

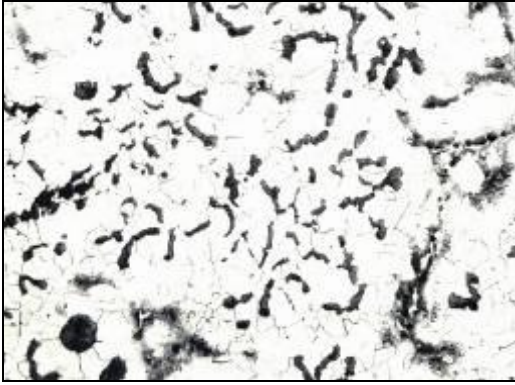


Vermiküler Grafit Dökme Demir Üretimi ile ilgili Makale (CGI)

M. JONULEİT AND W. MASCHKE

1. Giriş

Vermiküler Grafitli dökme demirler (CGI), küresel grafitli dökme demirlerin (DI) gelişimi sırasında ortaya çıkmış, lamel ile küresel grafit arasında geçiş sayılabilecek bir grafit yapısına sahiptir. Küresel grafitli dökme demirlerin üretimi İkinci Dünya Savaşından sonra başarılı çıkışını sürdürürken, günümüzde yeni bir malzeme gelişimi olarak ortaya çıkan vermiküler yapı, küresel grafit üretiminde hep olumsuz ve istenmeyen bir grafit tipi olarak görülmüştür. Vermeküler grafitin mikro yapısı Resim1 de gösterilmiştir [1].



Resim 1: "Vermiküler" grafit

Geçmişte, Vermiküler grafitli dökme demirleri (CGI) standart bir malzeme haline getirmek üzere bir dizi araştırma ve geliştirme projeleri [2 ile 5 arasında] yürütülmüştür. Bu projelerde elde edilen sonuçlar daha sonra teknik makaleler olarak [6 ile 16 arasında] yayımlanmıştır. DI ile gri dökme demir (GI) arasında sınıflandırılan CGI'nin faydalı özellikleri çok geçmeden keşfedilmiştir.

CGI'nin, DI ile mukayese edildiğinde; daha düşük genleşme katsayısı (expansion coefficient), daha yüksek ısı iletkenliği (thermal conductivity), daha iyi ısıl şok dayanımı (thermo-shock), daha düşük esneklik katsayısı (elasticity modulus), yüksek sıcaklıklarda daha az bükülme (distorsion), ve daha iyi sönüm kapasitesi (damping capacity) ve dökülebilme (castability) özellikleri daha iyidir.

Öte yandan, CGI, GI ile karşılaştırıldığında mekanik özelliklerin et kalınlığına daha az bağımlı olması, yüksek sıcaklıklarda daha az oksitlenme eğilimi ve daha az hacimsel genleşme, alaşım elementleri kullanılmadan mukavemet değerlerinin GI'ya nazar daha yüksek olması, daha yüksek süneklik ve tokluk gibi avantajları vardır.

Belirtilen özelliklerden de anlaşılacağı üzere CGI daha yüksek sıcaklıklarda ve sıcaklık değişimlerine maruz kalan parçaların üretimi için uygundur. Bunlar arasında silindir krank kutuları, egzoz manifoldları ve turbokompresörler, debriyaj plakaları, fren diskleri, hidrolik parçalar ve cam kalıpları önemli yer tutmaktadır. Büyük döküm parça olarak, CGI curuf potaları üretiminde kullanılmaktadır.



Bu özelliklerine karşılık Almanya' da ve dünyada imal edilen CGI miktarı, GI ve DI' ya göre çok az miktardadır.

Bunun nedenleri, bu malzemeye gereksinim duyan parçaların sınırlı olması ve üretim prosesinin vermiküler yapı elde edilebilmesi için sıkı kontrolünün gerekliliğidir.

2. Vermiküler Grafit Dökme Demirle üretim metodu

Vermiküler grafitli dökme demir üretiminde temel önkoşul, baz metalin analizinden başlamak üzere, döküme kadarki bütün süreçlerde parametrelerin sıkı bir şekilde kontrol edilmesidir. Günümüzde CGI üretmek için kullanılan en yaygın metod sıvı metale küreleşmeye neden olmayacak miktarda Magnazyum ilave edilmesidir. Bu amaç için kullanılan farklı yöntemler ve değişik Magnezyum içeren malzemeler bulunmaktadır. Genellikle, Magnezyum ilavesi ile birlikte vermiküler yapı elde edilmesini garanti altına almak için bazı katkı malzemesi ilaveleri de yapılabilir. Örneğin, egzoz manifoldları veya turbokompresörler gibi çok ince et kalınlığına sahip döküm parçalar için Titanyum (Ti) ilavesi gerekir. Katkı malzemesi kullanılıp kullanılmayacağı parçaların geometrilerine bağlıdır.

