karşı bir miktar koruma sağlasa da, lantan (La) miktarı optimize edilerek hazırlanmış FeSiMg alaşımları kullanıldığında, küresel grafitli dökme demirde sıklıkla karşılaşılan çekinti problemine karşı daha etkin bir koruma sağlanabiliyor.

Mischmetal yerine saf lantan (La) içeren bu alaşımlar, küre sayısını arttırdığı gibi, aynı

Mischmetal parçacıkları

Wikimedia Commons (CC BY-SA 3.0)



zamanda kürelerin boyut dağılımını da optimize eden bir etki ortaya çıkartıyor: Katılaşmanın ilk evrelerinde ortaya çıkan büyük kürelerin sayısı azalırken, katılaşmanın ilerleyen evrelerinde ortaya çıkan orta ve küçük boyutlu kürelerin sayısında bir artış gerçekleşiyor. Küresel grafitli dökme demirde ortaya çıkan çekinti problemini gidermek için bu küçük kürelere ihtiyaç duyulduğu için, sonuç olarak çekinti oluşma eğiliminde bir azalma meydana geldiğini görüyoruz.

Lantanın bu etkisi özellikle ince kesitli parçalarda çekinti problemi yaşayan dökümhanelere bir çözüm sunuyor. Fakat lantan miktarının yüksek olması durumunda, ilerleyen sayfalarda bahsedeceğimiz patlak grafit sorunuyla karşılaşabileceğimizi de parantez içinde belirtelim.



Sfero parçalarda ezik yüzeyler



IMERYS IMERYS'in Katkılarıyla
Metalcasting Solutions

Cihan Aktolga
cihan.aktolga@imerys.com

Küresel grafitli dökme demirde karşılaştığımız bir diğer hata türü de ezik yüzeyler. Aslına bakarsanız ezik yüzeyler, küresel grafitli dökme demir dökten dökümhaneler için biraz gizemli bir konu. Çünkü teknik literatüre baktığımız zaman, ne yazık ki bu hata türü hakkında pek bir bilgi bulamıyoruz. Dolayısıyla sadece literatür araştırması yaparak, bu sorunun çözümüne yönelik pratik tavsiyeler bulmak pek de kolay bir iş değil.

Bu problemin herhalde en dikkat çeken ve ilk göze çarpan yönü, sfero parçaların yüzeyinde, krater görünümünde ortaya çıkıyor olması. Bu ezikler tek bir bölgede yoğunlaşarak oluşabildiği gibi, geniş bir alanda yığınlar halinde de ortaya çıkabiliyor.

Bu problemle birlikte ortaya çıkan bir diğer önemli gösterge de, parça yüzeyinin hemen altında yer alan kürelerde biçimsel bozunma sonucunda lamelleşmenin başlıyor olması. Eğer bu saydığımız göstergeler size tanıdık geliyorsa, siz de **ezik yüzey** problemini yaşıyor olabilirsiniz.

Hatanın kökeninde ne yatıyor?

Her şeyden önce şunu söylememiz lazım ki, ezik yüzey olarak tanımlanan bu hata türünü sadece sfero parçalarda ve bentonit bağlı kum kalıplarda görüyoruz. Hatanın ortaya çıktığı bölgelere baktığımız zaman ise, bu hatanın genellikle yüksek miktarda termal yüke maruz kalan bölgelerde oluştuğunu gözlemliyoruz.

Bu problem, egzotermik besleyici kalıntıları-
nın kalıp kumuna karıştığı, ya da küreselleş-
tirme için yapılan Mg tretmanı sırasında sıvı
içine giren florürlerin varlığında ortaya çıkıyor.
Bu hatayla birlikte ortaya çıkan oyukların
yüzeylerinin altında hem oksitlerin, hem de
lamelleşmenin görülüyor olması, bu
problemin ardında oksitleyici bir etkinin
yattığı konusunda ipuçları veriyor.

Bu bilgiler ışığında, bu hatanın kökeninde ne
yatıyor diye sorduğumuz zaman, sıvı içine
giren florürlerin magnezyum oksit tabakasını
tahrip ettiği ve kalıp kumundan gelen neme
bağlı oksijenin, kalan magnezyumla tepki-
meye girmesi sonucunda lamelleşmenin
gerçekleştiği sonucuna varabiliriz.

Olası sebepler

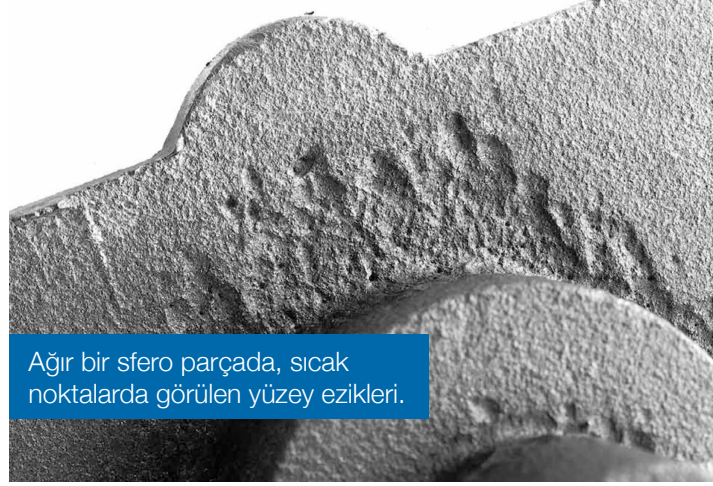
Eğer siz de bu sorunu yaşıyorsanız,
problemin kaynağında iki farklı neden
aramanızı tavsiye ederiz. Bu hatayı ya
kullandığınız bentonit bağlı kuma, ya da
metalurjik bazı etkenlere bağlı olarak yaşıyor
olabilirsiniz. Bu etkenleri şu şekilde kısaca
özetleyebiliriz:

Bentonit bağlı kum

- ✓Egzotermik besleyici kalıntıları çok fazla,
- ✓Kalıp kumunun tazelenme oranı çok düşük, dolayısıyla florür miktarı yüksek,
- ✓Nem seviyesi çok yüksek.

Metalurjik

- ✓Kalan %Mg miktarı çok yüksek.



Ağır bir sfero parçada, sıcak noktalarda görülen yüzey ezikleri.

Nasıl giderebilirsiniz?

Bentonit bağlı kum

- ✓Kalıp kumundan besleyici kalıntıları temizlenmeli. Metale yapışan ve dağılmayan besleyiciler tercih edilmeli. Sistem yeni kum girişiyle sürekli yenilenmeli.
- ✓Yalıtkan tip besleyiciler kullanılmalı ya da florürsüz ve az florürlü besleyiciler tercih edilmeli.
- ✓Kalıp kumundaki nem ihtiyacı, bentonit gelişimini iyileştirerek ya da bentonit miktarını kısararak azaltılmalı. Daha kaliteli, yüksek montmorillonit içeriğine sahip bentonitlerle daha iyi bağlanma mukavemeti sağlanarak sistem nemi azaltılabilir.
- ✓Daha aktif parlak karbon katkıları kullanılarak daha hızlı redükleyici gaz çıkışı sağlanmalı ve kalıp içi oksidasyon ve reaksiyonlar azaltılmalı.

Besleme ve döküm pratiği

- ✓Ekzotermik besleyici kullanımı azaltılmalı.

Yaratıcılığı yeniden
şekillendiriyoruz.
Değerlerimizi koruyoruz.



IKO ve S&B artık
IMERYS Metalcasting Solutions.

Kalıp kumu ve katkılarındaki uzmanlığımızı
senelerdir Türkiye'de ve Avrupa'da Iko Bond D® ve
Polybenton® adı altında Bentonit ve Kömür Tozu
karışımları ürünlerimizi kullanan
dökümhanelerle paylaşıyoruz.

