



13-15 September / Eylül 2012, Tüyap, İstanbul

6th International Ankiros Foundry Congress
6. Uluslararası Ankiros Döküm Kongresi



Bu bildiri 6. Uluslararası Ankiros Döküm kongresinde sunulmuştur

This paper was presented on 6th Ankiros Foundry Congress

<http://kongre.tudoksad.org.tr/>

Eylül 2012
September 2012
Tüyap, İstanbul



ISIL İŞLEM UYGULAMASI YAPILMADAN UYGUN MEKANİK ÖZELLİKLERDE EN-GJS 400-18LT (GGG 40.3 – DIN1693) MALZEMENİN DÖKÜM PROSES ŞARTLARININ SAĞLANMASI

Hakan ÖKER

Ay Döküm Makine Sanayi, Ankara, Türkiye

1.GİRİŞ



Küresel grafitli dökme demirler başta makine ve otomotiv endüstrileri olmak üzere genel endüstriyel alanda geniş bir kullanıma sahip demir esaslı malzemelerdir.

Küresel grafitli dökme demirler, kendi içlerinde sahip oldukları yapıları ve bu yapıların birer fonksiyonları olan mekanik özelliklerine bağlı olarak sınıflandırılırlar. Bu sınıflandırmayı Çizelge 1 de inceleyebiliriz.



Çizelge 1 : Küresel grafitli dökme demirlerin yapılarına göre sınıflandırılması



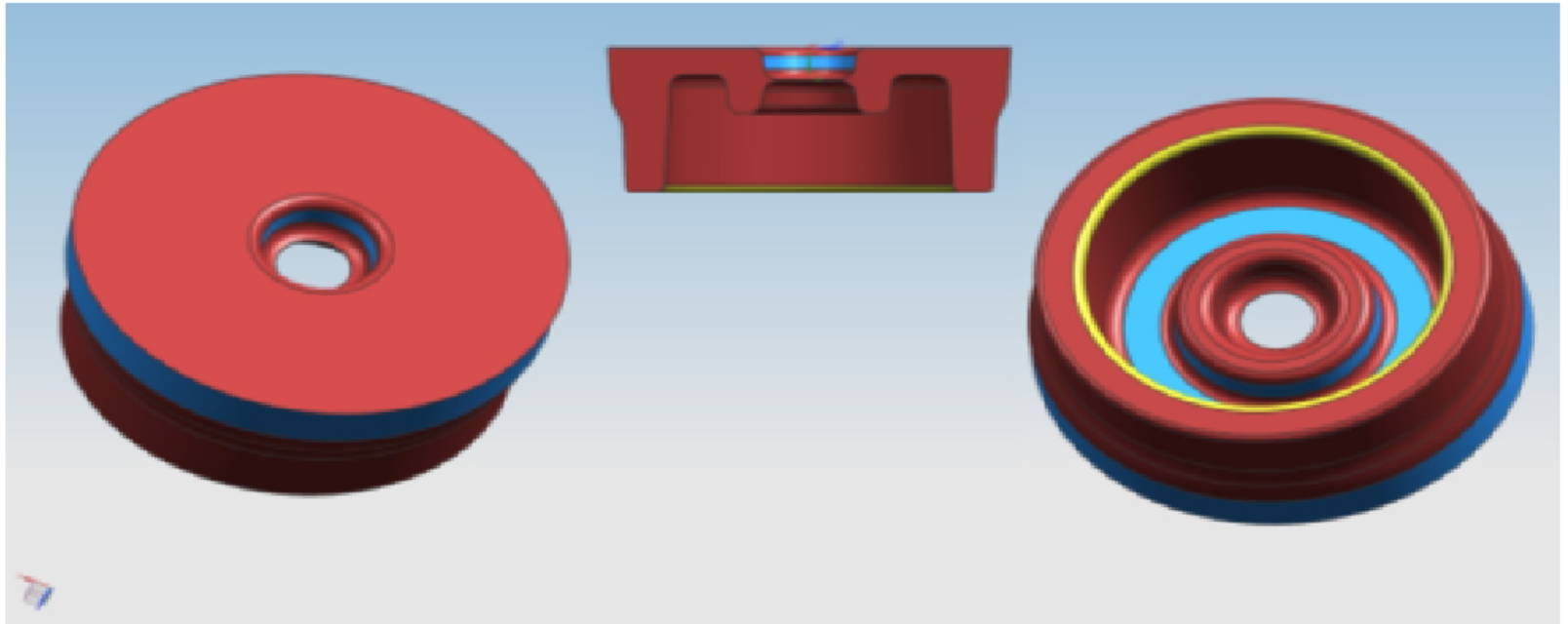
KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİRLERİN SINIFLANDIRILMASI