Aşağıda, CGI üretimi ile ilgili en yeni üretim yöntemleri belirtilmiştir:

- FeSiMg veya Tel ile kontrollü miktarda Mg ilavesi ile birlikte sıvı metale Ti veya FeTi ilavesi
- Ön şartlandırma işleminden sonra, Ti ilave edilerek veya Ti ilave edilmeden, Tel ve FeSiMg ile kontrollü miktarda Mg ilavesi.
- Ön bir Magnezyum tretmanından sonra, sıvı metal, termal analiz ile kontrol edilerek aşılama ve ilave Mg tretmanına ihtiyaç olup olmadığının tespit ederek gerekli görülürse ikinci kademedede gerekli ilavelerin yapılması.
- Bir önceki şarjın termal analiz sonuçları dikkate alınarak gerekli miktarda Tel ile Mg tretmanı ve aşılı ilavesi yapılması
- Tel veya FeSiMg ile Mg ilavesi yapılması ve artı olarak CerMM ilavesi

3. CGI'nin Mekanik Özellikleri

VDG Bilgi Formu W 50 [17], CGI'da elde edilecek mekanik özelliklerle ilgili temel bilgiler içerir. DI 'da olduğu gibi mekanik özellikler;

- ayrı dökülen test parçasından
- döküm parçaya bağlı olarak dökülmüş test parçasından
- döküm parçadan çıkarılmış test numunesinden

Tablo 1, VDG Bilgi Formu W 50 belirtilen mekanik özellikleri göstermektedir.



Malzeme tanımı Kisaltma	Çekme Mukavemeti ¹⁾ R_m N/mm ² min.	0.2% - uzama limiti $R_{p0.2}$ N/mm ² min.	Kopma gerilimi A 0% min.	Brinell sertlik Değeri Rehber değerler
EN-GJV-300	300 - 375	220 - 295	1,5	140 - 210
EN-GJV-350	350 - 425	260 - 335	1,5	160 - 220
EN-GJV-400	400 - 475	300 - 375	1,0	180 - 240
EN-GJV-450	450 - 525	340 - 415	1,0	200 - 250
EN-GJV-500	500 - 575	380 - 455	0,5	220 - 260

¹⁾ Çekme mukavemetinin nominal n ile $n + 75$ N/mm² arasında olacağı varsayılmıştır