Foundry.Turkey@imerys.com
www.imerys.com



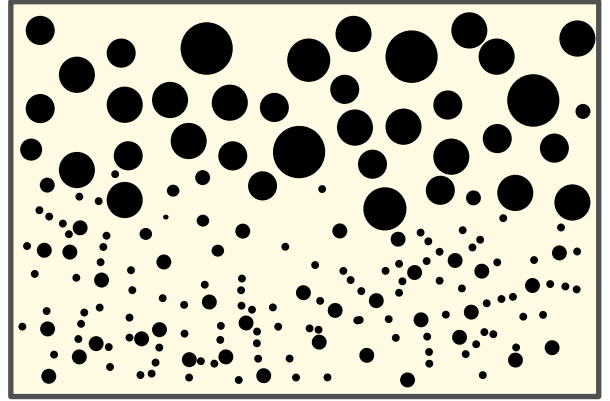
Karbon yüzmesi

Bir bardağa gazlı bir içecek koyduğunuzu düşünelim: Örneğin kola. Bardağa baktığınızda, kolanın içindeki gaz kabarcıklarının yüzeye doğru çıktığını ve yüzeyde ince bir köpük tabakası oluştuğunu görüyorsunuz, değil mi? Kolanın içinde oluşan gaz kabarcıkları, hafif olmaları nedeniyle yüzeye çıkıp, yüzeyde birikiyorlar.

Dökme demirde karbon yüzmesi (*graphite flotation*) adını verdiğimiz durumda da aynı işleyiş gerçekleşiyor: Grafit küreleri sıvı dökme demire kıyasla çok daha hafif. Dolayısıyla, tıpkı kolanın içindeki gaz kabarcıkları gibi yüzerek sıvının yüzeyine ulaşma eğilimi taşıyorlar. Bunun doğal sonucu olarak, kolanın üzerini kaplayan köpük tabakası gibi, dökme demir parçanın üst yüzeyinde de bir grafit küresi birikimi görüyoruz. Bu problemin sıvı alaşım henüz potadayken gerçekleşmediğine dikkat ediniz: Grafit parçacıkları sıvı alaşım kalıba döküldükten sonra oluştuğu için, kalıp içindeki katılaşma sırasında gerçekleşen ve kendini parça yüzeyinde koyu renkli bir tabaka halinde gösteren bir problemden bahsediyoruz.

Bu noktada akla gelen ilk soru herhalde şu: Eğer grafit küreleri hafif oldukları için yüzeye gitmek istiyorlarsa, neden döktüğümüz her parçada bu sorunu görmüyoruz? Ya da, sorunsuz bir parçada grafit kürelerini parçanın içinde tutan ne?

Karbon yüzmesi olan bir parçadan tipik bir dikey kesit görüntüsü (şematik)



Grafit kürelerini parçanın içinde tutan, katılaşma sürecinin kendisi. Ötektik altı bir alaşımda, katılaşmanın ilk olarak östenit dendritleriyle başladığını biliyoruz. Ağacimsı bir yapı sergileyen bu dendritler, grafit ayrışması öncesinde bir ağ misali parça içini sardıkları için, grafit küreleri çekirdeklandiklerinde bu dendrit ağına takılıyorlar. Dolayısıyla, parçanın yüzeyine çıkmaları engellenmiş oluyor.

Bu basit düşünce, karbon yüzmesini engellemenin püf noktasını da açığa kavuşturmuş oluyor: Karbon eşdeğerini düşürmek. Karbon eşdeğeri yüksek, ötektik üstü kompozisyona sahip parçalarda oluşan grafit kürelerini yakalayacak ve parça içinde tutacak bir dendrit ağı bulunmadığı için, küreler ister istemez parça yüzeyine doğru

ilerleme fırsatı bulabiliyorlar. Elbette bu sürecin gerçekleşebilmesi için, bu kürelerin parça yüzeyine ulaşacak zamanı bulmaları gerektiğini, yani katılma süresinin nispeten uzun olması gerektiğini söylememiz lazım. Bu nedenle karbon yüzmesini kalın kesite sahip, yavaş soğuyan parçalarda görüyoruz.

Bir önceki sayfada yer alan resme dikkat ederseniz, yüzeye doğru yüzmüş ve yüzeyde köpük misali birikmiş grafit kürelerinin, altta kalan kürelere kıyasla daha büyük olduğunu görebilirsiniz. Yukarıdaki kürelerin daha büyük olması, bu kürelerin daha erken çekirdeklenmelerini ve büyümek için daha uzun zamanları olduğunu gösteriyor. Katılmanın nispeten daha geç evrelerinde oluşan ve resmin alt kısmında görülen grafit küreleri ise, dikkat ederseniz daha küçük kalmışlar. Bu resim bize karbon yüzmesini engellemenin bir diğer yolu hakkında ipucu veriyor: Büyük küreler her ne kadar erkenden çekirdeklenip yüzeye çıkmış olsalar da, katılmanın ilerleyen evrelerinde oluşan küçük küreler sıvının ağdalaşması, yani viskozitesinin artması nedeniyle de sıvı içinde kalabiliyorlar. Dolayısıyla, grafitin hızlı bir şekilde çekirdeklenmesine fırsat vermeyecek ve grafit parçalarını katılmanın nispeten geç evrelerine doğru çekirdeklenmeye itecek bir aşılama pratiği de, bu sorunun giderilmesi için bir çözüm yolu olabilir. Fakat yine de, bu problemi gidermenin en kesin yolunun karbon eşdeğerini düşürmek olduğunu tekrar söylememizde fayda var.

Burada bahsettiğimiz mekanizmaya dair bir noktayı açıklığa kavuşturalım: Zaman zaman ocağa geç karbon verildiğinde de dökümhanelerin buna benzer bir sorunla karşılaştıklarını görebiliyoruz. Karbon yüzmesi adını verdiğimiz durum bundan farklı: Ocağa geç karbon verildiğinde karbon tam çözünmeden hızlı bir şekilde döküm yapılırsa, o zaman çözünmeyen bu karbon parçacıkları da kalıp içine girip, parça yüzeyinde birikebiliyorlar. Fakat bizim bu yazıda karbon yüzmesi olarak tarif ettiğimiz problem, karbon tam olarak çözünmüş olsa da karşımıza çıkıyor. Çünkü grafit küreleri sıvı içinden çekirdeklenerek yüzeye çıkıyorlar. O nedenle burada ele aldığımız problemin, ocağa geç karbon verilmesiyle ilgili bir durum olmadığını belirtelim.

Bodur (chunky) grafit

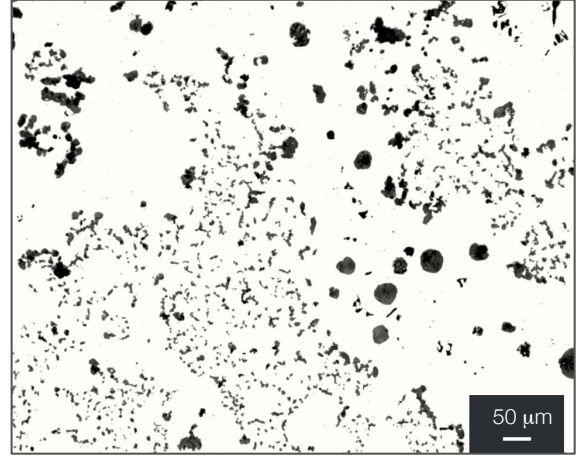
Bodur, ya da daha yaygın kullanılan adıyla *chunky* grafit, küresel grafit morfolojisinde meydana gelen bir bozulma nedeniyle ortaya çıkan bodur ve solucanımsı yapıdaki grafit parçalarına verdiğimiz isim. Uygulanan kalıplama ve döküm yönteminden bağımsız olarak ortaya çıkan bu problemle, özellikle kalın kesite sahip ve yavaş soğuyan parçalarda karşılaşıyoruz.

Mikroskop altında çok ince yapıda ve solucanımsı bir şekle sahip olarak kendini gösteren chunky grafit, aslında bir açıdan vermiküler (kompakt) grafiti de andırıyor. Fakat vermiküler grafitten farklı olarak chunky grafit hem daha ince bir yapıda, hem de döküm parçanın her yerinde değil, lokal bazı bölgelerde ortaya çıkıyor. Yani yapının genelinde küresel grafitli dökme demir yapısını görüyor olmamıza rağmen, yer yer, topaklar halinde solucanımsı yapıya sahip bu grafit parçacıklarının ortaya çıktığını gözlemliyoruz.

Chunky grafit problemine sahip bir parçayı kestiğimizde, bu problemin olduğu kısımlar parça kesiti üzerinde nispeten koyu renge sahip noktalar halinde göze çarpıyor. Fakat küresel grafitli dökme demirde (ve yine özellikle kalın kesitli parçalarda) karşılaştığımız bir başka sorun olan dross da benzer bir şekilde görüldüğü için, mikroyapı analizi yapmadan, sadece parça kesitine bakarak bir değerlendirme yapmak yanıltıcı olabiliyor.