MALZEME	ÇEKME DAYANIMI N/mm2 (min)	AKMA SINIRI N/mm2 (min)	% UZAMA (min)	SERTLİK (HB)	DARBE DEĞERİ		YAPI
					Joule (min)		
					3 Deneç Ortalama	1 Deneç	
GGG 40	400	250	15	135-180	-	-	Daha çok Ferritik
GGG 50	500	320	7	170-230	-	-	Ferritik Perlitik
GGG 60	600	380	3	190-270	-	-	Perlitik Ferritik
GGG 70	700	440	2	225-305	-	-	Daha çok Perlitik
GGG 80	800	500	2	245-335	-	-	Perlitik
GGG 40.3	400	250	18	130-175	12	9	Ferritik



Çizelge 2 : Çalışmanın içeriğinde konu olan parça hakkındaki genel bilgiler

Parça Ağırlığı	3,45 kg
Model Plakasındaki Figür Adedi	6 adet
Bir Kalıptaki Salkım Ağırlığı	30,1 kg
Bir Kalıptaki Toplam Parça Ağırlığı	20,7 kg
Parçanın En Kalın Kesit Kalınlığı	22 mm
Parçanın En İnce Kesit Kalınlığı	11 mm



Şekil 1 : Parçanın genel görünümü



2.UYGULAMA YÖNTEMLERİ



2.1.Ergitme Prosesi

Tüm döküm proseslerinde olduğu gibi ergitme prosesi EN-GJS 400-18 LT (GGG 40.3) malzemesinin mekanik özelliklerinin sağlanabilmesi adına önemlidir.

- Ergitme prosesindeki hammaddeler ve kompozisyonları
- Karbon verici kullanımı
- Ergitme işleminde ocaktaki sıvı metalin max. sıcaklık değeri
- Ocak metali kimyasal kompozisyonu
- Ergitme işlemi sonrası ocak metalinin ocakta bekletilmesi
- Döküm işlemi sırasında metalin boşaltılmasında geçen süreler
- Ocaktaki sıvı metalin termal analiz değerleri



2.1.1.Ergitme Prosesindeki Hammaddeler ve Kompozisyonları



Bu proste kullandığımız katı şarj malzemeleri dkp çelik, sfero piki ve kendi malzemesine ait yolluklardır. Bunların ergitme şarjında kullanım oranları işletmemiz şartları altında

- DKP ÇELİK : % 30
- SFERO PİKİ : % 30
- YOLLUK : % 40 şeklinde belirlenmiştir.

Kullanılacak yolluklar daha önceki dökümlerinden kalan EN-GJS 400-18 LT (GGG 40.3) malzemenin yollukları olmalıdır. Mikro yapıda perlit faz oluşum riskini ortadan kaldırmak adına asla başka sfero malzemelerin yollukları kullanılmamalıdır.



Kullanılacak sfero pikinin de düşük değerlerde mangan (Mn), kükürt (S), titanyum (Ti) ve fosfor (P) alaşımlı olması gerekmektedir.

Çizelge 3 : DKP çelik malzemedeki önemli elementlerin kimyasal analiz sınırları (%)

<u>Mn</u>	<u>P</u>	<u>S</u>	<u>Cr</u>	<u>Ti</u>	<u>Pb</u>
<u>Max. 0,50</u>	<u>Max. 0,05</u>	<u>Max. 0,03</u>	<u>Max. 0,05</u>	<u>Max. 0,015</u>	<u>Max. 0,005</u>

Çizelge 4 : Sfero pikindeki önemli elementlerin kimyasal analiz sınırları (%)

<u>Mn</u>	<u>P</u>	<u>S</u>	<u>Cr</u>	<u>Ti</u>	<u>Pb</u>
<u>Max. 0,05</u>	<u>Max. 0,04</u>	<u>Max. 0,015</u>	<u>Max. 0,04</u>	<u>Max. 0,005</u>	<u>Max. 0,002</u>



2.1.2. Karbon Verici Kullanımı



Burada ana amaç karbon yüzdesini ayarlamak ve grafit oluşumu sağlamaktır.