Tablo 1: Ayrı dökülmüş test parçasından elde edilmiş mekanik özellikler

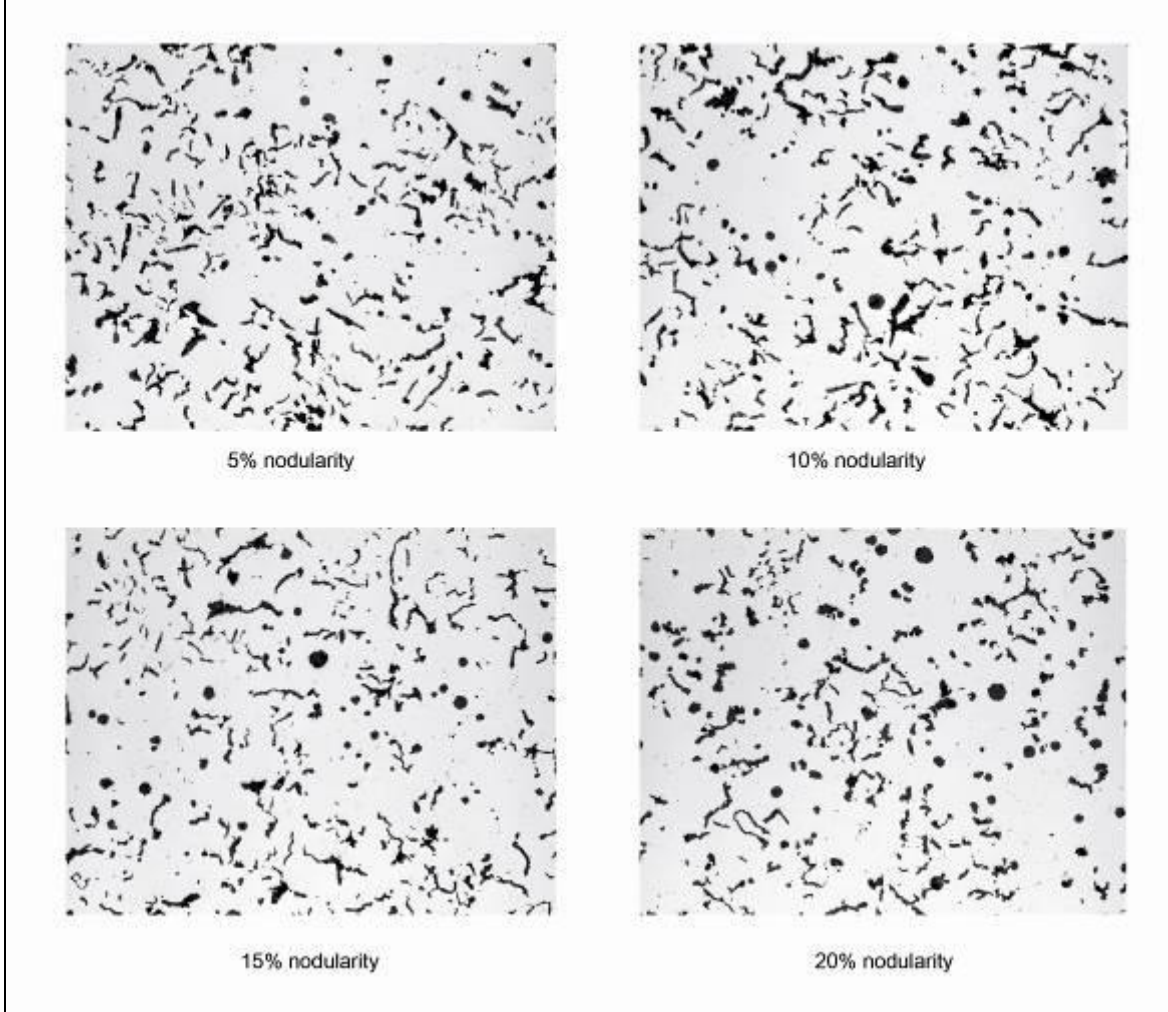
Dökülen parçanın hangi spesifikasyona göre kontrol edileceğinin önceden belirtilmesi gerekir.

Bazı imalatçılar, mekanik özellikler için ISO 16112 [18] standardını temel almaktadır. Tablo 2, ISO 16112 [18] standartında belirtilen değerleri göstermektedir.

Malzeme tanımı Kisaltma	Çekme mukavemeti R_m N/mm ² min.	0.2% uzama limiti $R_{p0.2}$ N/mm ² min.	Kırılma gerilimi A % min.	Brinell Sertlik Değeri HBW 30 Rehber değerler
ISO 16112/JW/300/S	300	210	2,0	140 - 210
ISO 16112/JW/350/S	350	245	1,5	160 - 220
ISO 16112/JW/400/S	400	280	1,0	180 - 240
ISO 16112/JW/450/S	450	315	1,0	200 - 250
ISO 16112/JW/500/S	500	350	0,5	220 - 260

ISO 16112 standartındaki sertlik değerleri VDG Bilgi Formu W 50 ile benzerlik gösterse de, diğer özelliklerde dikkate alınması gereken ufak tefek farklılıklar vardır.

Grafit yapısı ile ilgili olarak mutlaka müşteri koşullarının yerine getirilmesi gerekir. Mikro yapıda kesinlikle lamel grafit oluşumuna müsaade edilmez. ISO 16112 standardına göre, %80 vermiküler grafit (grafit formu III) istenir ve %20 nodüler grafit müsaade edilir (grafit formları V ve VI). Tedarik şartnamelerinde 90/10 veya 60/40 gibi başka oranlar da yer alabilmektedir. Müşteri genellikle hangi oranda vermiküler grafit oluşumunu istediğini belirtir. Bütün CGI tipleri için en kritik olan husus, lamel grafit oluşumuna izin verilmemesidir. Şekil 2'de ISO 16112 [18] standardına göre, farklı yüzdelerde vermiküler grafit ve nodüler grafit oluşumları gösterilmektedir.



