

El Kitabı

Dökümhane Eğitim Projesi Özel Sayı Serisi

7000

Yıllık Tarihin

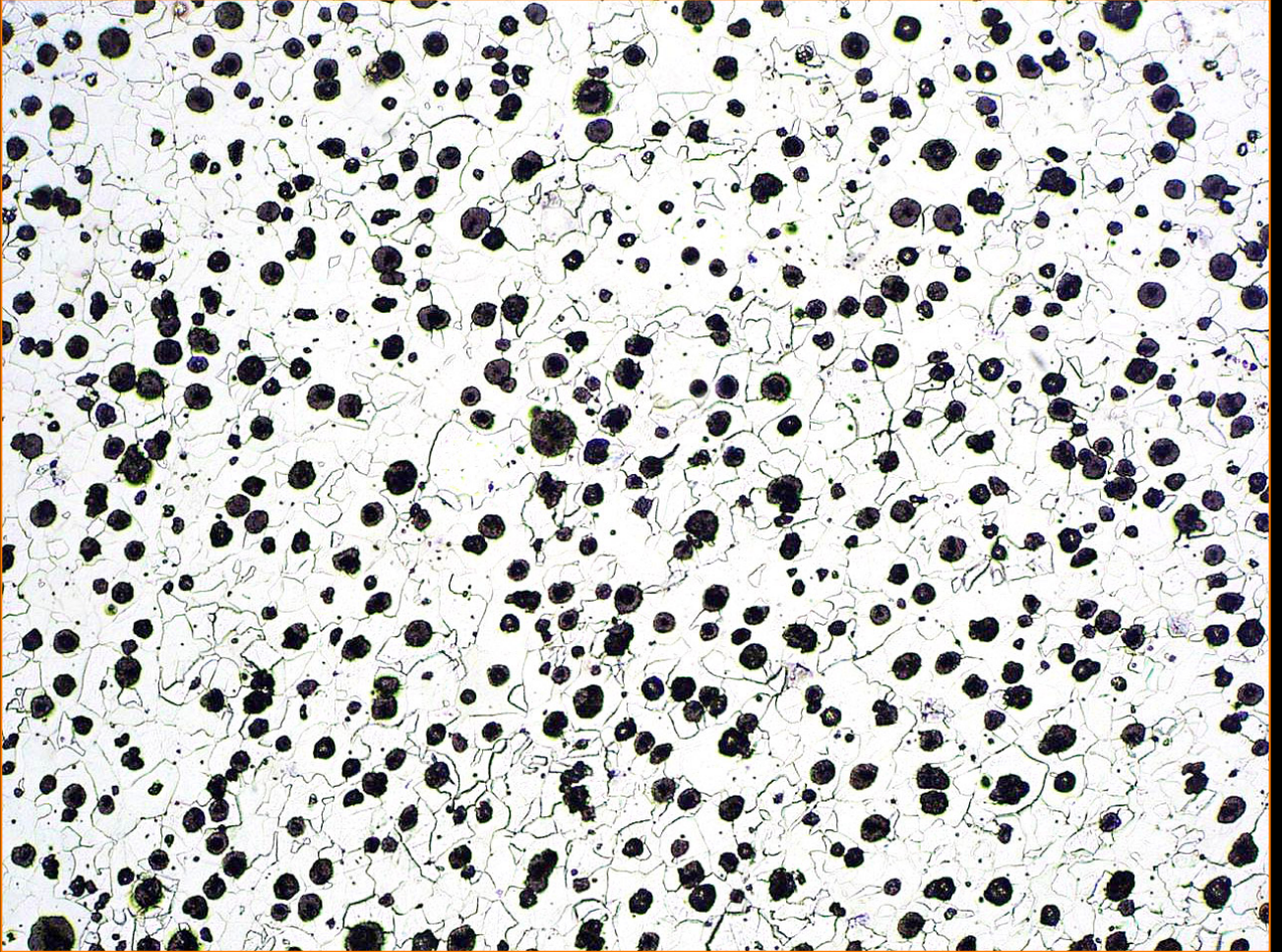
Gelecekle Buluşma Noktası

Dokumhane.net

03

Katı Çözeltiliyle Güçlendirilmiş Ferritik Sfero Dökme Demirler

- Sınıflandırılması
- Mekanizması
- Özellikleri
- Üretimi
- Döküm Hataları



El Kitabı Sayı: 3

Katı Çözeltiyle Güçlendirilmiş Ferritik Sfero Dökme Demirler (SSF)

Yazan ve yayına hazırlayan: Dr. Arda Çetin

Aralık 2016

Dökümhane'den Merhaba

El Kitabı'nın 3. sayısında, katı çözeltiliyle güçlendirilmiş ferritik sfero dökme demirler (SSF – *solid solution strengthened ferritic ductile irons*) üzerinde duruyoruz. Son yıllarda adını sık duymaya başladığımız *yeni* bu malzemeyi ayrı bir sayıda ele almak istiyoruz, çünkü dökümhaneler açısından kritik bir süreçteyiz: Bir yandan doğu ülkelerinden gelen ucuz rekabetin baskısını yaşarken, diğer taraftan batı ülkelerinden gelen üç boyutlu yazıcılar ya da seçmeli lazer sinterlemesi (SLS) gibi teknolojilerin tehditi altındayız. İki taraftan gelen bu baskılarla mücadele edebilmenin yolu, katma değeri yüksek alanlara yatırım yapmaktan ve emekten ziyade bilginin yoğun olduğu alanlara ilerlemekten geçiyor.

El Kitabı'nın bu 3. sayısı, ürünlerini çeşitlendirmek ve katma değeri yüksek ürünlerle bir fark yaratmak isteyen dökümhanelere destek olması ümidiyle hazırlandı. Oldukça enteresan bir malzeme üzerinde duruyoruz: Birinci nesil olarak bildiğimiz sfero dökme demirlerde mekanik özellikleri istenen seviyeye taşımak için ferrit/perlit oranından nasıl faydalandığımızı, El Kitabı'nın 2. sayısında ayrıntılı bir şekilde ele almıştık. Bu sayıda üzerinde durduğumuz ferritik sfero dökme demirler, adından anlaşılabilceği üzere ferritik bir yapı sergilediği için, perlitin sağladığı güçlendirici etkiden yararlanma şansımız olmuyor. Fakat bu durumun bir de avantajı var: Yapıda perlitin olmaması, aynı zamanda perlitten kaynaklanan süneklik kaybının da olmayacağı anlamına geliyor. Bu nedenle katı çözeltiliyle güçlendirilen sfero dökme demirlerde dayanım 600 MPa değerine çıktığında bile, uzama değerlerinin minimum %10 seviyesinde kaldığını görebiliyoruz.

İkinci nesil sfero dökme demirleri anlatmak için bu kadar kısa bir giriş elbette yeterli olmaz. O yüzden artık lafı daha fazla uzatmayalım ve sizleri bu güncel malzemenin özellikleri, üretimi ve muhtemel hatalarıyla baş başa bırakalım.

Saygılarımla,
Dr. Arda Çetin

İçindekiler

- 05 Kısa tarihçe: Birinci ve ikinci nesil sfero dökme demirler
- 09 Katı çözeltiliyle güçlendirilmiş ferritik sfero dökme demirler
- 11 Katı çözeltili sertleşmesi
 - 11 Sertleşmenin mekanizması
 - 13 Katı çözeltili sertleşmesinin basit bir tarifi
 - 14 Katı çözeltili türleri
- 15 Silisyumun mekanik özelliklere etkisi
 - 19 Silisyumun etkisi
- 22 Katı çözeltiliyle güçlendirilmiş ferritik sfero dökme demirlerin üretimi
 - 25 Ocak hazırlığı
 - 26 Küreselleştirme (Mg tretmanı) ve aşılama
- 28 Döküm hataları ve muhtemel sorunlar
 - 29 Segregasyon
 - 31 Chunky grafit
- 33 Sonuç
- 34 Kaynaklar ve okuma listesi

Okumak için vaktiniz yok.
Basitçe anlatan biri olsa, güzel olmaz mı?

DÖKÜMHANE AKADEMİ

Uzaktan Eğitim Platformu
Dokumhane.net



Kısa Tarihçe: Birinci ve İkinci Nesil Sfero Dökme Demirler



Laurence & Scott, Dökümhaneden eski bir fotoğraf. Gothic Works, 1920'li yıllar.

Küresel grafitli dökme demirin ortaya çıkmasının nasıl hem kuramsal mekanik alanındaki gelişmelere bağı olduğunu, hem de bazı tesadüflerle ilişkili olduğunu El Kitabı'nın bir önceki sayısında açıklamıştık. 1940'lı yılların sonunda Millis ve arkadaşlarının yaptığı çalışmalar, gri dökme demirdeki grafit parçalarının temper dökümdeki gibi küreler halinde ayrışmasının mümkün olduğunu ortaya koyunca, üstün özelliklere sahip bu malzemenin üretim denemeleri takip eden senelerde birçok dökümhanede başlamıştı.

20. Yüzyılın ilk yarısının sonunda ortaya çıkan küresel grafitli dökme demirler, bugün çeşitli kaynaklarda *birinci nesil* olarak adlandırılıyorlar. Yaklaşık %2 - %3 arasında silisyum içeren bu birinci nesil dökme demirlerin matris yapılarına baktığımız zaman, ferrit, perlit ya da bu ikisinin karışımından meydana geldiklerini görüyoruz. Malzemenin yapısında bulunan perlit, malzemeyi güçlendiren, fakat sünekliğini düşüren bir etki yaratıyor. Dolayısıyla yapıda bulunan perlit ve ferrit oranları üzerinde oynayarak, üretilen parçanın istenen sertlik, dayanım ve uzama değerlerini sergilemesi sağlanabiliyor.

Birincil nesil dökme demirlerden farklı olarak, 20. Yüzyılın sonlarında *ikinci nesil* adı verilen, yeni bir sfero dökme demir sınıfının ortaya çıkışına tanıklık ettik: Katı çözelti ile güçlendirilmiş ferritik sfero dökme demir (*solid solution strengthened ferritic ductile iron*, SSF) olarak adlandırılan bu yeni sfero türü, hem EN 1563 standardında, hem de östemperlenmiş sfero dökme demir (*austempered ductile iron*, ADI) EN 1564 standardında tanımlanıyor.