Katı şarj oranlarını ve dökülen parçanın kimyasal analizini işletmemizdeki 3000 kg lık indüksiyon ocaklarına oranladığımızda ocak başına yaklaşık olarak 30 kg kadar bir karbon verici kullanılmaktadır. Buda ergitilen metalin yaklaşık olarak % 1 ine eşdeğer gelmektedir.

Bu karbonun ergitme işleminde tamamının sıvı metale karışımının sağlanması için ergitme prosesi başlangıcında ocak tabanına girilen katı şarjla birlikte ocağa girilmesi gerekmektedir.

Karbon verici olarak düşük kükürtlü ve yüksek kaliteli bir karbon kullanılmasına dikkat edilmelidir.



2.1.3. Ocak Metali Kimyasal Kompozisyonu



Bu çalışmada konu olan parçada istenilen mukavemet değerlerinin sağlanabilmesi için karbon (C) – silisyum (Si) – kükürt (S) – mangan (Mn) – fosfor (P) en önemli elementlerdir.

Kompozisyondaki perlit yapıcı elementlerin sıvı metalde tek tek yada toplam halde bulunma yüzdeleri mikro yapıda görülecek % ferrit oranı açısından önemlidir.

Çizelge 5 : Çalışma konusu olan parçanın ocak metali kimyasal analiz değerleri (%)

C	Si	Mn	P	S	Sn	Cr	Ni
3,75	1,40	Max	Max	0,009	Max	Max	Max
3,85	1,50	0,10	0,04	0,015	0,010	0,05	0,05
Mo	Cu	Al	Ti	V			
Max	Max	Max	Max	Max			
0,01	0,10	0,02	0,01	0,01			



Kimyasal kompozisyondaki kükürt (S), mangan (Mn), fosfor (P) ve titanyum (Ti) değerlerinin düşüklüğü kullanılan yüksek kaliteli sfero piki ile bağlantılıdır.

Bu elementlerin kompozisyondaki oranlarını kontrol altına alabilmek ve sıvı metaldeki max. seviyelerini belirleyebilmek adına yüksek kaliteli sfero piki kullanılmalıdır.



2.1.4. Ocak Metali Sıcaklık Değerleri



Sıvı metalin çekirdeklenme özelliklerini belirleyici faktörlerden birisidir.

Çalışmanın konusu olan parça için kesit kalınlıklarının müsaade ettiği en düşük sıcaklık değeri işletmemiz şartları altında 1460 – 1470 °C derece olarak belirlenmiştir.

Bu sıcaklık değerlerinin üzerine çıkıldıkça malzemenin mikro yapı ve mekanik özelliklerinde negatif tespitler görülmüştür.

Bu sıcaklık aralığının reaksiyon potasının ve döküm potasının mutlak suretle ön ısıtma işlemine tabi tutulmasından sonra uygulanması gerekmektedir.



2.1.5.Ergitme İşlemi Sonrası Ocak Metalinin Ocakta Bekletilmesi



1460 – 1470 °C derece sıcaklığa getirilen ocak metali, kimyasal analiz ve termal analiz kontrolünden geçirilmesinden sonra ocak baz metali döküm için hazırlanmış olur.

Herhangi bir sebeple üretimin akışında bir duruş oluşması söz konusu ise ocaktaki sıvı metal mevcut sıcaklığın üzerine çıkılmadan ocağa verilen enerji kesilerek metal üzerinin oksitlenmemesi için perlit ile kapatılmalıdır.

Bu istenmeyen duruşlar sonrası sıvı metale metal kalite parametrelerini yakalayabilmesi adına katı hammadde şarj ilavesi yada işletme için uygun ocak metali şartlandırıcıları ilave edilebilir. İşletmemizde bu uygulama bahsedilen her iki yöntemle de yapılmaktadır.



2.1.6.Ocak Metalinin Boşaltılmasında Geçen Süreler



Geçen süreye bağlı olarak ötektik katılaşmayı sağlayan analizden sapmayacak oranlarda karbon ilavesi yapılabilir. Bu ilave oranı işletme şartlarına bağlı olarak belirlenmelidir. İlave sonrası mevcut analiz ötektik analiz olarak kalmalıdır.

Yapıdaki grafit oluşumu dengelenir. İlave sonrası karbonun sıvı metalle karışımı sırasında ocak sıvı metali sıcaklık değerleri dikkatten kaçmamalıdır.

2.1.7.Ocak Metalinin Termal Analiz Değerleri



Ocaktaki sıvı metalin döküme başlanmadan önce ;

Kimyasal analiz kontrolünün yanı sıra termal analiz yöntemi ile hem karbon kontrolü hem de metalin çekirdeklenme özelliklerine bağlı olarak katılaşma sırasında göstermiş olduğu faz değişimleri ve buna bağlı kalite parametrelerinin ölçümü yapılmaktadır.