Resim 2: ISO 16211'e göre farklı nodüler grafit yüzdelere sahip CGI yapısı

CGI üretimine yeni başlayanlar için belirtilmesi gereken bir husus, grafit yapılarını sadece dağlanmamış numuneler üzerinde değerlendirmektir.

Standarlarda; CGI 300 için ferritik, CGI 350 için ferritik - perlitik matris, CGI 400, CGI 450 ve CGI 500 lerde büyük ölçüde perlitik matris istenir.

4. Tel yöntemi ile CGI parçalarının üretilmesi ile ilgili hususlar

4.1. Kükürt ve Titanyum miktarları

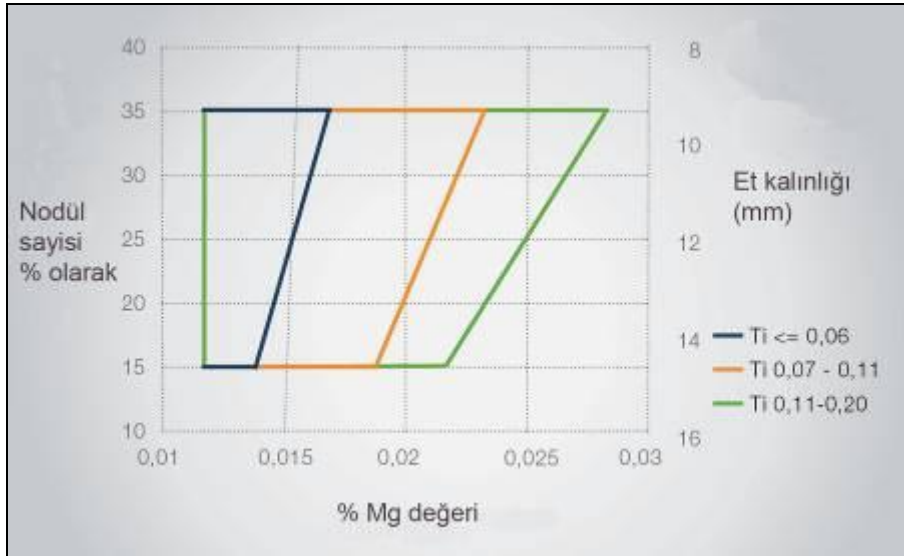
İlk analizdeki Kükürt (S) oranı doğal olarak kritik bir rol oynamaktadır. Tecrübelerimize dayalı olarak, baz metaldeki Kükürt oranının %0.010 ile %0.012 arasında olması gerekir. Bu değerler, CGI üretimi için iyi bir önkoşul oluşturur. Daha önce belirtildiği gibi, bütün üretim parametrelerinin sıkı kontrolü CGI üretimde çok önemli bir rol oynar. Eğer kükürt değeri <%0.010 ise, FeS eklenebilir. >%0.012'nin üstünde değerleri için, düzeltme ancak şarj



malzemesi takviyesiyle mümkündür. Eğer bu şartlara uygunluk sağlanmazsa, arzu edilmeyen lamel grafit veya nodüler grafik yüzdelerinde artma olur.

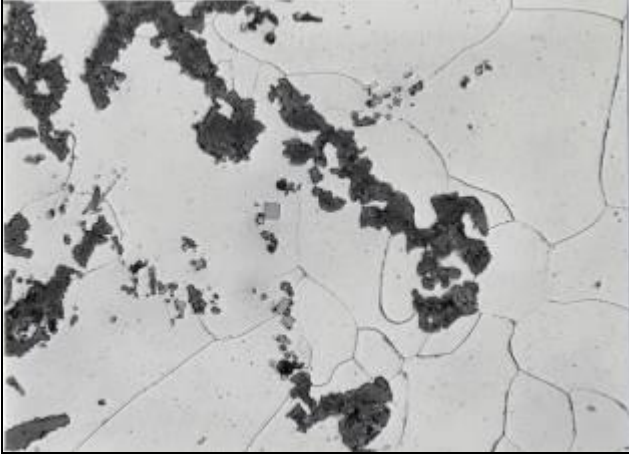
Burada belirtilmesi gereken bir başka element de Titanyum'dur. Ti'nin küresel grafit oluşumuna mani olduğu bilinmektedir ancak CGI üretiminde her zaman Ti kullanılmaz. Bazı durumlarda, Ti'nin küresel grafit oluşumuna mani olma etkisinden CGI üretimi yararlanır.