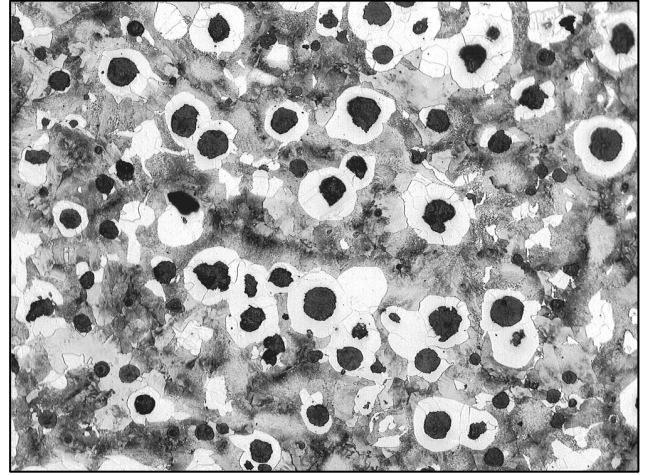
Yukarıda da belirttiğimiz gibi, birinci nesil sfero dökme demirlerin mekanik özellikleri yapıda bulunan ferrit ve perlit oranıyla ayarlanıyor. Örneğin EN-GJS-500-7 gibi bir malzemeye baktığımız zaman, matris yapısında hem ferrit, hem de perlit bulunması nedeniyle, “orta seviye” diyebileceğimiz bir düzeyde dayanım ve süneklik değerleri sergilediğini görüyoruz. Bu malzemede bulunan perlit miktarını düşürdüğümüzde ise, örneğin EN-GJS-400-15 gibi, daha düşük bir dayanım, fakat daha yüksek uzama değerleri sergileyen bir sfero dökme demir elde edebiliyoruz.

Mekanik özellikleri optimize etmek için ferrit/perlit oranına başvurduğumuz bu birinci nesil sfero dökme demirlerde sık gördüğümüz bir problem var: Yapıda bulunan perlit miktarı sadece kimyasal kompozisyona değil, aynı zamanda soğuma hızına da bağlı olarak değiştiği için, farklı kalınlıktaki kesitlerde değişen miktarlarda perlit oluştuğunu görebiliyoruz. Bu nedenle farklı kesit kalınlıklarına sahip bir döküm parçanın

yavaş soğuyan kalın kesitlerinde ferrit oranı artarken, hızlı soğuyan ince kesitlerinde daha yüksek oranda perlit oluştuğunu görüyoruz.

Tipik bir birinci nesil sfero dökme demir (GJS 500-7) mikroyapısı

Kaynak: Frank Vincentz, Wikimedia Commons



Matris yapısının homojen olmaması, doğal olarak dayanım, süneklik ve sertlik gibi mekanik özelliklerin de parça genelinde homojen olmayacağını gösteriyor. Bu durum bir yandan dökümhane mühendislerinin istenilen mekanik özellikleri elde etmesini zorlaştırırken, diğer taraftan parçaların işlenmesi açısından da sorun yaratabiliyor.

İşte bu noktada, ikinci nesil olarak tarif edilen sfero dökme demirlerin üstün yönü ortaya çıkıyor: Tamamıyla ferritik bir yapı sergiledikleri için, parça genelinde mekanik özelliklerin oldukça homojen olduğunu görüyoruz. Fakat burada tuhaf olan bir şey

var: Ferrit fazının yumuşak ve oldukça sünek bir yapıya sahip olduğunu biliyoruz. O zaman tamamen ferritik yapıya sahip bir dökme demirin yüksek dayanım değerleri sergilemesini nasıl bekleyeceğiz?

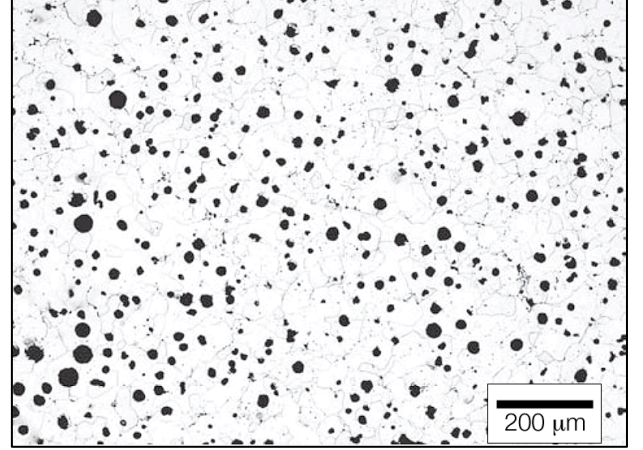
Katı çözelti sertleşmesi (*solid solution strengthening*) adını verdiğimiz işleyiş, işte burada devreye giriyor. İkinci nesil dökme demirler içerdikleri yüksek silisyum nedeniyle, benzer seviyede uzama sergileyen birinci nesil sfero dökme demirlere kıyasla daha yüksek dayanım değerlerine sahip olabiliyorlar. Katı çözelti sertleşmesi, dökülen parçanın akma dayanımının da artmasına yol açıyor. Bu dökme demirlerden bulunan yüksek silisyum nedeniyle, karbür oluşma eğiliminin de önemli ölçüde azaldığını görüyoruz.

Yüksek silisyum miktarının sağladığı bir diğer avantaj ise, ötektoid dönüşüm sıcaklığını yukarı çekmesi: Bunun doğal sonucu olarak bu malzemeden üretilen parçaların yüksek sıcaklıkta çalışma performansları da artış gösteriyor. Son olarak teknik literatürde sunulan çeşitli araştırmalarda, çelik döküm parçalara bir alternatif olarak kullanıldıkları zaman, hem parça ağırlığının, hem de işleme maliyetinin azaldığını gösteren sonuçların göze çarptığını da belirtelim (Okunnu, 2015).

Küresel grafitli dökme demirlerin EN 1563 standardı uyarınca sergiledikleri mikroyapı özellikleri ve mekanik özellikler dikkate alınarak sınıflandırıldıklarını biliyoruz. Bu standartta tanımlanan birinci nesil küresel

Tipik bir ikinci nesil ferritik sfero dökme demir (GJS 600-10) mikroyapısı

Kaynak: Glavas et al. (2016)



grafitli dökme demir sınıflarını ve beklenen minimum dayanım ve uzama değerlerini, bir sonraki sayfada yer alan tablo üzerinde tekrar bir hatırlamakta fayda olabilir.

Tablo: EN 1563 standardı uyarınca tanımlanan birinci nesil küresel grafitli dökme demirlerin sağlaması 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 ısı yayılımı (*thermal diffusivity*) özellikleri sergileyen bir kum kalıba ayrı bir şekilde dökülmeleri gerekiyor.

Katı çözeltiyle güçlendirilmiş ferritik sfero dökme demirler (SSF)

Küresel grafitli dökme demirin dayanımını arttırmak için ferrit/perlit oranıyla oynama yoluna gittiğimiz zaman, ister istemez malzemenin dayanımı (sertliği) ve uzaması arasında bir tercih yapmak durumunda kalıyoruz. Yukarıda sunulan tabloda bu durumu açık bir şekilde görebilirsiniz: Minimum 400 MPa çekme dayanıma ve %15 uzama değerine sahip olması istenen ferritik yapıdaki EN-GJS-400-15 sfero dökme demirin çekme dayanımını minimum 500 MPa olacak şekilde arttırmak istediğimizde, istenen minimum uzama değerinin %7'ye gerilediğini görüyoruz (EN-GJS-500-7). Çünkü yapıdaki perlit miktarı arttıkça, malzemenin sünekliğinin bu durumundan olumsuz yönde etkileneceğini biliyoruz.

Güzel bir haber: Sfero dökme demirleri güçlendirmenin tek yolu, yapıdaki perlit miktarını arttırmaktan geçmiyor. Katı çözelti sertleşmesi adı verilen işleyiş sayesinde, ferritik matrisi güçlendirerek dökme demirin dayanımını artırırken, sünekliğin önemli ölçüde zarar görmemesini de sağlayabiliyoruz. 90'lı yılların sonlarında yapılan araştırmalar neticesinde geliştirilen bu yeni nesil dökme demirlerde, bakır (Cu), kalay (Sn) ya da mangan (Mn) gibi elementler yerine dökme demire %3,2 ila %4,3 arasında silisyum (Si) ekleyerek, katı çözelti sertleşmesiyle güçlendirilmiş, ferritik bir matris yapısı oluşturmayı hedefliyoruz.

Birinci nesil olarak tanımlanan sfero dökme demirlere eklenen bakır ve mangan miktarı, parçanın kesit kalınlığı ve modülüne göre değişiklik gösterebiliyor. Buna rağmen eğer parçada farklı kalınlıklara sahip kesitler varsa, soğuma hızı farkı nedeniyle, bu kesitlerdeki ferrit/perlit oranı, dolayısıyla da mekanik değerler farklılık gösterebiliyor. İkinci nesil sfero dökme demirlerde ise, kesit kalınlığı ne olursa olsun sabit miktarda silisyum takviyesi yapılıyor. Parça genelinde elde edilen ferritik matris yapısının sonucu olarak, kesit kalınlığından bağımsız şekilde homojen mekanik özelliklerin elde edilebilmesi sağlanabiliyor.

Bu durum, geleneksel yöntemlerle dökme demir üretimine alışmış dökümcülere biraz farklı geliyor olabilir. O yüzden tekrar vurgulamakta fayda var: İkinci nesil olarak tanımlanan ferritik dökme demirlerde en fazla %5 oranında perlite izin veriliyor. Malzemenin sahip olduğu yüksek dayanımın kökeninde, ferrit fazının sertleştirilmiş olması yatıyor. Ferrit fazı sertleştiğinde gerçekleşen süneklik kaybı düşük olduğu için, dayanımla birlikte yüksek uzama değerleri de elde edebiliyoruz. Aynı zamanda akma dayanımında da, birinci nesil dökme demirlere kıyasla bir miktar artış gerçekleşiyor. Dayanım değerlerindeki bu artış nedeniyle, ikinci nesil sfero dökme demirlerden üretilen parçaların ağırlığını bir miktar düşürmenin mümkün olabileceğini

anlayabiliyoruz. Dökme demire eklenen silisyum ötektoid dönüşüm sıcaklığını yukarı çektiği için, yüksek miktarda silisyum içeren bu sfero dökme demirlerin yüksek sıcaklık performansları da artış gösteriyor.

İkinci nesil sfero dökme demirler için EN 1563 standardında tanımlanan minimum dayanım ve uzama değerlerini aşağıdaki tablo üzerinde görebilirsiniz.

Tablo: İkinci nesil dökme demirler için EN 1563 standardında belirlenen minimum dayanım ve uzama değerleri.

Malzeme	Kesit Kalınlığı (mm)	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Uzama (%)
EN-GJS-450-18	$t \leq 30$	350	450	18
	$30 < t \leq 60$	340	430	14
	$60 < t \leq 200$	Alıcı ve tedarikçi arasında karar verilir.		
EN-GJS-500-14	$t \leq 30$	400	500	14
	$30 < t \leq 60$	390	480	12
	$60 < t \leq 200$	Alıcı ve tedarikçi arasında karar verilir.		
EN-GJS-600-10	$t \leq 30$	470	600	10
	$30 < t \leq 60$	450	580	8
	$60 < t \leq 200$	Alıcı ve tedarikçi arasında karar verilir.		

Not: Ayrı dökülmüş test numunelerinde ölçülen değerler, parçanın sergilediği mekanik özellikleri birebir temsil etmiyor olabilir.