ACEL = 4.09
C = 3.79 Si-equ = 1.43
TL = 1164 TE = 1128

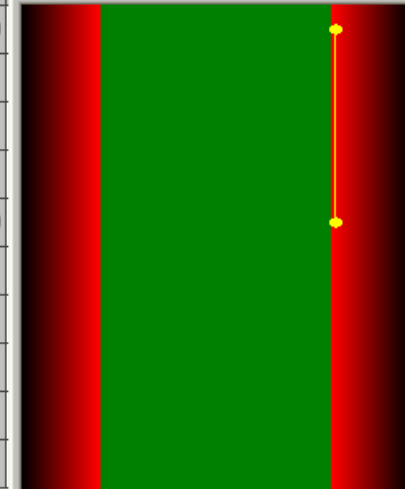
34 : 1204190007.ku1

W

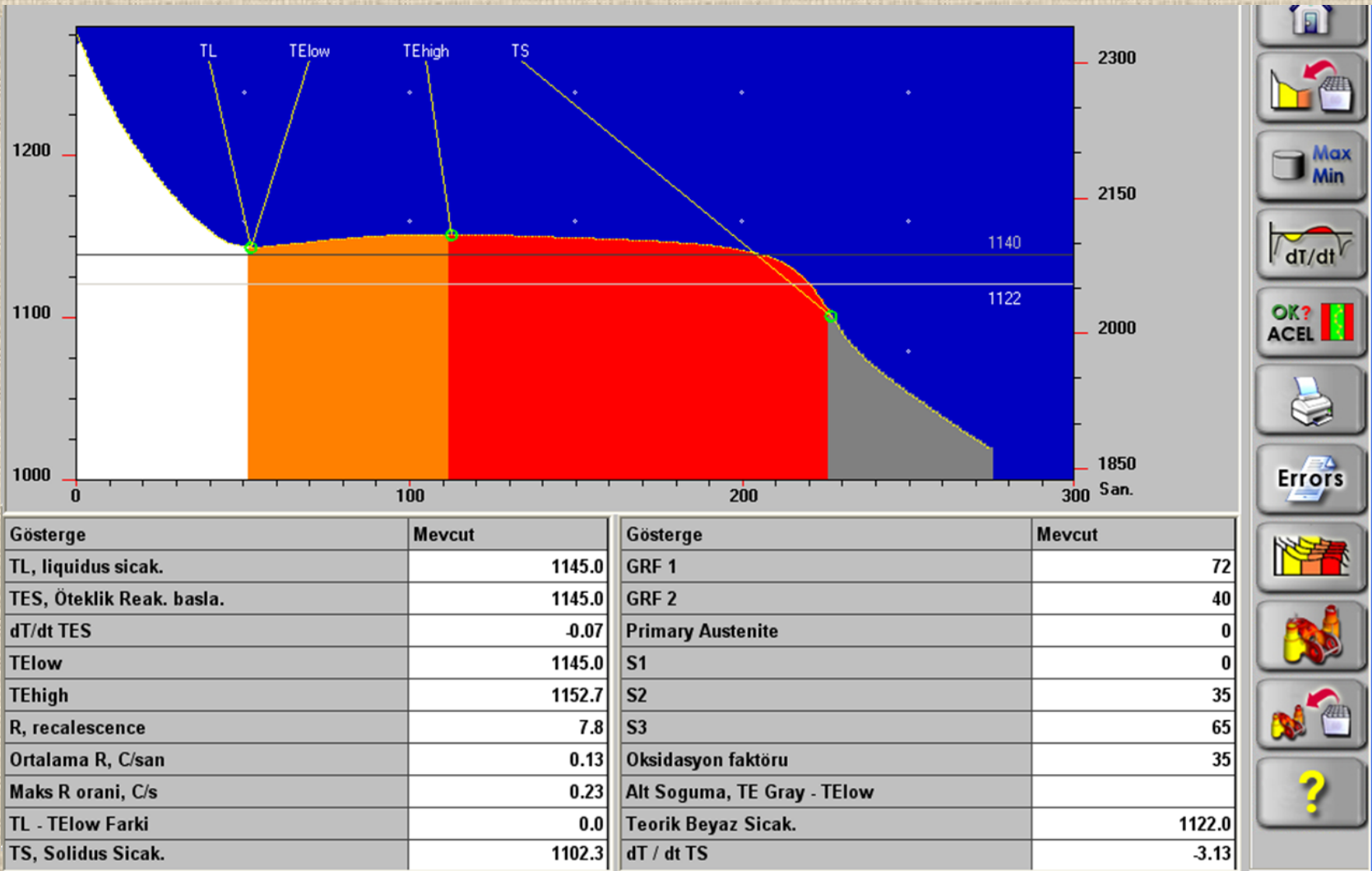


Gösterge	Min	Mevcut	Max
TL, liquidus sıcaklığı	1141.0	1164.4	1156.0
TES, ötek reaksiyon başlangıcı			
dT/dt TES			
S1			
TElow, low eutectic temp	1119.0	1128.3	1125.0
R, yükselme			
GRF 1, grafit faktörü 1			
GRF 2, grafit faktörü 2			
dT/dtTS			
TS, solidus sıcaklığı			

Kritik Değerler Aşıldı



Şekil 2 : Ocaktaki sıvı metalin termal analiz yöntemi ile ölçülmüş karbon (% C) değeri



Şekil 3 : Ocaktaki sıvı metalin termal analiz yöntemi ile ölçülmüş katılaşma sırasında gösterdiği faz değişim değerleri



Termal analiz metal kalitesi tespitinin kimyasal kompozisyon ve karbon değerinin olması gereken aralıklara ulaşıldıktan sonra yapılması şarttır.

Bu şartlar yerine getirildikten sonra yapılan ölçümde tabloda görülen ;

- Katılma başlangıç sıcaklığı (TL)
- En düşük ötektik reaksiyon sıcaklığı (TElow)
- Katılma başlangıç sıcaklığı olan TL 'den en yüksek ötektik reaksiyon sıcaklığı olan Thigh'a yükselme değerini ifade eden (R)
- Grafit değerleri hakkında bilgi veren (GRF1 ve GRF2)
- Ötektik katılma fazını işaret eden (S1) ana kontrol edilmesi gereken değerlerdir.

2.2.Sfero Reaksiyonu Prosesi



Sfero reaksiyonu prosesi bu işlemin kalitesini ve olabilirliğini tayin eden etkenlerin başında gelmektedir.

Reaksiyon işlemindeki alt prosesleri şu şekilde tanımlayabiliriz;

- Reaksiyon potası
- Kullanılacak ise örtü malzemesinin cinsi ve kalitesi