Genellikle, Ti, manifoldlar gibi ince cidarlı parçalarda, hızlı soğumaya bağlı olarak çok az Mg oranlarında bile, istenmeyen oranlarda küresel grafit oluşumuna mani olmak için kullanılır. Bazı üreticiler vermiküler grafit oluşumuna katkıda bulunmak amacıyla başka parçalar için belli oranda Ti kullanmayı da tercih edebilir. Eğer Ti kullanılırsa, miktarı % 0.06 ile % 0.20 arasında olmalıdır. Literatürden [19] derlenen şemada, Ti'nin vermiküler grafit oluşumu üzerindeki etkisi açık bir şekilde görülmektedir. "Çalışma Aralığı", Ti ile önemli ölçüde artmaktadır.



Resim 3: Ti'nin CGI "çalışma aralığı" üzerindeki etkisi

Ti kullanırken, Titanyum Karbür fazının oluşacağıının bilinmesi gerekir. Karbür oluşumu ürün kalitesinde sorun yaratabilir (şekil 4).



Resim 4: CGI'da oluşan titanyum karbürler

CGI üreten dökümhaneler genellikle DI da ürettiklerinden, döndü malzemelerin (yolluklar, besleyici gibi) dikkatlice ayrılması gerekir. DI üretimi sırasında şarj malzemelerinden sıvı metale Ti bulaşması çok ciddi sonuçlar yaratabilir.

Eğer Ti kullanılması açık bir şekilde belirtilmediyse, üreticiler, olası bir Ti bulaşmasının önüne geçmek için daima Ti ilavesiz CGI üretimini tercih edeceklerdir.

Günümüzde, silindir krank kutuları ve çok sayıda baskı plakaları Ti kullanılmadan çok başarılı bir şekilde üretilmektedir.

Eğer Ti kullanılacaksa, FeTi 'nin ergitme ocağına ilave edilmesi gerekir.

4.2. Ön şartlandırma

Baz metaldeki Kükürt miktarı ölçülebildiği için bilebilmektedir. Ancak, sfero üretiminde ve bilhassa CGI üretimi için çok kritik olan Oksijen ölçülemediği için net olarak bilinemez. Oksijenin, Kükürtün iki katı Magnezyumun ile birleştiği düşünülürse, sıvı metal içindeki oksijen miktarının düşük olması gerekir. Mg tretmanından önce sıvı metal içindeki bağlı ve serbest oksijen miktarının düşürülmesi gerekir. Eğer bu sağlanamaz ise, sıvı metal içindeki oksijenin magnezyum ile kimyasal olarak birleşerek MgO oluşturması nedeniyle, hep aynı miktarda magnezyum ilavesi yapılmış olsa bile, sıvı metal içindeki oksijen seviyesindeki değişikliklere bağlı olarak, mikro yapıdaki lamel grafit oluşum miktarı değişiklik gösterecektir.

ASK Chemicals Metallurgy GmbH (ASKCM), uzun yıllardır ön şartlandırıcı olarak VL(Ce)2 [20] üretmektedir.

VL(Ce)2 ve CerMM ile ön şartlandırma, sıvı metaldeki serbest ve bağlı oksijeni azaltır. İlave, Mg tretmanından önce, sıvı metal Mg tretman potasına alınırken yapılır. Oksijen miktarında sağlanan azalmanın yanısıra, oluşan seryum-oxi-sülfidler sıvı metal içindeki çekirdek sayısını artırır. Zirkon ve Mangan ise çekirdek oluşumunu daha da güçlendirilirler. CGI üretimi için sıvı metal içinde tretman öncesi, 30 ppm oksijen ve 1 – 2 ppm arasında oksit bulunması önşarttır [12].

Yapılan ölçümlerde, Mg tretmanından önce ön şartlandırma yapıldığında toplam oksijenin bir ölçümde 22 ppm'e, başka bir ölçümde ölçüm ise 24 ppm düştüğü tesbit edilmiştir.



4.3. Tel yöntemi ile CGI Üretimi

Ergitme ocağından sıvı metal potaya alınırken ön şartlandırıcı ilavesi yapılır. Pota daha sonra Tel ile Mg tretmanının yapılacağı istasyona taşınır. Eğer potanın üzerinde dikkati çekecek kadar cüruf varsa bu cürufun tretman öncesi temizlenmesi gerekir.