Katı Çözelti Sertleşmesi

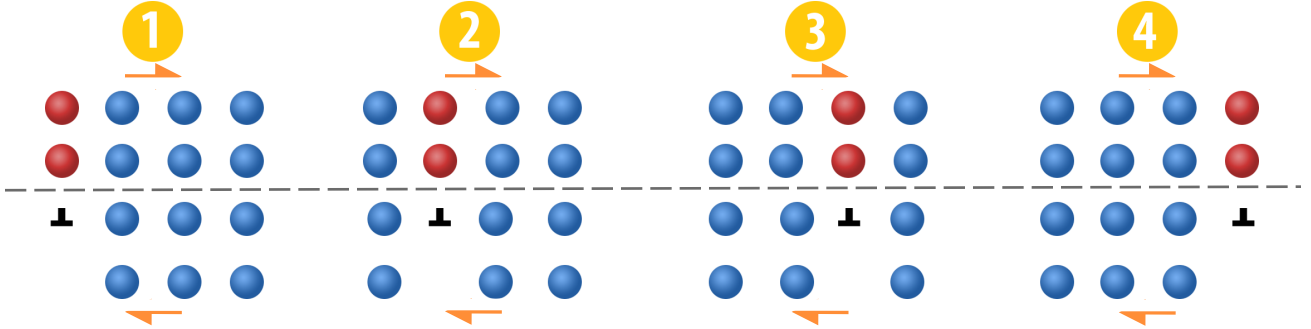
Katı çözeltiyle güçlendirilmiş ferritik sfero dökme demirlerden bahsederken, bu malzemenin mekanik özelliklerini borçlu olduğu katı çözelti sertleşmesi (*solid solution strengthening*) mekanizması hakkında da biraz bilgi vermek faydalı olabilir. Katı çözelti sertleşmesi, kristal yapıya sahip metal ve alaşımları güçlendirmek için faydalandığımız mekanizmalardan bir tanesi. Bu mekanizmanın kökeninde, malzemeyi meydana getiren atom düzlemlerinin birbirleri üzerinde kaymasını sağlayan dislokasyon hareketinin engellenmesi yatıyor. İşin ayrıntılarına fazla inmeden, basit bir şekilde anlatalım.

Sertleşmenin mekanizması

Dislokasyonların ayrıntılarını şimdilik bir kenara bırakalım. Bilmemiz gereken tek şey şu: Kristal yapıdaki metal ve alaşımlar, atomlardan oluşan düzlemlerden meydana geliyor. Tıpkı üst üste koyduğunuz iskambil kağıtları gibi. Nasıl bu iskambil kağıtları birbirleri üzerinde kayabiliyorlarsa, atomlardan oluşan bu düzlemler de benzer şekilde birbirleri üzerinde kayabiliyorlar. Bu kayma hareketi ne kadar zor olsa da, kolaylaşmasını sağlayan bir şey var: Bu düzlemler arasında yarım bir düzlemin bulunuyor olması. Dislokasyon çizgisi dediğimiz şey de, zaten bu yarım düzlemin yapı içinde kalan ucundan başka bir şey değil. Bu yarım düzlemin kayma hareketini nasıl kolaylaştırdığı bir sonraki sayfada şematik olarak gösteriliyor.

Yarım düzlem ve dislokasyon hareketi

Kırmızı renkle gösterilen yarım düzlem mavi düzlemlerle yer değiştirerek alt ve üst kısımların birbirlerine referansla kaymalarını sağlıyor. Bu yarım düzlemin alt kısmına (ters T ile gösteriliyor) dislokasyon çizgisi adı veriliyor.



İşin ayrıntısına girip konudan fazla uzaklaşmayalım. Bu noktada şunu anlamamız yeterli: Bir kristal içinde yarım kalan böyle bir düzlem olunca, bu yarım düzlem diğer düzlemlerle teker teker yer değiştirerek, dislokasyon çizgisinin alt ve üst kısımlarının birbirlerine referansla yer değiştirmelerini sağlayabiliyor (yukarıdaki resim). Dislokasyon hareketi adını verdiğimiz bu işleyiş sayesinde, kristal yapıya sahip metal ve alaşımlar yük altında kaldıkları zaman kırılmak yerine şekil değiştirebiliyorlar.

Dislokasyon hareketinin atomik düzeydeki işleyişi elbette burada yaptığımız basit tarife göre daha karmaşık. Fakat çizdiğimiz bu basit resim, dislokasyonları durdurduğumuz zaman malzemenin nasıl güçlenebileceğini anlamamızı sağlıyor. Katı çözeltili sertleşmesi, bu kayma hareketini durdurmak için kullandığımız çözümlerden bir tanesi. Şimdi biraz da bu mekanizmanın ayrıntıları üzerinde duralım.

İşin mekanizmasını anladığımız zaman, malzemeleri güçlendirmek için ne yapmamız gerektiği de kendiliğinden ortaya çıkıyor: Bu düzlemlerin kaymasını zorlaştırmamız lazım. Yani dislokasyon hareketini daha zor hale getirmemiz lazım. Bunu başardığımız zaman, atom düzlemlerinin birbirleri üzerinde kaymaları için daha yüksek yük uygulamamız gerekiyor. Bunun doğal sonucu olarak, malzemenin dayanımı artmış oluyor.

Katı çözelti sertleşmesinin basit bir tarifi

Yukarıda anlattıklarımızdan yola çıkarak, kristal yapıya sahip bir metal ya da alaşımı güçlendirmek için dislokasyon hareketini, yani atom düzlemlerinin birbirleri üzerinde kayma becerilerini kısıtlamamız gerektiğini anlıyoruz. Bunu sağlamanın en basit yollarından bir tanesi, kayan bu düzlemlerin çevrelerine bazı engeller yerleştirmek. Böylece bu düzlemleri sabitleyerek durdurabilir ve böylece malzemenin yüke karşı direncini, yani dayanımını arttırabiliriz.

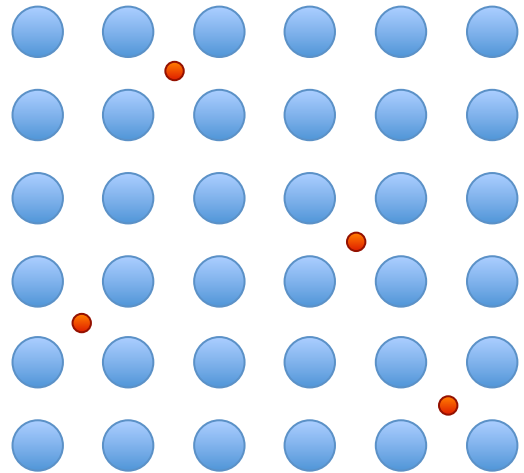
Katı çözelti sertleşmesinde, atom düzlemlerinin kaymalarını engellemek için farklı atomlardan faydalanıyoruz. Bir malzemeyi meydana getiren atomlardan farklı bir atomu kristal yapı içine soktuğumuz zaman, bu farklı atomun boyutları da farklı olduğu için, atom düzlemlerinin kusursuzluğunu bozmuş oluyoruz. Bu kusur nedeniyle hem atom düzlemlerinin birbirleri üzerine kaymaya başlaması zorlaşıyor (akma dayanımı artıyor), hem de kaymaya devam edebilmeleri için uygulanması gereken kuvvet miktarı artıyor. Bunun sonucu olarak çekme dayanımı da artıyor.

Peki bu düzlemlerin üzerine ya da çevresine farklı boyutlara sahip yabancı atomları nasıl yerleştirebiliriz? Oldukça basit: Bu özelliklere sahip bir elementi sıvının içine atıp çözünmesini sağlıyoruz. Tıpkı çaya şeker atmak gibi. Fakat çaya attığımız şekerden farklı olarak bu karışımı dondurup, çözünen

atomun çözünmüş halde katı içinde kalmasını sağlıyoruz. Bu ne anlama geliyor? Örneğin sıvı dökme demir içine bu amaçla silisyum ekleyip çözünmesini sağladıysak, katılaşma sırasında silisyum atomlarının tekrar birleşip katı içinde silisyum adacıkları oluşturmalarını değil, tamamen çözünmüş olarak, katı içinde dağılmış vaziyette kalmalarını istiyoruz (ortaya çıkan bu karışıma *katı çözelti* adını veriyoruz). Yabancı atomlar bu şekilde dağıldıkları zaman, kendilerine denk gelen dislokasyonların hareketini kısıtlayarak malzemenin güçlenmesini sağlıyorlar.

Bir katı çözeltinin temsili gösterimi

Atomları kırmızı renkle gösterilen element, mavi renkli atomların oluşturduğu kristal içinde çözünerek bir katı çözelti oluşmasını sağlamış.



Kati çözelti türleri

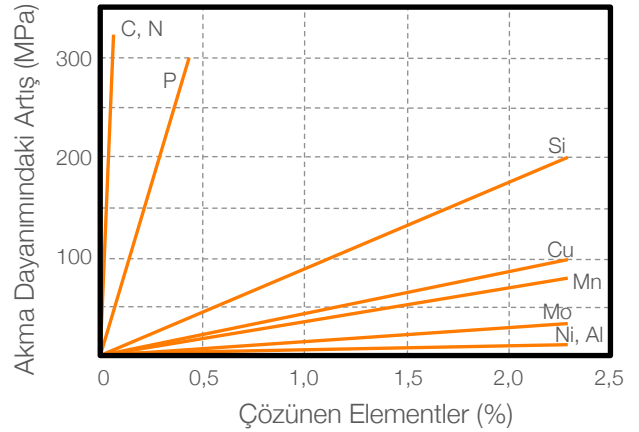
Kati çözelti içinde bulunan yabancı atomlar, kristal yapı içinde iki farklı şekilde konumlanabiliyorlar. Eğer içeri sızan yabancı atom, kristal yapıyı oluşturan atomların konumuna yerleşiyorsa, bu atomu yeralan (*substitutional*) olarak adlandırıyoruz. Bu durum, yabancı atomlar kristali oluşturan atomlarla benzer boyutlara sahip olduğu zaman ortaya çıkıyor. Eğer içeri sızan ve çözünen atomlar daha küçük boyutlara sahipse, o zaman kristali oluşturan atomların arasındaki boşluklara da yerleşebiliyorlar. Bu tür atomları arayer (*interstitial*) olarak adlandırıyoruz.

Bir metal ya da alaşım içinde ne kadar atom çözünebilir? Çözünürlüğün de bir sınırı var elbette: Çay içine bir küp şeker atıp çözebilirsiniz. Ama şeker atmaya devam ederseniz, bir noktadan sonra şekerin bardağın dibinde biriktiğini görmeye başlarsınız. Çünkü eklediğiniz şeker miktarı, çayın (ya da sıcak suyun diyelim) çözebileceği miktarın üzerine çıkmış demektir. Benzer şekilde bir katının da çözebildiği atom miktarının bir sınırı var. Bu sınır malzemeden malzemeye ve çözünecek elemente göre değişiklik gösteriyor.