Chunky (bodur) grafit

Kaynak: Kallbom et al. (2006)



Teknik literatürde bu problem üzerine yayımlanan araştırmalara baktığımızda, seryum (Ce), kalsiyum (Ca), silisyum (Si) ve nikel (Ni) elementlerinin bu problemin ortaya çıkmasını tetiklediğini görüyoruz. Magnezyum ile yapılan küreselleştirme işlemi için kullanılan çoğu ferroalyaj içinde seryum gibi bir miktar nadir toprak elementi olduğunu biliyoruz. Ferroalyajdan gelen seryum, alaşımda az da olsa bulunan kurşun (Pb), titanyum (Ti) ya da bizmut (Bi) gibi elementlerle intermetallik bileşikler oluşturduğu için, çoğu zaman seryumun bu olumsuz etkisiyle karşılaşmadan döküm yapabiliyoruz. Fakat eğer kullanılan şarj malzemeleri yukarıda bahsi geçen kurşun, titanyum ve bizmut gibi elementleri düşük miktarda içeriyorsa, o zaman ferroalyajdan gelen seryumun etkisi ortaya çıkarak, chunky grafit oluşumunu tetiklenebiliyor.

Chunky grafit oluşumunun mekanizması

Bu özel sayının önceki sayfalarında, grafit çekirdeklendiğinde çevresinde hemen bir östenit kılıfı oluştuğundan bahsetmiştik hatırlarsanız. Grafitin küresel değil de solucanımsı bir yapı sergiliyor olması, bu östenit kılıfının sıvı ve grafit arasındaki teması engelleyecek şekilde grafiti tam olarak sarmalamadığını akla getiriyor. Bu çerçevede teknik literatürde yapılan değerlendirmelere bakıldığında, sıvıdaki termal dalgalanmalara bağlı olarak bu östenit kılıfının kısmen zarar gördüğünü iddia eden, ya da grafitin dallanmasını segragasyon kaynaklı yüzey gerilimi değişimlerine bağlayarak açıklayan çeşitli teoriler olduğunu görüyoruz. Bu çeşitli teoriler üzerinde henüz bir görüş birliği olmasa da, chunky grafitin sergilediği solucanlı yapı, tıpkı vermiküler grafitli dökme demirde olduğu gibi, kısmi de olsa ortak büyüme sürecinin rol oynadığını gösteriyor.

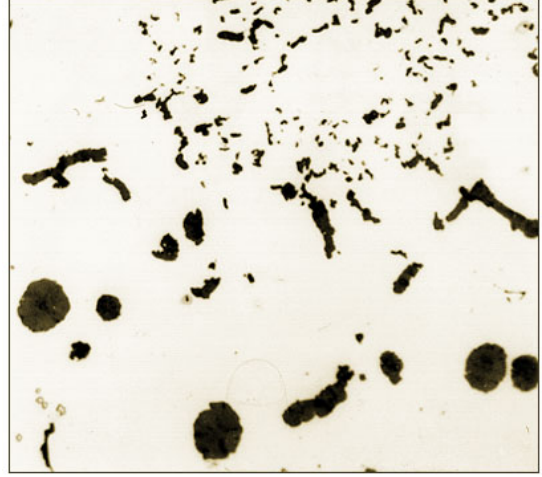
Chunky grafitten nasıl kurtulabilirsiniz?

Chunky grafit özellikle yavaş soğuyan kesitlerde ortaya çıktığı için, doğal olarak akla gelebilecek ilk çözüm yöntemi, soğuma hızını soğutucu çiller kullanarak arttırmak. Chunky grafit içeren bölgelerden yapılan lokal kimyasal analizlerde, bu grafit yapısını çevreleyen matris içinde nispeten yüksek miktarda silisyum bulunduğu, teknik literatürde sunulan çalışmalarda görülebilir. Dolayısıyla yüksek silisyum da chunky grafit oluşumunu tetikleyen bir etki ortaya çıkardığı için, silisyum miktarını maksimum %2 – %2,2 aralığında tutmak ve karbon eşdeğerini de mümkün olduğunca düşürmek, sorunun giderilmesine yardımcı olabiliyor.

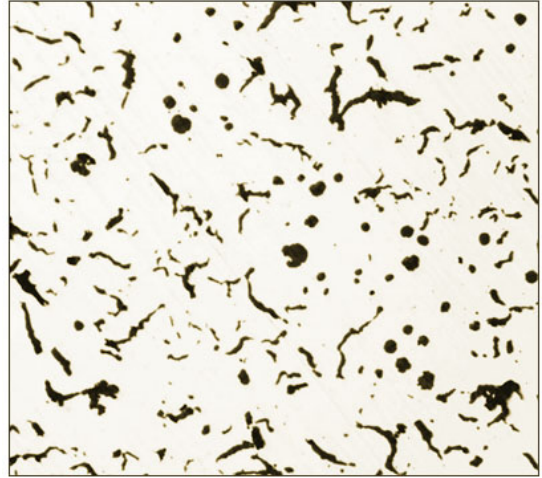
Chunky ve vermiküler grafit kıyaslaması

Chunky grafit belli konumlarda topaklanmış şekilde oluşurken, vermiküler grafit bütün yapıya dağılmış bir şekilde ortaya çıkıyor.

(A) Chunky grafit



(B) Vermiküler grafit

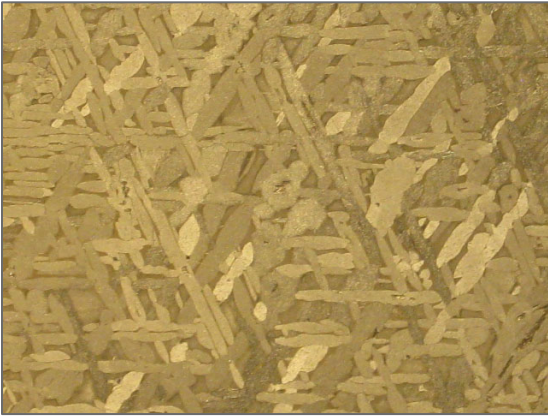


Sivri, iğnemsî (spiky) grafit

Metalurji eğitimi almış okuyucularımız biliyor-
dur: Çeşitli malzemelerin mikroyapılarında
gözlemlediğimiz ve *Widmanstatten* adı
verilen yapısal bir doku biçimi vardır. Aynı
isme sahip Avusturyalı bir bilim adamının
çeşitli meteortaşları üzerine yaptığı
araştırmalarda gözlemlediği keskin çizgilere
sahip bu doku, sadece meteortaşlarında
değil, çeliklerde, titanyum ve zirkonyum
alaşımlarında sıklıkla karşımıza çıkabiliyor. Bu
yazıda ele alacağımız sivri grafit de, aslında
grafitin büyüme sürecinde bu dokuyu
sergilemesi sonucunda ortaya çıkıyor. O
nedenle sivri grafitten bazı kaynaklarda
Widmanstatten grafit adıyla bahsedildiğini
de görebilirsiniz.

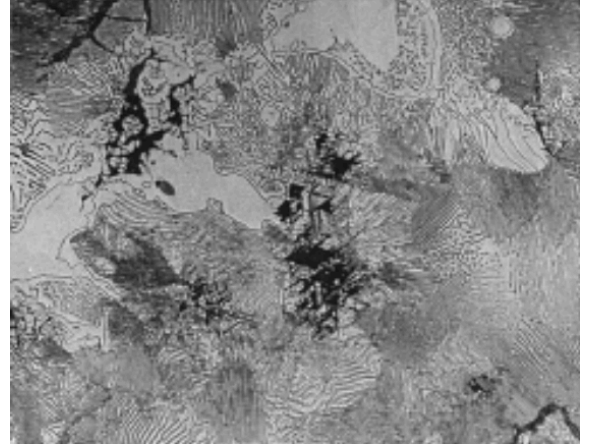
Meteortaşı üzerinde görülen Widmanstatten dokusu

Kaynak: Wikimedia Commons



Widmanstatten yapısında grafit

Kaynak: Goodrich (1997)



Sivri grafitin ortaya çıkmasını sağlayan en
bilindik etken, alaşımda kurşun (Pb), bizmut
(Bi), titanyum (Ti) ya da antimon (Sb) gibi
zararlı elementlerin bulunması. Bu yapının
ortaya çıkması için alaşımda %0,0005
oranında kurşun bulunmasının yeterli
olduğunu, teknik literatürde sunulan
çalışmalarda görebiliyoruz.