ASKCM, Tel Mg tretmanı için özel teller geliştirmiştir, tretman için bu tellerin kullanılması önerilir.

%0.010 ile %0.012 arasında başlangıç Kükürtü için, ton başına 8 – 10 m tel ilave edilir. Bu, ton başına 3-4 kg tel anlamına gelmektedir. Toplam tel ağırlığının yaklaşık %60'lık bir bölümünün dolgu malzemesi olduğu dikkate alındığında, sıvı metal içine ilave edilmiş, tretman malzemesinin ton başına 1.8 ile 2.4 kg arasında olduğu hesaplanabilir. Tretman süreleri 20 ile 30 saniye arasındadır.

Mg tretmanından sonra tekrar cüruf alınmalıdır. Aşılama, eğer gerekecekse, metalin döküm için başka bir döküm ünitesine transferi veya tretman potası ile döküm yapılacak ise, ya aynı potada tel aşılama yada herhangi bir geç aşılama uygulaması yapılabilir.

Düşük Alüminyum içeren SRF 75 [21], CGI'nin aşılama için son derece uygundur.

Debriyaj baskı plakası gibi parçalar için döküm sıcaklığı 1.380 ile 1.420°C arasında olmalıdır. Daha ince et kalınlığı olan CGI SiMo egzoz manifoldları için daha yüksek döküm sıcaklıklarının seçilmesi gerekir. 1 tonluk bir metalin döküm süresinin 10 dakikayı aşmaması gerekir; çünkü CGI'da da aşının etkinliği kaybetmesi söz konusudur ve bu durum elde edilecek grafit tipi üzerinde olumsuz bir etki yaratabilir.

Eğer gün içinde aynı ocak ile CGI'nin yanısıra DI ve GI üretimi yapılacaksa, önce GI, sonra DI ve en son CGI üretim yapılmalıdır. Aynı ergitme ocağı kullanıldığında GI'dan sonra direk olarak CGI'nin üretimine geçilmemelidir.

Sadece CGI üretimin yapıldığı dökümhaneler tabii ki en idealidir, bu durumda geçişlerde karışma söz konusu olmaz.





Resim 5: CGI üretimi için tel tretman istasyonu

5. Tel tretmanı ile CGI Üretimine İlişkin Örnekler

Örnek 1: Müşteri talebi üzerine Ti ilavesi yapılmış CGI 350 üretimi.

Baz metalde % 0.11 Ti

Metal miktarı: 1.000kg

VL(Ce) + CerMM ile ön şartlandırma

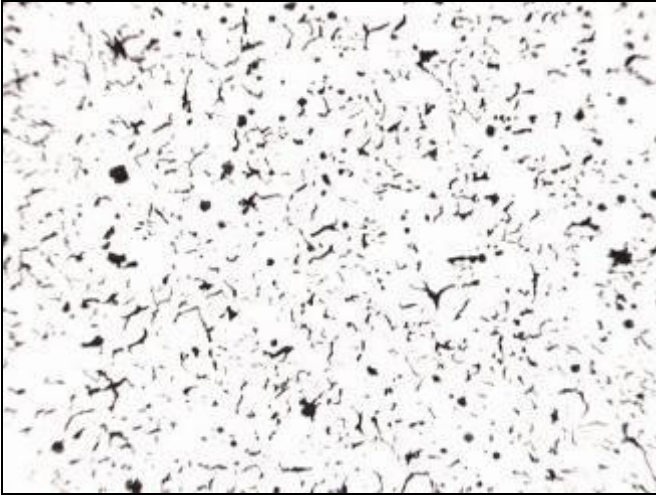
Tel ile Mg tretmanı [22]

Döküm sırasında SRF 75 ile aşılama

Tretman sonrası: % 0.015 S ve % 0.012 Mg

Ayrı dökülmüş Y2 bloktan ölçülmüş mekanik değerler: R_m 406 MPa, $R_{p0.2}$ 333 MPa, A 2%, HB 199

Grafit yapısı: %80 grafit form III ve %20 grafit form VI



Resim 6: Örnek 1'de elde edilmiş CGI grafit yapısı, Büyütme 100:1, dağlanmamış

Örnek 2: Müşteri talebi doğrultusunda $R_m > 385$ MPa ve % 0.10 Ti ilave edilmiş CGI üretimi

Baz metalde % 0.10 Ti

Metal miktarı: 1.500kg

VL(Ce) + CerMM ile ön şartlandırma

Tel ile Mg tretmanı [22]