Fakat şöyle bir gerçek var ki, bir malzeme içinde çözdüğünüz atom miktarı arttıkça, dislokasyon hareketini daha etkin bir şekilde kısıtlayabileceğiniz için, elde ettiğiniz güçlenme etkisi de artıyor. Bu yüzden, bir önceki kısımda bahsedildiği gibi, ikinci nesil dökme demirlerin dayanımı eklenen silisyum miktarına paralel şekilde artıyor.

Ferrit içinde çözünerek kati çözelti sertleşmesi yaratan elementlerin akma dayanımına etkileri

Kaynak: Schmauder (2011), Pickering (1978)



Tabii, bu demek değil ki ferrit fazı silisyumu çözebildiği noktaya kadar silisyum eklemeye devam edebiliriz: Hayır, çözünürlüğe ek olarak, burada mekanik özelliklerdeki değişimi de dikkate almamız lazım. Çünkü silisyum miktarı kritik bir seviyeye ulaştığı zaman, hiç beklemediğimiz bir durumla karşılaşabiliyoruz. Silisyum miktarının mekanik özellikler üzerindeki etkisini, bir sonraki bölümde ele alacağız.

Silisyumun Mekanik Özelliklere Etkisi



Hem Dünya, hem de dökümhaneler için önemli bir an: Amerika'da 1776 yılında Bağımsızlık Bildirgesi ilk defa okunduktan sonra, resimdeki Özgürlük Çanı (Liberty Bell) çalınmıştı. Resimde, 1753 senesinde Pass and Stow dökümhanesinde dökülen Özgürlük Çanı'nın dökümhane ortamındaki ilk testi gösteriliyor. Resimde solda, koltuk altında şapka ile gösterilen kişi ise Benjamin Franklin (Ressam: Jean Leon Gerome Ferris).

20. Yüzyılın ikinci yarısından itibaren sanayide üretilmeye başlanan küresel grafitli dökme demirin hikayesi, ikinci nesil sfero dökme demirlerle devam ediyor. Bu malzemenin ilk ortaya çıktığı günden bugüne kadar meydana gelen gelişmelere baktığımız zaman, katı çözeltiyle güçlendirilmiş sfero dökme demirlerin dışında farklı dökme demirlerin de geliştirildiğini görüyoruz. Östenitik ve östemperlenmiş sfero dökme demirler gibi, yine matris yapısına yapılan

müdahaleler sonucunda farklı özelliklere sahip olarak üretilen dökme demirler bugün çeşitli dökümhanelerde üretiliyor. Fakat bu dökme demirlerin toplu bir kıyaslamasını yaptığımız zaman, katı çözeltiyle güçlendirilmiş sfero dökme demirlerin bu diğer alternatiflere kıyasla da öne çıkmayı başardıklarını görüyoruz. Örnek olarak bir sonraki sayfada yer alan grafik üzerinde farklı sfero dökme demir türlerinin sergilediği dayanım değerlerinin kıyaslaması sunuluyor.

Global PARTNERİNİZ.

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



SEKTÖRDE
20. YIL



AVEKS
www.aveks.com



BUREAU
VERITAS

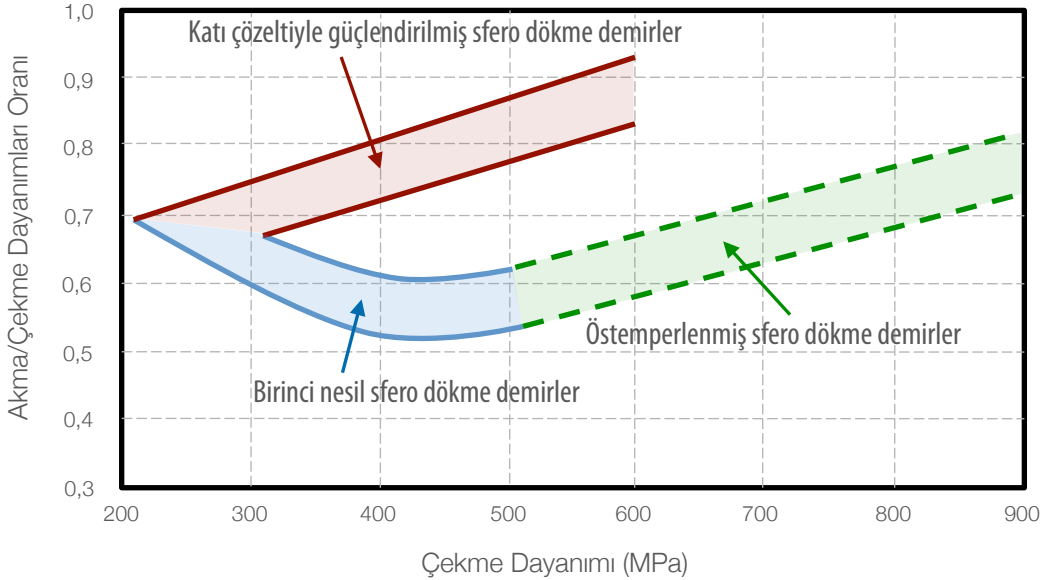
İmes Sanayi Sitesi C Blok 306 Sk. No. 4
Y. Dudullu, Ümraniye, İstanbul, 34775 TURKEY
T. +90 (216) 540 00 60 F. +90 (216) 540 00 61

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

Sfero dökme demirlerin dayanımlarının kıyaslaması

Kaynak: Okunnu (2015)



Bu grafik üzerinde, katı çözeltiliyle güçlendirilmiş sfero dökme demirlerde uzamadan farklı olarak bir başka önemli özelliğe daha dikkat etmemiz gerektiği vurgulanıyor: Akma dayanımı.

Yukarıdaki grafikte dikey eksen, malzemenin akma dayanımı ve çekme dayanımının oranını gösteriyor. Bu oranın artıyor olması, malzemenin akma dayanımı ve çekme dayanımı arasındaki farkın kapandığını ifade ediyor. Örneğin 600 MPa çekme dayanımına sahip bir malzemede bu oran ne kadar yüksekse, akma dayanımının da o kadar yüksek olduğunu anlıyoruz. Dikkat ederseniz bu oran en fazla 1 değerini alabilir: Böyle bir durum gerçekleştiğinde ve oran 1 değerini aldığı anda, akma ve çekme dayanımı

değerlerinin birbirlerine eşitlendiğini anlıyoruz.

Katı çözeltiliyle güçlendirilmiş sfero dökme demirlerde çekme dayanımının 450-600 MPa aralığında olduğunu biliyoruz. Yukarıdaki grafikte akma/çekme dayanımı oranının 0,8-0,9 arasında olması, bu malzemelerin ne kadar yüksek bir akma dayanımına sahip olduğunu gösteriyor. Benzer çekme dayanımına sahip birinci nesil (ferritik/perlitik) dökme demirlerde ise bu oranın yaklaşık 0,55-0,65 aralığında olduğunu, yine bu grafik üzerinde görebiliyoruz. Bu basit kıyaslama, katı çözeltili sertleşmesi sonrasında küresel grafitli dökme demirlerin akma dayanımının ne kadar arttığını açık bir şekilde ortaya koyuyor.

Katı çözeltiliyle güçlendirilmiş sfero dökme demirlerin dayanımlarındaki bu artışa rağmen, sünekliklerini kaybetmiyor olmaları, ve benzer dayanıma sahip birinci nesil sfero dökme demirlere kıyasla daha yüksek uzama değerleri sergiliyor olmaları, bu malzemeleri öne çıkaran bir diğer önemli etken. Örnek olarak minimum 500 MPa çekme dayanımı sergilemesi istenen EN-GJS-500-7 ve ikinci nesil muadili EN-GJS-500-14 alaşımlarından beklenen minimum uzama değerleri arasındaki fark (%7 ve %14), ikinci nesil dökme demirlerin uzama açısından nasıl üstün bir performans sergilediklerini açık bir şekilde ortaya koyuyor.

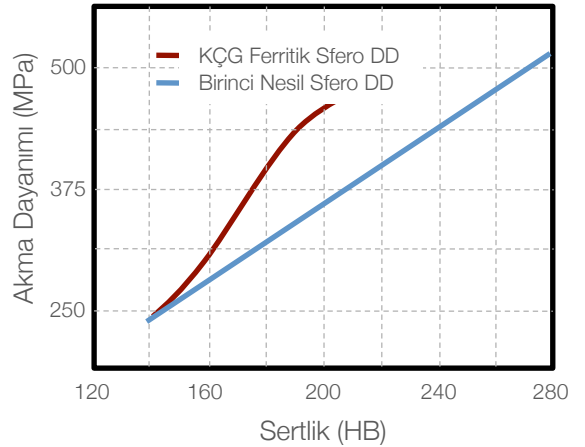
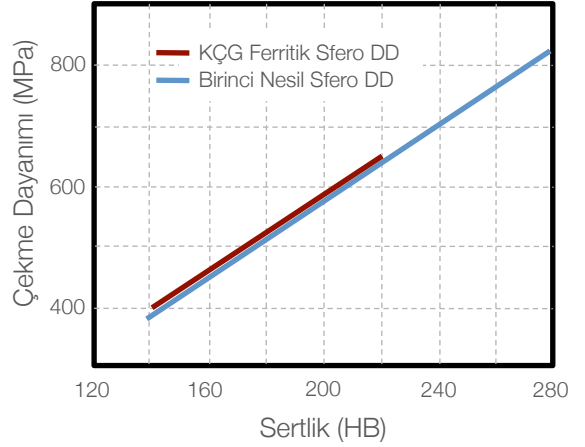
Katı çözeltiliyle güçlendirilmiş sfero dökme demirlerin bir diğer güzel özelliği ise, sertlik değerlerinin parçanın kesit kalınlığına bağlı olarak değişim göstermiyor olması. Mekanik özelliklerin ferrit/perlit oranıyla ayarlandığı birinci nesil dökme demirlerde, yapıda oluşan perlit oranının sadece bakır ya da kalay gibi perlit yapıcı elementlere değil, soğuma hızına ve dolayısıyla kesit kalınlığına da bağlı olması nedeniyle, parça genelinde homojen bir sertlik dağılımı elde etmenin zorluğu birçok dökümcü tarafından biliniyordu. Katı çözeltiliyle güçlendirilmiş sfero dökme demirlerde tamamıyla ferritik bir yapı olduğu için, bu tür problemleri bu alaşımlarda görmüyoruz. Yani parça genelinde oldukça homojen bir sertlik dağılımı elde edebiliyoruz.