Eğer döktüğünüz parçada bu tür bir sorunla
karşılaşıyorsanız, bu illa ki kullandığınız
ferroalyajda fazla miktarda Pb, Sb, Ti ve Bi
gibi zararlı elementler olduğu anlamına
gelmiyor. Bu zararlı elementler, ferroalyajdan
ya da aşılایıcıdan gelen seryum (Ce) gibi
nadir toprak elementleriyle kararlı
intermetalik bileşikler oluşturduğu için,
alaşımda bulunmalarına rağmen çoğu
zaman bu zararlı elementlerin etkisini
görmeyebiliyoruz. Fakat eğer kullandığınız

ferroalyajdan veya aşından gelen bu nadir toprak elementlerinin miktarı yetersiz kalırsa, o zaman ister istemez bu zararlı elementlerin etkisi ortaya çıkmaya başlayabiliyor. Yani bu sorunu görüyor olmanız, illa ki normalden daha kirli bir şarj kullandığınız anlamına gelmiyor. Ferroalyajlardaki nadir toprak elementi seviyesinin azalması da, birden bire bu sorunla karşılaşmanıza neden olabilir.

Sivri grafit, tıpkı bodur (chunky) grafit gibi dökülen parçanın tümünde değil, lokal olarak, bazı bölgelere yoğunlaşmış şekilde ortaya çıkıyor. Sivri grafit, dökme demirin mekanik özelliklerini olumsuz bir şekilde etkilediği için, mutlaka giderilmesi gereken bir sorun. Sivri grafit içeren dökme demirlerin özellikle çekme dayanımında ciddi bir düşüş gerçekleştiğini görüyoruz.

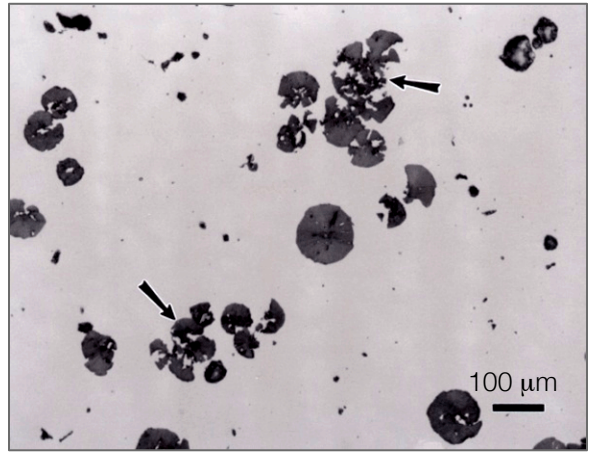
Sivri grafit bir kere oluştuktan sonra, ısı işlem gibi bir yöntemle giderilmesi de mümkün olmuyor. Mutlaka ergitme aşamasında seryum (Ce) gibi nadir toprak elementleri içeren bir aşı ya da ön koşullandırıcı kullanılarak, bu soruna bir çözüm aranması gerekiyor.

Patlak (exploded) grafit

Patlak grafitin en belirgin özelliği, adından da anlaşılacağı gibi, küre yapısındaki grafitin sanki patlamış gibi bir yapıda katılmış olması. Küre formunda oluşmasını beklediğimiz grafit parçacıklarını bu şekilde patlatan etken ise, alaşımda bulunan bazı nadir toprak elementleri.

Patlak grafit

Kaynak: G.V. Voort (2015)



Küresel grafitli dökme demir üretiminde kullanılan bazı ferroalyajlar (ve aşılar) belli miktarda seryum (Ce), lantan (La) ve neodim (Nd) gibi nadir toprak elementleri içerebiliyorlar. Bu elementlerin varlığı aslında dökme demir için bir açıdan iyi; çünkü bu elementlerin sıvı içinde bulunan kurşun (Pb), antimon (Sb), titanyum (Ti) ve bismut (Bi) gibi

bazı zararlı elementlerin etkisini nötrleştirme becerisine sahip olduklarını biliyoruz. Nötrleştirmek derken, bu zararlı elementler ve nadir toprak elementleri arasında sıvı fazda kararlı intermetalik bileşikler oluştuğunu ve bu nedenle bu zararlı elementlerin grafit yapısını etkileyemeden, bileşik içinde kaldığını ifade ediyoruz.

Bazı nadir toprak elementleri grafitin küreselleşmesine yardımcı olsa da, fazla miktarda yapıda bulunduklarında grafit yapısında bozulmalara yol açabiliyorlar. İşte burada üzerinde durduğumuz patlak grafit yapısı da, bu tür durumlarda ortaya çıkan problemlerden bir tanesi. Bu problemin daha ziyade kalın kesite sahip parçalarda ve karbon eşdeğerinin yüksek olduğu durumlarda ortaya çıktığını da parantez içinde belirtelim.

Eğer döktüğünüz parçada bu tür bir sorunla karşılaşıyorsanız, bu illa ki kullandığınız ferroalyajda fazla miktarda nadir toprak elementi bulunduğu anlamına gelmez. Ferroalyajdan gelen nadir toprak elementleri, sıvı alaşımda bulunan Pb, Sb, Ti ve Bi gibi zararlı elementlerle bileşik oluşturdukları için, aslında çoğu zaman bu nadir toprak elementlerinin etkilerini göremiyoruz. Fakat eğer çok temiz bir şarj hazırladıysanız, sıvı içinde ferroalyajdan gelen nadir toprak elementlerini nötrleştirecek Pb, Bi, Sb ve Ti gibi elementler olmadığı için, ister istemez nadir toprak elementlerinin olumsuz etkilerini görmeye başlayabiliyoruz. Diğer bir deyişle patlak grafitin ortaya çıkması illa şarjınızın kirli olduğu anlamına gelmez: Aksine, çok temiz olduğu şeklinde de yorumlanabilir.

Bu tür sorunlarla uğraşırken, dökümhanelerin gözünden zaman zaman kaçabilen ama dikkat edilmesi gereken bir diğer önemli etken de, dip metal kullanımı. Yukarıda bahsi geçen nadir toprak elementleri oldukça yüksek sıcaklıklarda buharlaştıkları için, her ne kadar bir kısmı cürufa gitse de, genellikle dip metal içinde kalıp, ocağa yeni alaşım eklendikçe birikme eğilimi gösterebiliyorlar. Bu da, kullandığınız şarj malzemeleri içinde ciddi miktarda nadir toprak elementi olmasa da, ocak dibinde kalan dip metal üzerine ekleme yaparak yeni şarj hazırladığınızda, bu elementlerin konsantrasyonunun her yeni şarjda artacağı şeklinde yorumlanabilir. Bu nedenle dip metal bırakarak şarj hazırlandığı durumlarda, gün sonuna doğru bu tür bir sorunla karşılaşmamak adına nadir toprak elementi içermeyen alyajlarla küreselleştirme işlemine girmeniz yerinde bir tercih olacaktır.

Bu sorun özellikle kalın kesitli ve yüksek karbon eşdeğerine sahip parçalarda ortaya çıktığı için, nadir toprak elementlerine yönelik bir çözüm sağlanamadığı durumlarda, karbon eşdeğeri düşürülerek de çözüm yoluna gidilebilir.

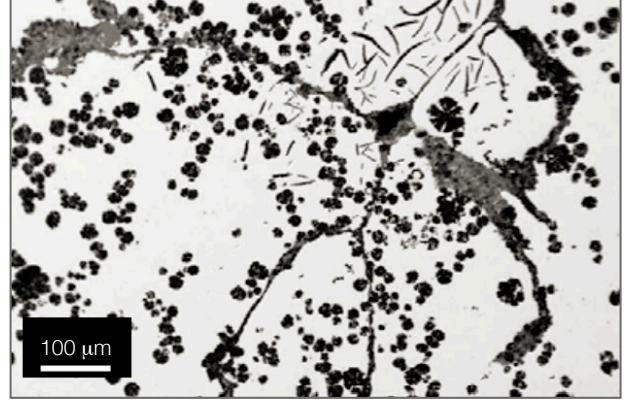
Dross

Öncelike drossun tarifini yaparak başlayalım: Dökme demirlerde gözlemlediğimiz şekliyle dross, magnezyum işlemi sonrasında bir yan etki olarak ortaya çıkan bir problem. Bu ifadeden de anlaşılabilceği üzere, dross oluşumu için mutlaka dökme demirin yapısında bir miktar magnezyum bulunması gerekiyor. Bu nedenle dross lamel grafitli (gri) dökme demirlerde değil, magnezyum işleminden geçen küresel grafitli dökme demirlerde karşımıza çıkıyor.