Döküm sırasında SRF 75 ile aşılama

Tretman sonrası: % 0.011 S ve % 0.014 Mg

Parçaya birleşik dökülen numuneden ölçülen mekanik değerler: R_m 397 MPa, $R_{p0.2}$ 318 MPa, A %1.7, HB 210

Grafit yapısı: 80% grafit formu III ve %20% grafit formu VI



Resim 7: Örnek 2'de elde edilen CGI grafit yapısı, büyütme oranı 100:1, dağlanmamış

Örnek 3: CGI SiMo, üretimi

R_m min. 400 MPa, A min. %3 ve maks. %0.20 Ti

Baz metalde % 0.14 Ti

Metal miktarı: 1.200kg

VL(Ce) + CerMM ile ön şartlandırma

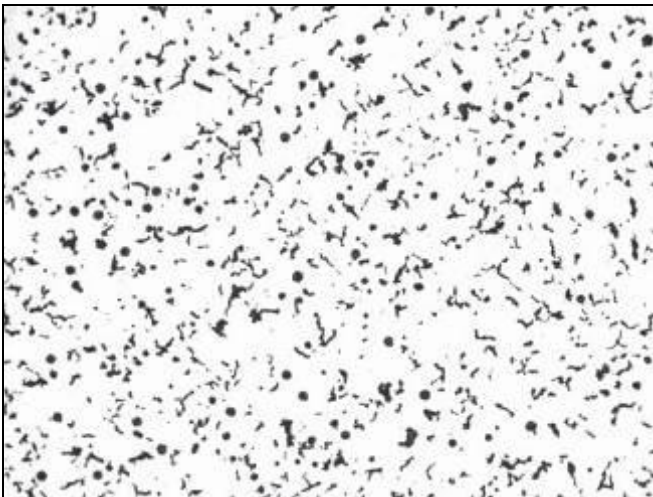
Tel ile Mg tretamanı [22]

Döküm sırasında SRF 75 ile aşılama

Tretman sonrası: % 0.010 S ve % 0.018 Mg

Ayrı dökülmüş Y2 ok numunesinden ölçülen mekanik değerler: R_m 545 MPa, $R_{p0.2}$ 492 MPa, A 3.5%, HB 228

Grafit yapısı: %70 ile %80 grafit form III ve %20 ile %30 arasında grafit form VI



Resim 8: Örnek 3'te elde edilen CGI SiMo grafit yapısı, büyütme oranı 50:1, dağlanmamış



6. CGI Üretiminde Test Yöntemleri

Bütün otomatik testlere rağmen, dökümhane personeli, değerlendirme yaparken CGI ile GI arasında aşağıdaki genel kriterleri dikkate almalıdır.

Genel özellikler:

CGI: - Grafit uzunluğu yaklaşık 50 μm

- Uzunluk-genişlik oranı < 10
- Grafit uçları yuvarlaktır

GI: - Lamellerin grafit uzunluğu 500 μm 'ye kadardır

- Uzunluk-genişlik oranı 50 ile 100 arasındadır
- Grafik uçları sivridir

CGI yapısı, aşağıda belirtilen yöntemler kullanılarak test edilebilir:

- Spektrometre numunelerinden (ayrıca Mg/S oranı) kimyasal analiz ölçümü
- EMF kullanılarak oksijen aktivitesinin ölçülmesi
- Termal analiz ile değerlendirme
- Metalografik incelemeler (örn. her tretman sonrası alınan numunelerin hızlı kontrolü)
- Rezonans frekans testleri
- Ultrason incelemeleri

7. Özet ve Sonuçlar

Günümüzde, Tel ile Mg tretmanı oldukça oturmuş ve kabul görmüş bir teknolojidir. DI üretiminde olduğu gibi, bazı teller CGI parçalarının üretilmesi için de son derece uygundur. Ön şartlandırma ile sıvı metalin içindeki serbest ve bağlı oksijenin azaltılması baz metalde tretman öncesi istenilen metalürjik özelliklerin elde edilmesi için en uygun yöntemdir. VL(Ce)₂ ile ön şartlandırma ve Inform® Tel Mg tretmanının birlikte kullanılması, basit ama aynı zamanda çok güvenilir bir CGI üretim yöntemidir. Bu yöntem ile CGI volanlar, debriyaj ve fren diskleri ve egzoz manifoldları basit ve güvenilir bir şekilde üretilmektedir. Üretim sırasında şartname harfi ile uyulması, daha sonraki test masrafının azaltılmasını sağlar.