Biraz da sertlik üzerinde duralım: Sertlik değerlerinin hem birinci nesil sfero dökme

Dayanım ve sertlik ilişkisi

Kaynak: EN 1563

(Grafik üzerinde yaklaşık değerler sunulmaktadır.)



demirlerde, hem de katı çözeltiliyle güçlendirilmiş (KÇG) ferritik sfero dökme demirlerde çekme dayanımıyla paralel bir şekilde arttığını görüyoruz. Fakat bu paralellik, akma değerleri ve sertlik değerleri kıyaslandığı zaman görülüyor. Diğer bir deyişle KÇG sfero dökme demirlerde sertliğin artması, akma dayanımını çok daha

yüksek bir oranda arttırıyor. Benzer bir etkiyi, bu bölümün girişinde sfero dökme demirlerin akma/çekme dayanımı oranlarının gösterildiği grafik üzerinde de görmüştük: Katı çözeltiyle güçlendirilen ferritik sfero dökme demirlerin akma dayanımı, benzer çekme dayanımına sahip birinci nesil sfero dökme demirlere kıyasla daha yüksek olduğu için, bu etkiyi akma dayanımı değerleri sertlik değerleriyle kıyaslanadığında da görebiliyoruz.

Silisyumun etkisi

Buraya kadar anlatılanlardan öğrendiğimiz bir şey var: Katı çözeltiyle güçlendirilen sfero dökme demirlere bu mekanik özellikleri kazandıran şey, katı çözelti sertleşmesini yaratan yüksek silisyum takviyesi. Buraya kadar her şey güzel fakat bu noktada şu soruyu sormadan edemiyoruz: Bu kadar basit bir takviye sayesinde elde edilen özellikler neden bu kadar geç fark ediliyor? Neden birinci nesil dökme demirlerle birlikte keşfedilen bir malzeme değil de, neredeyse yarım asır sonra geliştirilen ikinci nesil bir dökme demir olarak tanıyoruz bu malzemeyi?

Bu sorunun cevabını, küresel grafitli dökme demir patentinde bulabiliyoruz. 1949 senesinde Millis ve ekip arkadaşlarının aldığı patentte, dökme demirin içerdiği silisyum miktarı %2'nin üzerine çıktığında, çekme dayanımı, uzama ve tokluk gibi mekanik özelliklerin kötüleşmeye başladığına dair bir ifade yer alıyor. Tabii malzemeyi keşfeden isimler patentte böyle bir ifadeye yer verince,

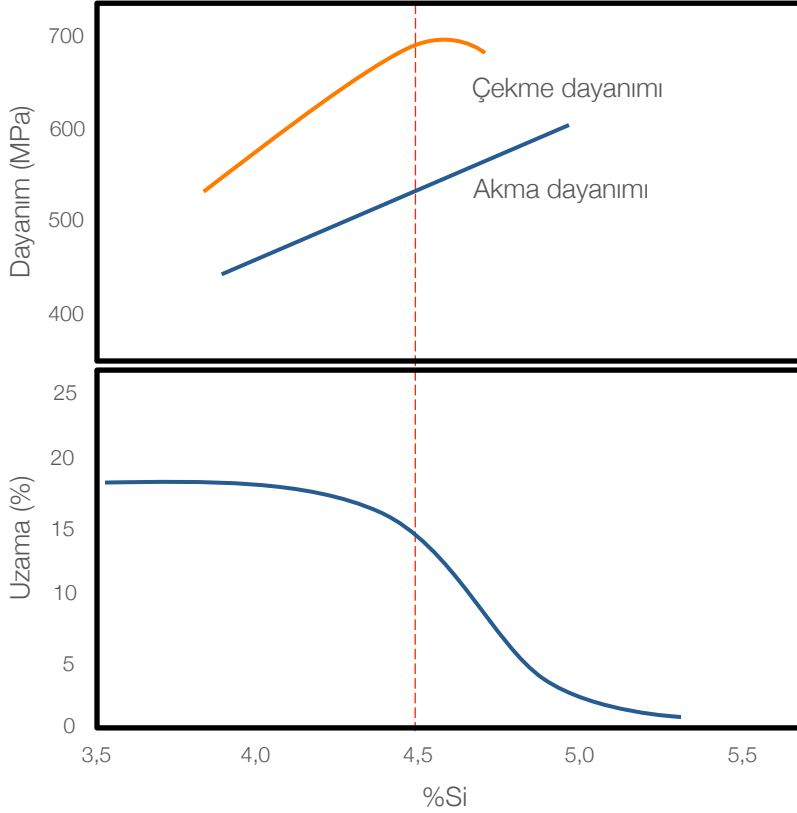
ister istemez herkesin kafasına “silisyum miktarı artarsa dökme demir kırılganlaşır” şeklinde bir düşünce yerleşiyor.

Millis'i ve arkadaşlarını yanıltan şey ne olabilir diye baktığımız zaman, patent çalışmasında inceledikleri dökme demir alaşımlarında %0,8 ve üzerinde mangan (Mn) bulunduğunu görüyoruz. Muhtemelen Millis ve arkadaşlarının ürettiği malzemelerde onları yanıltan şey, dökme demirlerin içerdiği bu yüksek Mn miktarı oldu. Malzemenin uzama değerlerini yüksek tutmak için mangan miktarı %0,3 altına çekildiği zaman, silisyumun gerçek etkisini daha net bir şekilde görmeye başlıyoruz.

Dökme demirlerin içerdiği silisyum miktarı %4,3 civarına gelene kadar, katı çözelti sertleşmesi sayesinde malzeme sünekliğini çok fazla kaybetmeden güçleniyor. Silisyum miktarı %4,3 - %4,5 civarına geldiğinde ise, çekme dayanımı ve uzama değerlerinin hızlı bir düşüş göstermeye başladığını ve malzemenin kırılganlaştığını gözlemliyoruz (Stets, 2014). Mekanik davranıştaki bu değişim, bir sonraki sayfada sunulan grafikler üzerinde incelenebilir.

Yüksek silisyum miktarının mekanik özelliklere etkisi

Kaynak: IfG Düsseldorf (2010-2012)'de sunulan verilen baz alınarak yeniden çizilmiştir. (25 mm çapında, ayrı dökülmüş numune sonuçlarından yaklaşık ortalama değerler alınmıştır)



Silisyuma dair dikkat edilmesi gereken önemli bir konu daha var: Silisyum, küresel grafitli dökme demirdeki grafit kürelerinin çevrelerinde birikme eğilimi (segregasyon) gösteren bir element. Dolayısıyla her ne kadar alaşımdaki toplam Si miktarı kritik seviyenin altında olsa da, bu element kürelerin çevrelerinde biriktiği için, bu bölgelerde lokal olarak yoğunlaşıp, küre

çevresinin kırılganlaşmasına yol açabiliyor. Bu konu ilerleyen sayfalarda, döküm hataları bölümündeki segregasyon başlığı altında ayrıntılı olarak ele alınacak.

Bu başlık altında son olarak bir de silisyumun bir noktadan sonra dökme demirleri nasıl kırılganlaştırmaya başladığı üzerinde duralım. Önceki sayfalarda, Si miktarı %4,3 civarına yaklaşıncaya kadar hem akma, hem de çekme dayanımının arttığını, fakat Si miktarı daha da arttırıldığı zaman malzemenin dayanımını ve sünekliğini kaybetmeye başladığını görmüştük.

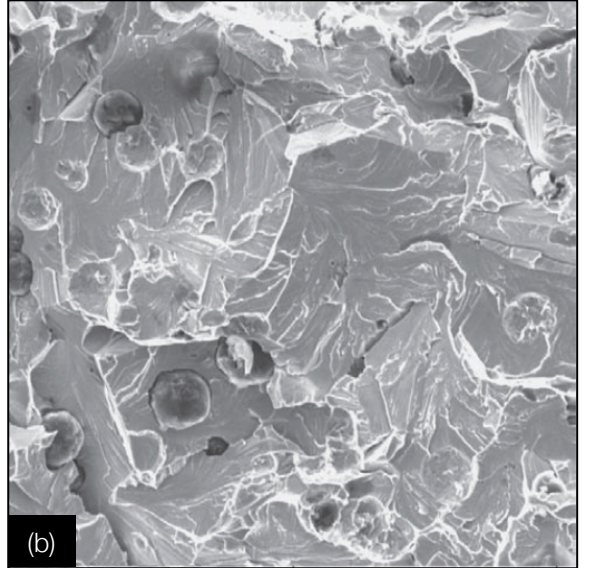
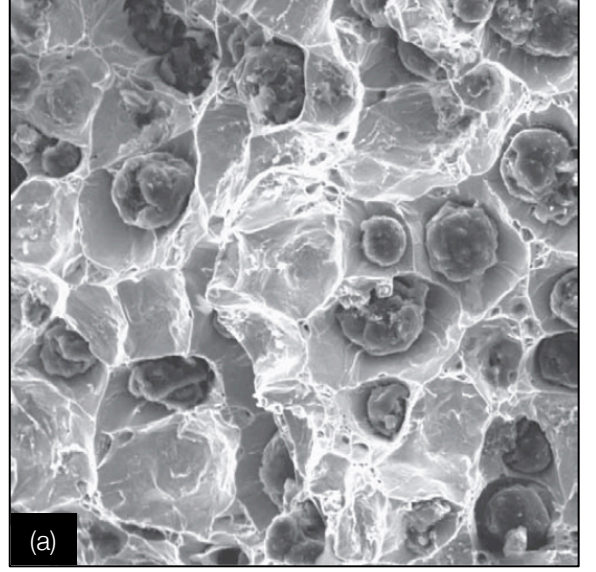
Yüksek silisyum miktarının süneklik üzerindeki olumsuz etkisi, Glavas'ın (2016) çalışmasından alınan yan taraftaki mikroyapı fotoğrafları üzerinde de açık bir şekilde görülüyor. Üst taraftaki (a) mikroyapı fotoğrafında, %3,1 Si içeren bir alaşımın çekme testi sonrasındaki kopma yüzeyinin yapısı gösteriliyor. Yüzeyde görülen çukurcuklar, sadece sünek kopma gerçekleşmesi durumunda ortaya çıktığı için, malzemenin belli bir süneklığe sahip olduğunu rahatlıkla anlayabiliyoruz.

Alt kısımda yer alan ve (b) ile gösterilen mikroyapı fotoğrafı ise, %4,2 Si içeren alaşımın çekme testi sonrasındaki kopma yüzeyini gösteriyor. Dikkat ederseniz, burada gördüğümüz görüntü, yukarıdaki resimde görülen çukurcuklu yapıdan farklı: Tamamıyla sünek bir kopma yüzeyi yerine, malzemenin deformasyon kapasitesinin azaldığını gösteren kesme izlerini görmeye başlıyoruz. Sonuç olarak bu fotoğraflar üzerinde, silisyum kritik seviyeye ulaştığı zaman malzemenin uzama becerisini nasıl kaybetmeye başladığını bir başka açıdan daha görmüş oluyoruz.