Dökme demir üretiminde uygulanan magnezyum işlemi, sıvı metal içindeki çözünmüş oksijen ve kükürt oranlarını belli bir seviyenin altına düşürmek için yapılıyor. Bu işlem sırasında eğer gereğinden fazla miktarda magnezyum kullanılırsa, arta kalan magnezyum silisyum ve oksijenle birleşerek ince zar yapısında çeşitli magnezyum silikat filmleri ortaya çıkartabiliyor. Düşük ergime noktasına sahip işte bu silikat filmlerini dross olarak adlandırıyoruz. Sıvı dökme demire kıyasla çok daha hafif olan zar yapısındaki bu filmler yüzeye doğru yüzme eğiliminde oldukları için, dross'un genellikle parçanın üst kısımlarında ve maça altlarında kümелendiğini görüyoruz. Bu yüzden drossu dökülen parçaların yüzeyinde, pürüzlü bir yüzeye sahip kümelenmiş zar tabakaları halinde tespit ediyoruz. Fakat bu ifadenin, dross sadece yüzeye yakın kısımlarda görülür şeklinde anlaşılması yanlış olur: dökülen parçaların iç kısımlarında da dross görmek mümkün olabilir.

Küresel grafitli dökme demirde dross

Kaynak: M. Gagné et al. (2009)



Dross parçacıklarını, sıvı içine girip katılmış birer cüruf kalıntısı olarak değerlendirmemeliyiz. Cüruf, sıvı metalin yüzeyinde oluşan bir tabaka. Zaman zaman bu tabakadan kopup sıvı içine girmiş kalıntıların parça yapısında bulunduğunu görebiliyoruz. Dış kaynaklı (İngilizce: *exogenous*) kalıntı olarak değerlendirdiğimiz bu durum, dross adını verdiğimiz problemten farklı. Dross, sıvı alaşım soğurken sıvının içinde olduğu için, cüruf gibi dış kaynaklı değil, iç kaynaklı (İngilizce: *endogenous*) bir kalıntı olarak değerlendiriliyor.

Kalın kesitli parçalarda dross problemini tamamıyla ortadan kaldırmak bir hayli zor olabiliyor. Fakat uygun döküm pratiğiyle, dökümhanelerin bu sorunu kontrol altına almaları mümkün olabiliyor. Dross oluşumunun, magnezyum işlemi sonrasında artakalan magnezyum miktarıyla ilişkili olduğunu yukarıda belirtmiştik. Dolayısıyla dross probleminden kurtulmak için, ilk olarak

bu işlem sırasında eklenen magnezyum miktarının mümkün olduğunca düşük seviyelere çekilmesi gerekiyor. Bunun için de, ocaktaki başlangıç kükürt değerinin düşük olmasına dikkat etmek gerekiyor. Tabii magnezyum miktarı gereğinden fazla azaltıldığında, vermiküler grafit yapısının ortaya çıkabileceğini unutmamakta fayda var. Dolayısıyla bu ayarlamaların dikkatli bir şekilde yapılması gerekiyor.

Drossun bir tür silikat olması nedeniyle, dross oluşumu için sıvı içinde bir miktar silisyum da (Si) bulunması gerekiyor. Dökümhanelerde dökülen sfero kompozisyonlarında mutlaka %2 – %3 civarında Si bulunuyor. Bu yüzden silisyumu dökme demirden tamamen çıkartmak mümkün değil. Fakat karbon eşdeğerini mümkün olduğunca düşük değerlerde tutarak, dross oluşumunu azaltmak mümkün. Dökümhaneler, genellikle GJS-400 (GGG40) ya da GJS-600 (GGG60) gibi kompozisyonları dökerken, çekintiyle karşılaşmamak için karbon eşdeğerini mümkün olduğunca yüksek tutmayı tercih edebiliyorlar. Yüksek karbon eşdeğeri her ne kadar mikroçekinti problemine yönelik bir çözüm sunsa da, drossa ve karbon yüzmesine yol açabileceğini unutmamakta fayda var. Benzer şekilde aşılama pratiğiyle ilgili sorunların da dökme demirlerde dross problemine yol açtığı biliniyor: Yüksek oranda aşı kullanılması, parçanın yapısında dross oluşmasına neden olabiliyor.

Dross oluşumu sıvı metalin maruz kaldığı türbülansla da yakından ilgili. Sıvı metal

tretman potasından döküm potasına alınırken, ya da kalıp doldurulurken ortaya çıkan türbülans, sıvının oksijen kapmasına, dolayısıyla da dross oluşumuna yol açabiliyor. Dolayısıyla dross oluşumunu azaltmak için, bu aşamalarda sıvı metalin havayla temasının mümkün olduğunca azaltılması gerekiyor.

Dross, özellikle kalın kesitli parça döken dökümhanelerin başını ağrıtan bir problem. Drossu tamamen ortadan kaldırmak her ne kadar oldukça zor olsa da, uygun döküm pratiği sayesinde oluşan dross miktarını ciddi miktarda azaltmak mümkün olabiliyor. İşin zor tarafı, vermiküler grafit oluşumu, çekinti ve karbür gibi farklı sorunların ortaya çıkmasına fırsat vermeden dross oluşumunu engelleyebilmek. Bu da, ancak döküm pratiğinin bir bütün olarak ele alınıp optimize edilmesiyle mümkün olabiliyor.

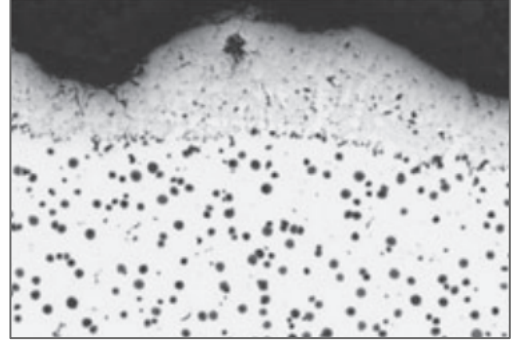
Parça yüzeyinde lamelleşme

Küresel grafitli (sfero) dökme demir üretiminde, kullanılan kalıp malzemesine bağlı olarak, parça yüzeyinde küresel grafit yapısının bozulduğunu ve parça yüzeyine yakın kesimlerde, 0,2 ila 1 mm derinliğinde lamel yapıda grafit yapraklarından oluşan bir bölge ortaya çıktığını görebiliyoruz. Önceki sayfalarda, küresel ve lamel yapıdaki grafit yapıları üzerinde durmuş ve bu iki grafit yapısı arasındaki farklı yaratan iki temel elementin, yüzey aktif elementler olarak da bilinen, oksijen ve kükürt olduğunu açıklamıştık. Grafit ve sıvı metal arasındaki arayüzeyde biriken ve arayüzeyin gerilimini azaltan bu iki element, sıvıda nispeten yüksek miktarda bulunduğunda grafitin lamel (yapraksı) yapıda büyümesine yol açıyor. Eğer sıvı metali magnezyumla işlemiden geçirip kükürt ve oksijen seviyelerini aşağıya çekersek, artan arayüzey gerilimi grafit parçacıklarının küresel bir morfolojide büyümelerini sağlıyor.

Burada ele aldığımız problemde de küresel yapının bozulması ve lamelleşmesi söz konusu olduğuna göre, yine işin içinde oksijen ve kükürt elementlerinin olması gerektiğinin ipuçlarını alıyoruz. Gerçekten de işin kaynağında bu iki element bulunuyor: Örneğin kalıp yapımında p-Toluen sülfonik asit ile sertleşen furan reçineli sistemler kullanılmışsa, bu iki yüzey aktif elementin sıvı metal içine geçmesi sonucunda, yüzeye yakın kısımlardaki küresel grafitlerin lamelleşmeye başladığını görüyoruz.

Sfero parça yüzeyinde lamel grafit

Kaynak: M. Gorny et al. (2015)



Yüzeyde böyle bir lamelleşme olması, küresel grafitli dökme demir üreterek elde edilen birçok olumlu özelliğin de kaybedilmesi anlamına geliyor. Örnek vermek gerekirse yorulma (fatik) çatlakları malzemenin yüzeyinden başladıkları için, yüzeye yakın kısımlara gerilme (stress) konsantrasyonuna yola açan yapraksı grafit parçaları, küresel grafitli dökme demirin yorulma dayancının azalmasına yol açıyor.