Referanslar:

- [1] H. Mayer, Dickwandige Gussstücke aus Gusseisen mit Kugelgraphit, Giesserei 60 [*Thick-Walled Cast Pieces Made Of Cast Iron with Nodular Graphite, Casting 60*] (1973), 7, pp. 175 - 181
- [2] Herfurth, K.: Freiburger Forschungsh. [*Freiburg Research Journals*] 1966, Dept. B, No. 105, pp. 267 - 310
- [3] Stefanescu, D.M. and Loper, C.R. Gießerei-Praxis [*Casting Practice*] (1981), 5, pp. 73 - 96
- [4] Nechtelberger, E.; Pühr, H.; v. Nesselrode, J.B. and Nakayasu, A.: Stand der Entwicklung von Gusseisen mit Vermiculargraphit – Herstellung, Eigenschaften und Anwendung, Teil 1, Gießerei-Praxis [*Development Status of Cast Iron with Vermicular Graphite – Production, Properties and Application, Part 1, Casting Practice*] (1982), 22, pp. 359 - 372 and Teil 2, Gießerei-Praxis [*Part 2, Casting Practice*] (1982), 23/24, pp. 375 - 396
- [5] Nechtelberger, E. and Lux, B.: Gefügeaufbau und Eigenschaften von Gusseisen mit Vermiculargraphit, Gießerei-Praxis [*Structural Composition and Properties of Cast Iron with Vermicular Graphite, Casting Practice*] (1984), 11, pp. 177 - 187
- [6] Ebner, J.; Hummer, R. and Schlüsselberger, R.: Gießerei 84 [*Casting 84*] (1997), 12, pp. 40 - 48
- [7] Lampic-Opländer, M. and Henkel, H.: Gießerei-Praxis [*Casting Practice*] (1999), 6, pp. 296 - 301
- [8] Lampic-Opländer, M.: CGI, Teil 1, Gießerei-Praxis [*CGI, Part 1, Casting Practice*] (2001), 1, pp. 17 - 22
- [9] Lampic-Opländer, M.: CGI, Teil 2, Gießerei-Praxis [*CGI, Part 2, Casting Practice*] (2001), 4, pp. 145 - 152
- [10] Lampic-Opländer, M.: CGI, Teil 3, Gießerei-Praxis [*CGI, Part 3, Casting Practice*] (2001), 5, pp. 192 - 198
- [11] Hummer, R. and Bührig-Polaczek, A.: Gießerei 87 [*Casting 87*] (2000), 10, pp.23 - 29
- [12] Hofmann, E. and Wolf, G.: Gießereiforschung 53 [*Casting Research 53*] (2001), 4, pp. 131 - 151
- [13] Martin, T. and Weber, R.: Gießerei 92 [*Casting 92*] (2005), 4, pp. 34 - 41
- [14] Technical forum, internal SKW further training, 2004
- [15] Technical forum, internal SKW further training, 2009
- [16] Hasse, St.: Gießerei-Praxis 5/2010 [*Casting Practice 5/2010*], pp. 128 - 134
- [17] VDG Information Sheet W 50
- [18] ISO 16112



[19] Reese, C. R. and Evans, W.J.: AFS Transactions 1998, pp. 673 - 685

[20] ASKCM Product Datasheet VL(Ce)2

[21] ASKCM Product Datasheet SRF 75

[22] ASKCM-Inform® M treatment wires

Resim Yazıları:

Resim 1: "Vermiküler" grafit

Resim 2: ISO 16112'ye göre değişik nodüler grafit yüzdelere sahip CGI yapısı

Resim 3: Ti'nin "Çalışma Aralığı" üzerindeki etkisi

Resim 4: CGI'daki titanyum karbürler

Resim 5: CGI üretimi için tel tretman kabini

Resim 6: örnek 1'den CGI yapısı 1, oran 100:1, dağlanmamış

Resim 7: örnek 2'den CGI yapısı, oran 100:1, dağlanmamış

Resim 8: örnek 3'den CGI yapısı, oran 50:1, dağlanmamış

Dr. M. Jonuleit, Uygulama Teknolojisi Şefi, ASK Chemicals Metallurgy ve
Yüksek Mühendis W. Maschke, Uygulama Teknolojisi, ASK Chemicals Metallurgy,
Unterneukirchen, Almanya