Si miktarının süneklik ve tokluk üzerindeki etkisi

Kaynak: Glavas et al. (2016)

- (a) %3,1 Si içeren alaşımın sünek kırılma yüzeyi
- (b) %4,2 Si içeren alaşımın gevrek kırılma yüzeyi





Katı Çözeltiyle Güçlendirilmiş Ferritik Sfero Dökme Demirlerin Üretimi

Önceki sayfalarda açıklandığı üzere, bu özel sfero dökme demir alaşımlarına dayanım kazandıran etken alışkın olduğumuz gibi perlit değil, katı çözeltiyle güçlendirilmiş ferrit yapısı. Ferrit içinde çözünen silisyum miktarı artınca, aşına olduğumuz yumuşak ve zayıf ferrit yapısı yerine, dayanımı artmış bir ferrit yapısı elde ediyoruz. Buna ek olarak, yapıda neredeyse hiç perlit bulunmadığı için, perlit içinde yer alan sementit katmanları işin içinden çıkıyor (perlit, ferrit ve sementit fazlarının katmanlar halinde dizilmesinden meydana geliyor). Bu kırılgan faz yapıda bulunmadığı için, malzemenin sünekliğini de koruduğunu ve nispeten yüksek uzama değerleri sergileyebildiğini görüyoruz.

Katı çözeltiyle sertleşme etkisinin her ne kadar silisyum tarafından yaratıldığını söylesek de, mangan ve fosfor gibi bazı farklı elementler de aslında benzer bir etki ortaya çıkarabiliyorlar. Fakat bu elementlerin istenmeyen farklı yan etkileri de olduğu için, bu elementler yerine, bu iş için sadece silisyum kullanmayı tercih ediyoruz. Örneğin manganın yapıda yüksek bir oranda bulunması karbür oluşumunu desteklerken, fosfor, stedite (İngilizce: *steadite*) adında kırılgan bir yapının oluşmasına yol açabiliyor. EN 1563 standartında bu elementer için önerilen kompozisyon aralıklarını bir sonraki sayfada yer alan tablo üzerinde görebilirsiniz.

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



Tablo: EN 1563 standardında katı çözeltiliyle güçlendirilmiş ferritik sfero dökme demirlerin kompozisyonuna dair sunulan önerilerin özeti.

Gösterim	%Si (Yaklaşık) ^a	%P (Maks.)	%Mn (Maks.) ^b
EN-GJS-450-18	3,20	0,05	0,50
EN-GJS-500-14	3,80	0,05	0,50
EN-GJS-600-10	4,30	0,05	0,50

^a) Farklı alaşım elementlerinin varlığına bağlı olarak %Si değeri daha düşük tutulabilir.
^b) Mangane oranının daha düşük tutulması (örneğin %0,30), uzama ve işlenebilirliği artırır.

Fosfor ve manganın mekanik özellikler üzerindeki olumsuz etkileri sadece bu standart üzerinde değil, teknik literatürde sunulan araştırmalarda da göze çarpıyor (Gonzaga, 2005). Üstelik sunulan veriler, bu iki elementin bu standartta sunulandan daha düşük seviyelerde tutulmasının aslında daha iyi sonuçlar doğuracağına işaret ediyor: Örneğin Riposan'ın (2007) sunduğu verilere bakılırsa, ferritik dökme demirlerde optimum özelliklerin elde edilebilmesi için mangane seviyesinin en fazla %0,2, fosfor seviyesinin ise en fazla %0,03 olması gerekiyor.

Katı çözeltiliyle güçlendirilmiş alaşımlar yüksek oranda silisyum içerdiği için, dökülen parçaların tamamen ferritik bir matris yapısına sahip olacağını tahmin etmek pek de zor olmasa gerek. Fakat yine de, EN 1563 standartına göre yapıda en fazla %5 oranında perlit bulunmasına müsaade edildiğini de belirtmemizde fayda var.

Bu standartta mikroyapıyla ilgili olarak gözümüze çarpan bir diğer yorum da grafit parçacıklarının küreselliği üzerine: Yüksek silisyum küreselliği düşürebilen bir etki ortaya çıkardığı için, ikinci nesil sfero dökme demirlerde %20 oranında vermiküler grafit oluşumuna müsaade ediliyor. Fakat bu kısıtlamanın çok katı olmadığını da belirtelim: Malzeme sergilediği mekanik özellikler çerçevesinde sınıflandırıldığı için, istenen mekanik özellikler elde edildiği sürece, daha yüksek oranda vermiküler grafit oluşumu tolere edilebiliyor (Partanen, 2016). Yani bu kısıtlamayı bir zorunluluk değil, daha ziyade mekanik özelliklerin tutturulması için bir tavsiye olarak değerlendirmemiz daha doğru olur.

Katı çözeltiliyle güçlendirilmiş sfero dökme demirlerin mekanik özelliklerini etkileyen elementler sadece silisyum, fosfor ve manganla sınırlı değil elbette. Özellikle uzama değerlerini olumsuz yönde etkileyen karbür yapıcı elementlerin varlığından da kaçınmak gerekiyor. Örneğin karbür yapıcı denildiğinde ilk akla gelen elementlerden biri olan kromun alaşımdaki miktarı %0,6 üzerine çıktığı zaman, uzama değerlerinin ciddi bir şekilde düştüğünü, teknik literatürde sunulan verilere baktığımızda görebiliyoruz (Stets, 2014).

Son olarak bir de karbon miktarı üzerinde durmamızda fayda var: Yüksek silisyumlu bir dökme demir üretirken, örneğin EN-GJS-500-14 gibi, geleneksel üretim alışkanlıklarına sadık kalarak karbon seviyesinin sanki EN-GJS-500-7 ürettiymiş gibi yüksek tutulmaması gerekiyor. Bu alaşımlar, optimum mekanik değerleri ötektik noktaya yakın bir ötektik-altı kompozisyona sahip oldukları zaman sergiledikleri için, alaşımın içerdiği karbon miktarının bu kompozisyon ayarını mümkün kılacak şekilde düşürülmesi gerekiyor.

Ocak hazırlığı

İstenen özellikleri sergileyebilen bir döküm parça üretebilmek için, öncelikle ocakta hazırlanan eriyiğin yüksek bir kalitede olduğundan emin olmamız gerekiyor. Önceki sayfalarda her ne kadar dökülecek parçanın kimyasal kompozisyonu hakkında bazı değerlendirmeler sunmuş olsak da, bu kompozisyon değerlerini zararlı elementlerden uzak duracak şekilde elde etmek için, sürecin başından itibaren konuyu hassasiyetle ele almak gerekiyor.

Bu çerçevede ilk ele alınması gereken konu, ergitmede kullanılan çelik hurdanın kalitesi. Dökümhanelerde kullanılan çelik hurdalardan istenmeyen birçok elementin sıvı içine girdiğini görebiliyoruz. Örneğin manyetik çelik olarak da bilinen yüksek silisyum içeren çelikler kullanıldığında, sıvı içine antimon (Sb) ya da mangan (Mn) girebiliyor. Galvanizli hurda kullanıldığı durumlarda ise ocak içine yüksek miktarda çinko (Zn) girdiğini görebiliyoruz. Bu elementlere ek olarak, ergitilen çeliğin türüne bağlı olarak alüminyum (Al), krom (Cr) ya da kurşun (Pb) gibi elementlerin ocağa girmesi de mümkün olabiliyor. O nedenle yüksek uzama değerleri sergilemesi istenen ikinci nesil dökme demirlerin üretiminde kullanılan hurdanın türünden ve temizliğinden emin olmak gerekiyor.

Bu noktada dikkat edilmesi gereken bir diğer husus da döndü kullanımı. Katı çözeltiliyle güçlendirilmiş sfero dökme demirlerde tamamıyla ferritik bir yapı, görmek istediğimizi daha önce belirtmiştik.

Bu özel alaşımlarda en fazla %5 oranında perlit bulunmasına müsaade edildiği için, bakır ya da kalay içeren döndülerin ocağa girmemesine özen göstermek gerekiyor. Bu malzemelerin üretiminde eğer döndü kullanılacaksa ve kendi döndüsü yeterince yüksek miktarda değilse, EN-GJS-400-15 ya da EN-GJS-400-18 gibi, yine ferritik yapı sergileyen malzemelerin döndülerinin kullanılması gerekiyor.

Döndü kullanımına dair dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta da istenmeyen elementlerin ocağa girme ihtimali: Yüksek silisyum içeren sfero dökme demirlerde chunky (bodur) grafit oluşumu görülebiliyor. İlerleyen sayfalarda bu konudan ayrıntılı olarak bahsedeceğiz, fakat burada bu eğilim nedeniyle özellikle seryumdan (Ce) uzak durmamızda fayda olduğunu bilmemiz lazım. Bu tabii sadece aşılama değil, döndü kullanımı açısından da kritik bir konu: Biz her ne kadar aşı ve küreselleştirici seçimi yaparken bu elementten uzak durmaya özen göstersek de, farklı alaşımların dökümünde eğer Ce içeren küreselleştiriciler ya da aşılama katkıları kullanılıyorsa, ocak hazırlığında bu dökümlerin döndüleri kullanıldığı zaman ocağa seryum (Ce) ya da lantan (La) gibi istenmeyen elementlerin girmesine yol açabiliriz. O yüzden bu tür hassas kompozisyona sahip alaşımların üretiminde kullanılacak döndüleri seçerken dikkatli davranmamız gerektiğini burada tekrar vurgulamakta fayda var.