Bu problem hem ince, hem de kalın kesitli parçaları etkileyebiliyor. Örneğin ince kesit kalınlığına sahip bir parçada, kesitin önemli bir kısmı lamelleşeceği için, küresel grafit yapısını önemli ölçüde kaybedebiliyoruz. Kalın kesitli parçalarda ise soğuma hızının yavaş olması nedeniyle, sıvı metal kalıpla daha uzun süre temas halinde kalıyor. Bunun doğal sonucu olarak da, lamelleşmenin daha derin bir kesite yayılabildiğini gözlemliyoruz.

Nasıl engelleyebiliriz?

Bu anlatılanlardan anlaşılabilceğı üzere, aslında burada oksijen ve kükürt elementlerinin sıvı metal içine difüzyonu ile gerçekleşen bir süreçten bahsediyoruz. Difüzyonun gerçekleşebilmesi için hem metal sıcaklığının yüksek olması, hem de yeterince sürenin verilmiş olması gerekiyor. Dolayısıyla, bu iki parametre ile oynama şansımızın olduğu durumlarda, bu problemin ortaya çıkmasını engellememiz mümkün olabilir. Örnek vermek gerekirse, parça kalınlığının çok ince olduğu ve döküm sıcaklığının da nispeten düşük olduğu durumlarda, oksijen ve kükürtün difüzyonla sıvı metale geçmesine fırsat kalmadan katılaşmanın birkaç saniye içinde gerçekleşmesini ve küresel yapının korunmasını sağlayabiliyoruz.

Fakat böyle ince kesite sahip bir parçada düşük döküm sıcaklığı riskini göze almak da, herkesin isteyeceğı bir durum değil elbette. O nedenle eğer döküm parametreleriyle oynama riskini göze almak istemiyorsanız, uygun kalıp boyalarını kullanmanız ya da farklı bir kalıplama yöntemini tercih etmeniz daha doğru olacaktır.



Küresel Grafitli Dökme Demir Üretiminde Süreç Kontrolü

Léonard Defrance - Interior of a Foundry (1789)

Küresel grafitli dökme demir dökten dökümhanelerin bildiği bir gerçek var: İstenen özellikleri sergileyebilen ve hata içermeyen bir sfero parça üretebilmek, gri dökme demir ya da çelik döküm bir parçaya kıyasla daha zor. Çünkü bu malzemenin istenen özelliklere sahip olacak şekilde dökülebilmesi için, hem doğru bir şekilde ayarlanması gereken parametre sayısı, hem de ortaya çıkması muhtemelen hata sayısı yukarıda saydığımız malzemelere kıyasla daha fazla. Bir yandan perlit/ferrit oranı, küre sayısı, küresellik derecesi, kürelerin boy dağılımı gibi değişkenleri doğru tutturmanız

gerekirken, diğer taraftan dross, çekinti, bodur (chunky), patlak (exploded) ve sivri (spiky) grafit gibi sorunlardan da kaçınmanız gerekiyor. Tüm bu gereksinimlerin doğal sonucu olarak, küresel grafitli dökme demir üretimi, hassas bir süreç kontrol yaklaşımının uygulanmasını gerektiriyor.

Süreç kontrolü dediğimiz zaman, çoğu dökümcünün aklına muhtemelen soğuma eğrisi analizi geliyordur. Soğuma eğrisi analizi, üretim sırasında sıvı metalin hem kompozisyonu, hem de aşılamaaya uygunluğu hakkında bilgi vermesi nedeniyle, dö-

kümcüler tarafından uzun yıllardır kullanılan bir yöntem. Sfero üretimini mutlaka soğuma eğrilerinden yardım alarak yapmak gerekir diye bir kural elbette ki yok. Fakat bu eğrilerden yardım almak, süreç sırasında değişim gösteren parametreleri takip etmek ve ona göre sürecin gidişatına yön verebilmek açısından önemli bir avantaj sunuyor.

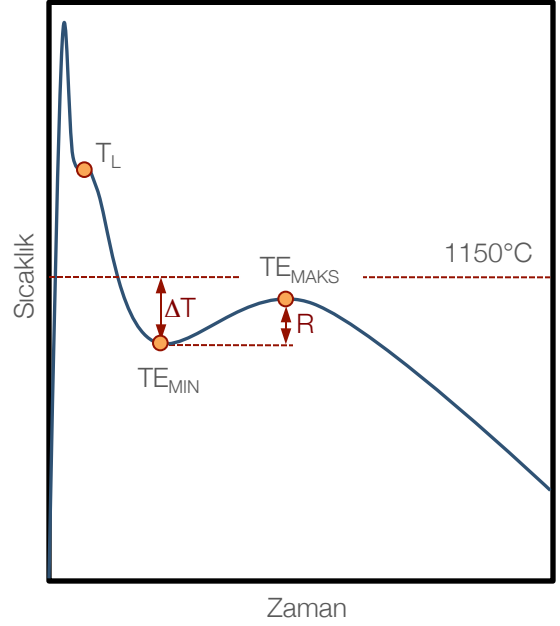
Soğuma eğrilerine kısa bir giriş

Soğuma eğrisi analizinin ayrıntılarını ve bu yöntemin dökme demir üretim sürecine nasıl dâhil edilmesi gerektiğini El Kitabı'nın ilerleyen sayılarında ele alacağız. O nedenle burada bu yöntemin ayrıntılarına girmek yerine, okuyucularımızın bu yöntem hakkında halihazırda temel bir bilgiye sahip olduğunu kabul edeceğiz. Fakat yine de hatırlatma amacıyla, soğuma eğrileri hakkında temel seviyede de olsa biraz bilgi verelim.

Yandaki diyagram üzerinde, ötektik altı (hipoötektik) kompozisyona sahip bir dökme demire ait, tipik bir soğuma eğrisi gösteriliyor. Sıvı haldeyken soğumaya başlayan dökme demir ilk olarak T_L ile gösterilen likidüs (sıvılaşma) sıcaklığından geçiyor. Bu sıcaklıkta katılaşma ilk olarak östenit dendritleriyle başlıyor. Sıvı alaşım ötektik sıcaklığa doğru soğumaya devam ederken, bu östenit dendritlerinin de büyümeye devam ettiklerini görüyoruz.

Sıcaklık ötektik noktaya geldiğinde, eğer sıvı

Tipik bir ötektik altı soğuma eğrisi



içinde ötektik katılaşma için uygun koşullar varsa, ötektik katılaşmanın başladığını ve sıvı içinde çözünmüş durumda bulunan karbonun grafit formunda bu sıcaklıkta ayrılmaya başladığını görüyoruz. Demir-karbon faz diyagramında 1153°C olarak verilen bu sıcaklık, dökme demirde bulunan silisyum nedeniyle yaklaşık 1150°C'ye iniyor. Tabii dökümhane koşullarında bu dönüşümün tam olarak 1150°C'de gerçekleştiğini göremiyoruz: ötektik çekirdeklerin oluşması için gerekli koşullar tam sağlanmadığı için katılaşma başlayamıyor. Bunun doğal sonucu olarak katılaşmayan sıvı soğumaya devam ediyor. Katılaşma başlamış olması gerekirken, sıvı fazın katılaşmadan sıvı olarak soğumaya devam ettiği bu duruma *aşırı soğuma* adını

veriyoruz ve kaç derecelik bir aşırı soğuma olduğunu ΔT simgesi ile gösteriyoruz (örneğin $\Delta T = 5,6^\circ\text{C}$ gibi).

Bu aşırı soğumadan sonra, önceki sayfada yer alan soğuma eğrisi üzerinde de görebileceğiniz üzere, sıvı metalin sıcaklığı bir miktar artıyor. Yani sıvı içinde yeniden bir ısınma etkisi gözlemliyoruz. Tam da bu nedenle yeniden ısınma (*recalescence*) adını verdiğimiz bu etki, ötektik katılma sırasında salınan katılma ısısı nedeniyle ortaya çıkıyor. Sıvı içinde ne kadarlık bir ısınma olduğunu belirtebilmek için, soğuma eğrisi üzerinde TE_{MIN} ve TE_{MAKS} olarak gösterilen, ısınmadan önceki en düşük ve ısınma sonrasındaki en yüksek ötektik sıcaklıklar arasındaki farka bakıyoruz ve bu farklı R ile gösteriyoruz (örneğin $R = 3,4^\circ\text{C}$ gibi). Farklı termal analiz yazılımlarında, bu R değerinin ΔT_M ya da EUT_RC gibi farklı ifadelerle tanımlandığını görebilirsiniz.

Şimdi bu sıcaklıklardan faydalanarak dökme demir üretim sürecini nasıl optimize edebileceğimiz üzerinde duralım.

Soğuma eğrileri hangi konularda bilgi sağlamaz?

İlk olarak bu yöntemi kullanarak ne yapamayacağımızı anladığımızdan emin olalım. Her şeyden önce soğuma eğrileri yukarıda bahsettiğimiz chunky (bodur), patlak ve iğnemsî grafit gibi lokal biçimsel bozulmalar hakkında bilgi vermez. Çünkü bu problemlerin ortak özelliği, parçanın genelinde değil, yer yer dağılmış, bazı özel

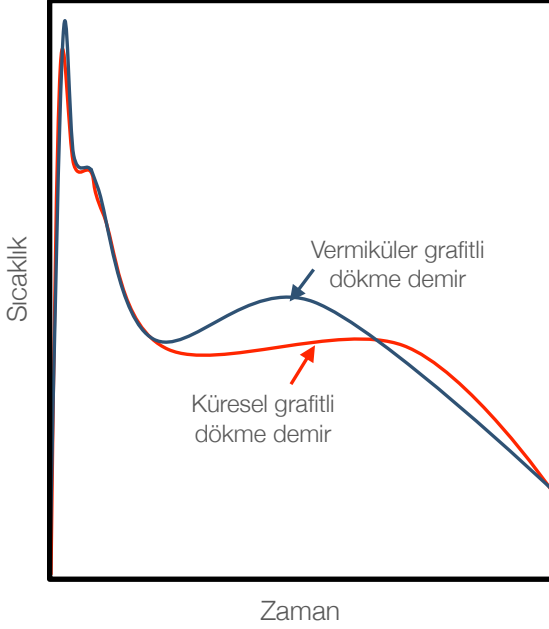
konumlarda ortaya çıkıyor olmaları. Bir soğuma eğrisi tek bir termokupldan gelen veriden elde edildiği için, parçanın genelini temsil eden problemlere dair bilgi verebilir. (Hemen bir parantez açıp belirtelim: mikroçekinti eğilimi hariç. Bu da yer yer dağılmış şekilde ortaya çıkan bir problem olsa da, soğuma eğrileri bu gözeneklerin oluşma ihtimali konusunda sizi uyarabiliyor.) O nedenle, parçanın sadece belli bazı konumlarında ortaya çıkan chunky grafit gibi bir problemi gidermek için soğuma eğrilerini kullanabilmeniz oldukça zor. Benzer şekilde, dross gibi parça içinde gördüğümüz silikat ya da oksit parçacıklarını gidermek için de soğuma eğrilerinden faydalanamayız.

Soğuma eğrilerinden nasıl faydalanabilirsiniz?

Soğuma eğrileri, grafit biçimindeki bu tür lokal bozulmalara dair bilgi veremiyor olsa da, eğer grafit şeklindeki bozulma parça geneline yayılıyorsa, o zaman bu değişimin izlerini soğuma eğrileri üzerinde görebiliyoruz. Örneğin Mg ile yapılan küreselleştirme işleminin verimi düşük olur ve küresellik azalmaya başlarsa, yani küresel yerine vermiküler grafitli dökme demire kaymaya başlarsak, o zaman ötektik katılma sırasında gördüğümüz yeniden ısınma (*recalescence*, R) değerinde bir artış görüyoruz. Yani ocaktan aldığınız ilk potada yüksek bir R değeriyle karşılaşmanız durumunda, verdiğiniz Mg miktarının yetersiz olduğunu ilk potada fark edebiliyorsunuz. Bu ilk potada tekrar bir düzeltme yapmanız her ne kadar zor olsa da (ama imkansız değil), diğer potalarda kullandığınız Mg miktarını arttırarak, üretimin geri kalan kısmında küreselliği tekrar arttırabiliyorsunuz.

Küresel ve vermiküler grafitli dökme demirlerin şematik soğuma eğrileri

Küresellik azaldıkça, gözlenen yeniden ısınma (*recalcescence*) miktarı artıyor.



Soğuma eğrilerini kullanabileceğiniz bir diğer alan da çekintinin giderilmesi. Tabii burada metot kaynaklı makro çekintilerden değil, gözenek formundaki mikro çekintilerden bahsediyoruz. Önceki sayfalarda konu hakkında bilgi vermiştik ama tekrar hatırlatmakta fayda olabilir: Mikro çekinti adını verdiğimiz gözenek formundaki bu ufak çekinti boşluklarından kurtulmak için, dökme demiri mümkün olduğunca yüksek bir karbon eşdeğerine sahip olacak şekilde, fakat ötektik üstü kompozisyona geçmeden dökmek gerekiyor. Tabii burada ötektik kompozisyon dediğimizde, çoğu kişinin aklına denge faz diyagramı üzerinde görülen %4,3 C değeri geliyor olabilir. Fakat burada

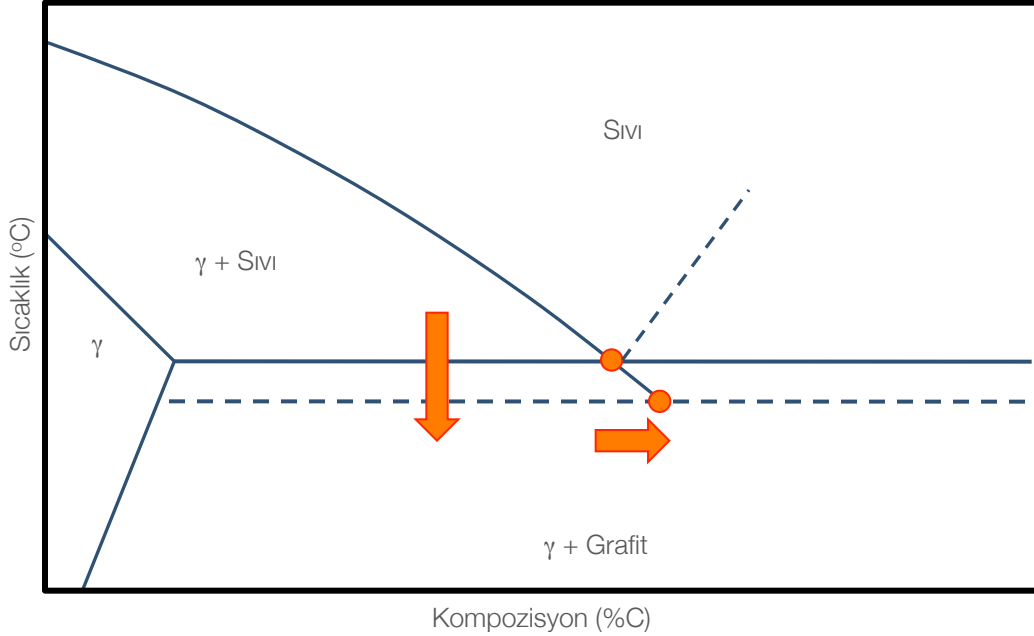
dikkat etmemiz gereken bir nokta var: Bu değer, “denge” faz diyagramında gördüğümüz ötektik kompozisyon değeri. Yani, sonsuz derecede yavaş soğuma olarak yorumlayabileceğimiz “denge” koşullarında görmeyi beklediğimiz ötektik kompozisyon değeri. Fakat dökümhane koşullarında bu ideal “denge” koşullarını görebildiğimizi pek söyleyemeyiz. Bunun doğal sonucu olarak, aslında döktüğümüz bir dökme demirin ötektik kompozisyonu, bu denge değerinden farklı olabilir.

Konunun özünü basitçe şu şekilde kavrayabiliriz. Ötektik kompozisyon dediğimiz nokta, aslında likidüs eğrisinin ötektik dönüşüm sıcaklığıyla kesiştiği nokta. Eğer ötektik dönüşüm denge koşullarında olduğu gibi 1153°C’de gerçekleşiyorsa, o zaman likidüs eğrisi bu ötektik dönüşüm sıcaklığını karbon eşdeğeri %4,3 olduğunda kesiyor (bir sonraki sayfada yer alan faz diyagramına bakınız). Fakat eğer ötektik dönüşüm sıcaklığı bu denge sıcaklığının altına düşerse (yani aşırı soğuma gerçekleşirse) o zaman likidüs eğrisi bu dönüşüm sıcaklığını daha yüksek bir karbon eşdeğerinde kesiyor. Yani diğer bir deyişle, ötektik kompozisyon sağa doğru kaymış oluyor.