Küreselleştirme ve aşılama

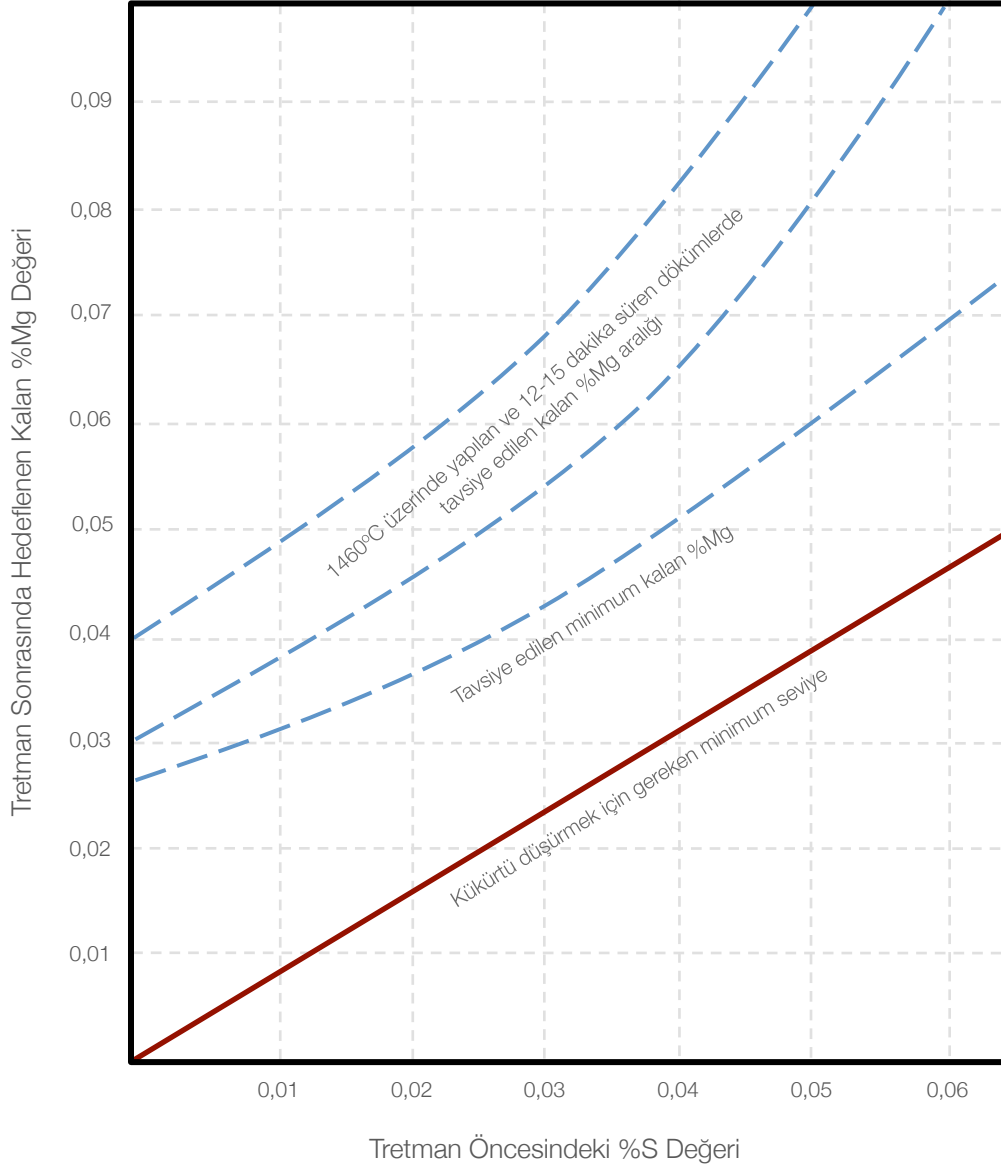
Bir önceki başlık altında da belirttiğimiz gibi, ferritik yapı sergileyen bu özel alaşımlarda chunky grafit oluşumu sıklıkla görülebiliyor. O nedenle katı çözeltiyle güçlendirilmiş sfero dökme demir üretiminde uygulanan küreselleştirme ve aşılama adımlarında, özellikle seryum (Ce) içeren küreselleştirici ve aşılama katkılarından kaçınmak gerekiyor.

İkinci dikkat edilmesi gereken nokta ise küreselleştirme işlemi (Mg tretmanı) sonrasındaki sıvıda kalan kükürt miktarı. Eğer bu işlemi kitabına göre yapmak istiyorsak, tretman sonrasında sıvıda %S = 0,008 - %0,012 aralığını hedefleyecek şekilde küreselleştirme işlemini gerçekleştirmemiz gerekiyor. Fakat gerçek dökümhane pratiklerine baktığımız zaman, kükürt değeri bu aralığın üzerinde olmasına ve küresellik değerlerinde düşme görülmesine rağmen, dökümhanelerin yine de yüksek kükürt değeriyle çalışmaya devam ettiklerini görebiliyoruz. İstenen mekanik özellikleri istikrarlı bir şekilde elde edebilmek için, bu konuya hassasiyet gösterilmesi gerekiyor.

Tretman sonrasında elde edilen kükürt miktarı, sıvı metalin sıcaklığı ve tretmanın verimi gibi birçok farklı değişkene bağlı olarak değişiyor. Küresel grafitli dökme demir üzerine odaklanan El Kitabı'nın bir önceki sayısında bu konu hakkında ayrıntılı bilgi bulabilirsiniz. Fakat yine de, kaba da olsa bir fikir vermesi amacıyla, ocaktaki kükürt seviyesine bağlı olarak tavsiye edilen kalan %Mg değerlerini bir sonraki sayfada sunulan grafik üzerinde inceleyebilirsiniz.

Ocaktaki kükürt miktarına bağlı olarak tavsiye edilen kalan %Mg değerleri

Kaynak: Partanen (2016)



Döküm Hataları ve Muhtemel Sorunlar

Yüksek silisyum cüruf kalıntılarının artmasına neden olabiliyor.

Kaynak: Ductile iron slag defect causes. Borui Casting International.

Dökümcülük ne yazık ki işlerin her zaman kağıt üzerinde planlandığı gibi gittiği bir meslek değil: Özellikle sfero dökme demirlerle uğraşan dökümhane mühendislerinin yakından bildiği üzere, sürece dair kontrol edilmesi gereken, dolayısıyla yanlış gittiği takdirde hataların oluşumuna yol açabilecek çok sayıda parametre bulunuyor. Buna bir de eser elementlerin etkileri gibi kontrolü daha da zor olabilen değişkenlerden gelen etkiler eklendiğinde, döküm hatalarıyla hiç karşılaşmadan dökümcülük mesleğini sürdürmek, gerçekten bir hayal haline geliyor. Fakat şunu kabul etmeliyiz ki, bizim beklentimizin zaten hiç hatayla

karşılaşmamak değil, karşılaştığımız hataları önce doğru teşhis etmek, sonrasında ise doğru çözüm yollarını bulmak olması gerekiyor.

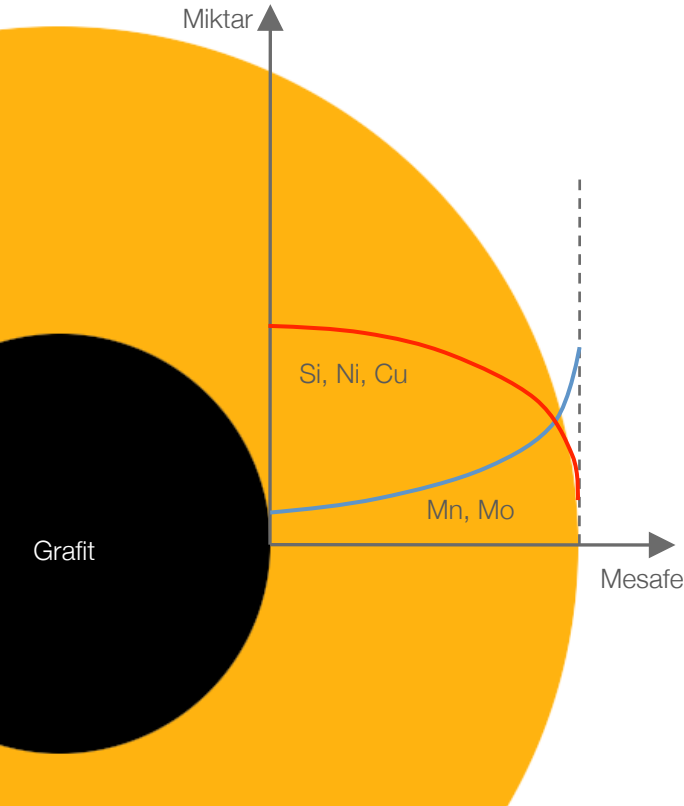
Sfero dökme demirlerde karşımıza çıkan yaygın döküm hatalarını elbette katı çözeltiliyle güçlendirilmiş ferritik sfero dökme demirlerde de görebiliyoruz. Küresel grafitli dökme demir üzerine odaklı El Kitabı'nın ikinci sayısında, döküm hataları üzerine ayrıntılı bilgi bulabilirsiniz. Bu genel hatalar içinde bazıları, katı çözeltiliyle güçlendirilmiş ferritik sfero dökme demirlerde daha sık karşımıza çıkıyor. Bu bölümde, sık karşılaşılan bu hata türlerini ele alacağız.

Segregasyon

Segregasyon, en basit ifade şekliyle, elementlerin homojen bir şekilde dağılmak yerine, bazı konumlarda birikmesi durumuna verdiğimiz isim. Segregasyon oluşması durumunda elementler sadece belli bir konumda topaklanmıyorlar: Daha ziyade, konsantrasyonları artan ya da azalan bir eğilim gösterecek şekilde bir hacim içine dağılıyorlar.

Bazı alaşım elementlerinin mikrosegregasyon eğilimleri

Kaynak: Pietrowski et al. (2012)



Segregasyon, döküm malzemelerde de sıklıkla karşımıza çıkan bir durum. Örneğin yüzey aktif elementler olarak bilinen kükürt ve oksijen, sıvı ile grafit arasında kalan arayüzeyde birikme eğilimi gösterdiği için, bu arayüzeyin enerjisini düşürerek lamel grafit yapısının ortaya çıkmasını sağlıyorlar. Üstelik bu tür bir birikme eğilimi gösteren elementler sadece kükürt ve oksijenle sınırlı değil: Mangan, molibden, nikel, bakır ve silisyum gibi dökme demirlerde gördüğümüz birçok elementin, değişen ölçülerde segregasyon eğilimi gösterdiklerini biliyoruz.

Segregasyon eğilimine dair bilmemiz gereken bir diğer önemli nokta da, farklı elementlerin farklı segregasyon eğilimleri gösterebiliyor olması: Örneğin sfero dökme demirlerde silisyum (Si) atomları grafit küresinin yakınlıklarına doğru birikme eğilimi gösterirken, mangan (Mn) atomları grafit kürelerinden uzaklaşacak şekilde bir birikme eğilimi gösteriyorlar. Daha basit bir ifadeyle, Si atomları grafit kürelerinin çevresinde birikiyor. Mn atomları ise kürelerden uzakta, ötektik tanelerin aralarında, yani tane sınırlarında birikiyorlar.

Elementlerin gösterdiği bu segregasyon eğilimi, malzemelerin mekanik özellikleri üzerinde olumsuz etkilere yol açabiliyor. Örneğin teknik literatürde sunulan çalışmalara baktığımız zaman, grafit küreleri ve ferritik matris arasında birikme eğilimi gösteren silisyum (Si) atomlarının, bu iki yapı arasındaki arayüzeyi zayıflatıldığını ve bunun sonucu olarak kürelerin matris içinden daha kolay kopmalarına neden olduğunu görebiliyoruz (Alhussein, 2014, Lin, 2003).

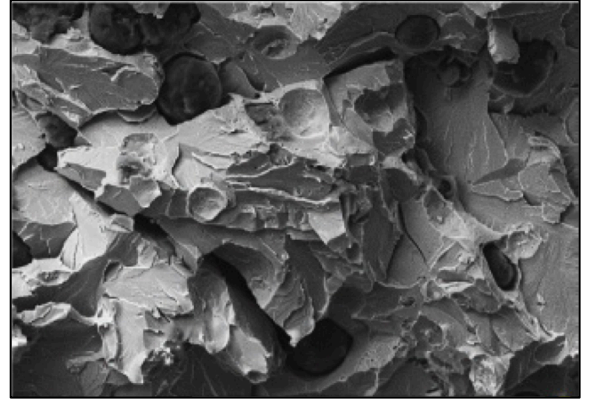
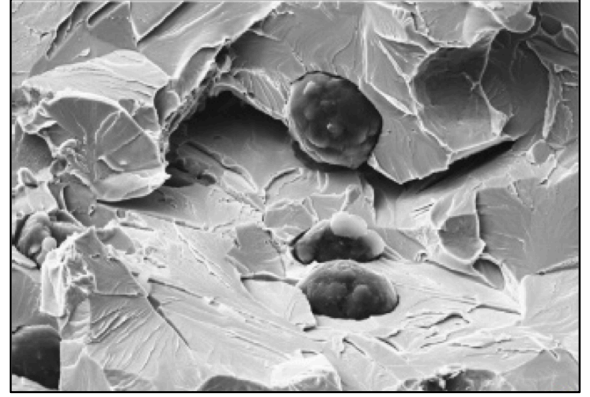
Bu ve benzer çalışmaların ortaya koyduğu resme göre, silisyum atomlarının segregasyonu sonucu kompozisyonun lokal olarak arttığı bu bölgelerde çatlak oluşumunun kolaylaştığı ve malzemenin sünekliğini kaybederek kırılmalanlaşmaya başladığı anlaşıyor.