İşte bu düşünce, ötektik üstü kompozisyona kaymadan karbon eşdeğerini ne kadar arttırabileceğimizi sorusunun cevabını vermiş oluyor. Eğer döktüğünüz parça örneğin 10°C kadar bir aşırı soğuma yapmışsa, o zaman ötektik noktanın kompozisyonu %4,3’ün üzerine çıkacağı için, siz %4,35

Fe-C faz diyagramı üzerinde ötektik noktanın değişimi

Ötektik dönüşüm sıcaklığı düşünce, ötektik noktanın konumu sağa kayıyor.



gibi bir karbon eşdeğerinde bir alaşım dökmenize rağmen ötektik altı katılaşmayı elde edebiliyor ve çekinti oluşma eğilimini azaltabiliyorsunuz.

Soğuma eğrileri işte bu noktada dökümcülere büyük bir kolaylık sağlıyor. Çünkü ötektik noktanın değişimini spektrometre ya da farklı bir kimyasal analiz yöntemi sonuçlarına bakarak takip etme şansınız yok. Ötektik noktanın nereye kaydığını net bir şekilde tespit edebilmeniz için, dökme demirin ne kadar aşırı soğuma yaptığını görmeniz gerekiyor. O nedenle, çekinti gözeneklerinden kurtulmak için dökme demir kompozisyonunu hangi aralıkta tutması gerektiği konusunda zorluk çeken dökümhanelere, soğuma eğrilerinden faydalanmalarını tavsiye ediyoruz.

Sonuç

Küresel grafitli dökme demir oldukça yaygın bir şekilde üretiliyor olmasına rağmen, bu malzemeyi hatasız ve optimum özelliklere sahip olacak şekilde üretmek çoğu dökümhane için bir problem. El Kitabının bu ikinci sayısında, küresel grafitli dökme demir üzerindeki gizem perdesini biraz olsun kaldırıp, bu malzemeyi hatasız bir şekilde üretmek için gereken süreç parametrelerini açık bir şekilde ortaya koymak için gayret ettik.

Sağladığı yüksek dayanım ve uzama değerleri sayesinde çeliğin karşısına güçlü ve ekonomik bir alternatif olarak çıkan bu malzemenin ilerleyen yıllarda daha çok üretildiğini göreceğiz. Bu özel sayıda sunulan bilgilerin, dökümhanelerimizin bu malzeme üzerindeki kontrolünü arttırmalarına yardımcı olmasını umuyoruz.

Her ne kadar artık gelenekselleşmiş bir malzeme olsa da, küresel grafitli dökme demirin hikâyesi sonlanmış değil: Son yıllarda ortaya çıkan bazı özel alaşımlı küresel grafitli dökme demir türleri de bulunuyor. Konunun kapsamını çok genişletmemek adına bu özel alaşımlara bu sayıda yer vermedik. Yüksek silisyum içeriği sayesinde, yüksek dayanıma ek olarak yüksek uzama değerleri de sergileyebilen bu özel alaşımları, El Kitabının bir sonraki sayısında, ayrı bir başlık altında ele alacağız.

El Kitabı'nın bir sonraki sayısında görüşmek üzere!



Kaynaklar ve Okuma Listesi

A literature survey of the effects of certain minor elements on the properties of nodular iron. E. Wyatt, K. Holmes. Army Materials and Mechanics Research Center, AMMRS (1968) MS68-07.

A model for the graphite formation in ductile cast iron: Part I. Inoculation mechanisms. T. Skaland, F. Grong, T. Grong. Metallurgical Transactions A. Vol. 24A (1993) 2321.

Analysis of quality and cost of FeSiMg treatment master alloy vs. cored wire in production of ductile cast iron. E. Guzik. Archives of Foundry Engineering. Vol 8 (2008) 45-48.

Basic ductile iron alloying. J.D. Mullins. Sorelmetal (2006).

Cast iron microstructure anomalies and their causes. G.M. Goodrich. AFS Transactions (1997) 669.

Cast iron: Physical and engineering properties. H.T. Angus. Butterworths & Co. 1976.

Cast Iron Technology. R. Elliot. Butterworth-Heinemann, 1988.

Chunky graphite in ductile iron castings. R Kallbom, K Hamberg, L-E Björkegren. World Foundry Congress Proceedings. Harrogate, UK (2006) 184-1.

Classification and basic metallurgy of cast irons. ASM Speciality Handbook Cast Irons. Ed: J.R. Davis. ASM International (1996)

Defect formation in cast iron. L. Elmquist. Ders notları. Jönköping University, İsveç (2012).

Development of a ferritic ductile cast iron for increased life in exhaust applications. M. Ekström. KTH Royal Institute of Technology (2013).

Dross in ductile iron: source, formation and explanation. M. Gagné, M.P. Paquin P.M. Cabanne. Foundry Trade Journal (2009) 276.

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

Ductile iron data for design engineers. (<http://www.ductile.org/didata/Section2/2intro.htm>) Rio Tinto Iron & Titanium, Inc. (1998).

Effects of alloying elements on the microstructures and mechanical properties of heavy section ductile cast iron. G.S.Cho, K.H.Choe, K.W.Lee, A.Ikenaga. Journal of Materials Science and Technology, Vol. 23 (2007) 97.

Elimination and neutralization of boron in ductile irons. R.L. Naro, J.F. Wallace, Y. Zhu. Ductile Iron Society (2004) Project No: 39.

History of the metalcasting industry. B.L. Simpson. American Foundrymen's Society. Des Plaines, IL, (1969).

Mechanical properties dependency of the pearlite content of ductile irons. R.A. Gongaza, P.M. Landa, A. Perez, P. Villanueva. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. Vol. 33 (2009) 150.

Metallographic procedures for cast iron. G.V. Voort (2015) Web: <http://goo.gl/88jEF2>

Metallurgical Processing of Cast Irons and Oxygen Activity. J. Hampl, T. Valek. Metal 2013, Czech Republic, 2013.

Microsegregation in nodular iron with carbides. S. Pietrowski, G. Gumienny. Archives of Foundry Engineering. Vol. 12 (2012) 127.

Nodular Graphite Formation in Vacuum Melted High Purity Fe-C-Si Alloys. B. Dhindav, J.D. Verhoeven. Metallurgical and Materials Transactions. Vol. 11, 1980, 1049.

On the effect of pouring temperature on spheroidal graphite cast iron solidification. A. Escobar, D. Celentano, M. Cruchaga, B. Schulz. 1. Vol. 5 (2015) 628.

Oxygen Activity in Cast Iron Measured in Induction Furnace at Variable Temperature. F. Mampaey, K. Beghyn. AFS Transactions, 2006.

Post-it Note Wikipedia makalesi (https://en.wikipedia.org/wiki/Post-it_note)

Kaynaklar ve Okuma Listesi

Quality Control Manual. Ductile Iron Society (1991).

The interior of a cannon foundry 1797–8 by Joseph Mallord William Turner. Andrew Wilton. Catalogue entry, January 2013, in David Blayney Brown (ed.), J.M.W. Turner: Sketchbooks, Drawings and Watercolours, Tate Research Publication (2014)

The phenomena of rupture and flow in solids. A.A. Griffith. Philosophical Transactions of the Royal Society A (1921) 163.

Science and engineering of casting solidification. D. Stefanescu. Springer US (2009).

Suggestions for ductile iron production – 108. M. Gagne, C. Labrecque. Sorelmetal (2006).

The effect of metal temperature and wall thickness on flake graphite layer in ductile iron. M. Gorny, R. Danko, M. Holtzer. Metalurgija 54 (2015) 11.

The phenomena of rupture and flow in solids. A.A. Griffith. Philosophical Transactions of the Royal Society A (1921) 163.

Wikipedia: Ductile Iron makalesi (https://en.wikipedia.org/wiki/Ductile_iron).

Dökümcünün
El Kitabı
Serisi – 02
Küresel Grafitli Dökme Demir

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

Dokumhane.net

Eylül 2016