Bu problemin üstesinden gelmek için nasıl bir çözüm üretebiliriz? Eğer siz de segregasyon nedeniyle kürelerin çevresinde silisyum miktarının lokal olarak arttığını, buna bağlı olarak bu bölgelerde çatlak oluştuğunu ve malzemenin çekme testinde erken koptuğunu görüyorsanız, bu problemi gidermek için iki farklı çözüm yolu deneyebilirsiniz: Akla ilk gelen çözüm yolu, elbette ki silisyum miktarını biraz aşağı çekmek ve böylece birikme seviyesini azaltmak. Eğer bu şekilde çözüm sağlayamıyorsanız, küreleri inceltmek ve sayısını arttırmak için aşılama pratiğini değiştirerek de olumlu bir sonuç elde etmenizi sağlayacaktır. Küre sayısının artması ve incilmesi sonucunda silisyum atomlarının çevrelerinde birikebilecekleri konumlar da çoğalacağı için, silisyumun yüksek seviyede birikmesi ve malzemenin kürelere yakın konumlarda kırılmalanlaşmaya başlaması engellenebilir.

Silisyum segregasyonu neticesinde malzemenin kırılmalanlaşması

Kaynak: Alhussein et al. (2014)

Çekme testi sonrasındaki kopma yüzeylerini gösteren aşağıdaki mikroyapı resimlerinde, grafit kürelerinin ferrit yüzeyinden nasıl ayrıldığına dikkat ediniz.



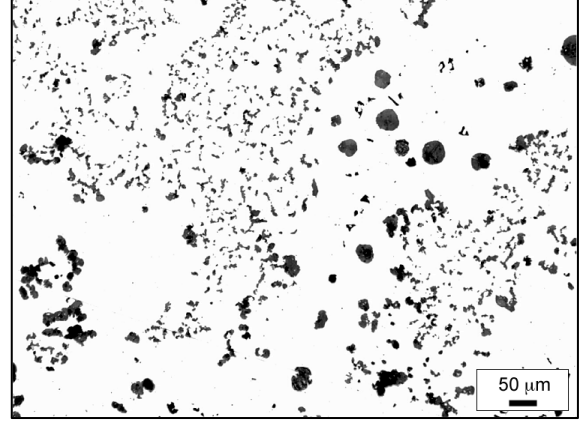
Chunky grafit

Chunky grafit, kalın kesitli sfero parçalarda sıklıkla karşılaştığımız bir problem. Küresel grafitli dökme demir üzerine odaklanan El Kitabı'nın 2. sayısında bu problemi kapsamlı bir şekilde ele almıştık. Katı çözeltiyle güçlendirilmiş sfero dökme demirlerde de sıklıkla karşımıza çıkabilen bir hata türü olduğu için, bu problemlili grafit yapısını burada tekrar ele alacağız.

Kısa bir hatırlatma yapalım: Chunky (bodur) grafit, küresel grafitin biçimsel özelliklerinde meydana gelen bir bozulma nedeniyle ortaya çıkan, bodur ve solucanımsı grafit parçacıklarına verdiğimiz isim. Uygulanan kalıplama yönteminden bağımsız olarak ortaya çıkan bu sorunu özellikle kalın kesitli, yavaş soğuyan sfero dökme demirlerde görüyoruz. 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 kümelenmiş olarak 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

Kaynak: Kallbom et al. (2006)



Chunky grafit her ne kadar yavaş soğuyan, kalın kesitli parçalarda ortaya çıkıyor desek de, bu problemin ortaya çıkmasını teşvik eden bazı elementler de var. Yani kompozisyon açısından da risk altında olan bazı malzemeler var. Hangi elementler bu problemi teşvik ediyor diye baktığımız zaman seryum (Ce), kalsiyum (Ca), silisyum (Si) ve nikel (Ni) elementlerini görüyoruz.

Chunky grafit ve kimyasal kompozisyon ilişkisi denildiği zaman, genellikle akla ilk olarak seryum (Ce) gelir. Çünkü bu elementin kalın kesitli parçalarda chunky grafit oluşumunu teşvik ettiğini biliyoruz. Fakat katı çözeltiyle güçlendirilmiş sfero dökme demirler perspektifinden baktığımız zaman, yukarıda listelediğimiz elementler arasında bir başka elementin öne çıktığını görüyoruz: Silisyum (Si).

Bu özel alaşımlarda silisyum miktarının bu kadar yüksek olması, ister istemez küreselliğin bir miktar düşmesine yol açabiliyor. Bu nedenle EN 1563 standardında, mikroyapıda en fazla %20 oranında küresel olmayan grafit parçacığının bulunmasına müsaade edildiğini görüyoruz. Fakat bu noktada katı çözeltiyle güçlendirilmiş sfero dökme demirlerin mekanik özelliklerinin, birinci nesil sfero dökme demirlere kıyasla küresellik kaybindan daha az etkilendiğini tekrar hatırlatmamız lazım. Zaten bu nedenle ilgili standartta minimum %20 küresel olmayan parçacık ifadesi bir şart olarak değil, bir tavsiye olarak sunuluyor. Eğer küresel olmayan parçacık oranı %20'nin üzerinde olmasına rağmen istenen mekanik değerler elde edilebiliyorsa, parça kabul edilebiliyor. Mekanik değerlerle ilgili olarak chunky grafitin akma dayanımı üzerinde önemli bir etki yaratmadığını, fakat çekme ve uzama değerlerini olumsuz bir şekilde etkilediğini son bir not olarak belirtelim (Ferro, 2012).

Sonuç

Katı çözeltiliyle güçlendirilmiş ferritik sfero dökme demirlerin üretimi, dökümhanelerde dökmeğe aşına olduğumuz birinci nesil sfero dökme demirlere kıyasla biraz farklı bir yaklaşım gerektiriyor. Dayanım ve uzama değerlerini istenen seviyeye getirmek için ferrit/perlit oranıyla oynamak yerine, bu ayarı sadece yüksek oranda silisyum ekleyerek yapıyoruz. Silisyumun grafit yapıcı özelliği nedeniyle ferritik bir yapı sergileyen ikinci nesil dökme demirler, yüksek dayanım yanında oldukça yüksek uzama değerleri de sergiliyorlar.

Bu özel sayıda nispeten yeni bir malzeme olarak değerlendirebileceğimiz katı çözeltiliyle güçlendirilmiş ferritik sfero dökme demirler üzerindeki gizem perdesini kaldırmaya çalıştık. Önceki sayfalarda ayrıntılı olarak açıklandığı üzere, aslında dökümhanelerin bu dökme demirleri üretme konusunda çekingen davranmaları için pek bir gerekçe yok: Silisyum oranı yanında karbon eşdeğeri de doğru bir aralıkta olduğunda; fosfor ve mangan gibi elementlerin oranı da düşük tutulduğunda, fazla bir zahmete girmeden bu yeni malzemeleri üretebilmemiz mümkün olabiliyor. Ayrıca yapının ferritik olması nedeniyle, perlitik dökme demirlerde gördüğümüz sertlik farklılıkları gibi problemlerle, ikinci nesil dökme demirlerde karşılaşmıyoruz.

El Kitabı'nın bir sonraki sayısında görüşmek üzere!



Kaynaklar ve Okuma Listesi

Atomistic simulations of solid solution strengthening of α -iron. S. Schmauder and C. Kohler. Computational Materials Science. Vol. 50 (2011) 1238.

Cast ferrous alloys. K.D. Millis, A.P. Gagnebin, N.B. Pilling. US Patent 2,485,760 (1949).

Chunky graphite in ductile iron castings. R. Kallborn, K. Hamberg, L.E. Björkegren. WFC06, Harrogate UK (2006).

Effect of silicon content on intergranular embrittlement of ferritic spheroidal graphite cast iron suffered from cyclic heating. H. Lin, T. Lui, L. Chen. Materials Transactions. Vol. 44 (2003) 173.

EN 1563:2011. Founding - Spheroidal graphite cast irons. European Committee for Standardization (2011).

EN-1563 New generation ductile irons (Solid solution strengthened ductile irons). B. Duit, S. Değirmenci, B. Şirin. Proceedings of the Ankiros 7th International Foundry Congress (2014).

Fatigue properties of ductile cast iron containing chunky graphite. P. Ferro, P. Lazzarin, F. Berto. Materials Science and Engineering A. Vol. 554 (2012) 122.

High strength solution-strengthened ferritic ductile iron. R. Okunnu. Master's Thesis. Aalto University (2015).

Influence of an appropriate balance of the alloying elements on microstructure and on mechanical properties of nodular cast iron. R.A. Gonzaga, J.F. Carrasquilla. Journal of Materials Processing Technology. Vol. 162-163 (2005) 293.

Influence of silicon and addition elements on the mechanical behavior of ferritic ductile cast iron. A. Alhussein, M. Risbet, A. Bastien, J.P. Chobaut, D. Balloy, J. Favergeon. Materials Science and Engineering: A. Vol. 605 (2014) 222.

Influencing factors on as-cast and heat treated 400- 18 ductile iron grade characteristics. I. Riposan, M. Chisamera, S. Stan. China Foundry. Vol. 4 (2007) 300.

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

Optimization of solid solution strengthened ferritic ductile iron production by thermal analysis and solidification simulation. O. Partanen. Master's Thesis. Tampere University of Technology (2016).

Physical metallurgy and the design of steels. F. B. Pickering. Applied Science Publishers (1978).

Schlussbericht Werkstoff- und Fertigungstechnische Grundlagen der Herstellung und Anwendung von hoch Silizium-haltigen Gusseisen mit Kugelgraphit. IfG, Düsseldorf. 01.07.2010-30.06.2012.

Solution strengthened ferritic ductile cast iron: Properties, production and application. W. Stets, H. Löblich, G. Gassner, P. Schumacher. International Journal of Metalcasting 8 (2014) 35.

The properties of silicon alloyed ferritic ductile irons. Z. Glavas, A. Strkalj, A. Stojakovic. METABK 55 (2016) 293.

Dökümcünün

El Kitabı

Serisi – 03

Katı Çözeltiyle Güçlendirilmiş
Ferritik Sfero Dökme Demirler

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

Dokumhane.net

Aralık 2016