- Magnezyum
- Döküm potasına transferi
- Döküm potasına transfer sırasında aşılama yöntemi.

2.2.1.Reaksiyon Potası



İşletmemizde bu parçanın üretimi sırasında iki tür reaksiyon potasında da başarı sağlamış durumdayız. Bunlar devirmeli ve tandish tip diye adlandırabileceğimiz reaksiyon potalarıdır.

Bu reaksiyon potalarında astarlama işlemi de işlemin kalitesinde önemli bir yer tutmaktadır.

Yeni yapılmış pota astarlarında nem içermediğinden emin olunmalıdır. Her reaksiyon işlemi öncesi çalışılan ocak sıcaklığına etki etmeyecek şekilde pota astarının ön ısıtması şarttır.



2.2.2.Örtü Malzemesinin Cinsi ve Kalitesi



Örtü malzemesinin kullanılış amacı magnezyumun pota içerisine alınan sıvı metalle temasını mümkün olduğunca geciktirmeye çalışmaktır.

Dökümhanelerde bu uygulama için genellikle silis kumu, aş1, çelik pul kullanılmaktadır. İşletmemizdeki üretimi sırasında devirmeli tip pota kullanımında örtü malzemesine ihtiyaç yoktur. Tandish tip potada ise çelik pul kullanılmaktadır.

2.2.3. Magnezyum Miktarı



Ergitme işleminde kullanılan yüksek kaliteli katı şarj malzemeleri nedeni ile kullanılacak magnezyumunda (FeSiMg) miktarı azalmaktadır.

Mevcut ergitme prosesi yerine getirildiğinde çalışma konusu olan parça üretiminde kullanılan magnezyum miktarı yaklaşık olarak % 1 (% 5,5 'luk FeSiMg) civarında seyretmektedir.



2.2.4. Reaksiyon İşlemi Sonrası Metalin Döküm Potasına Transferi



Reaksiyon işlemi başladıktan sonra metalin uygun zamanda döküm işleminin bitirilmesi için kaybolan zaman önemlidir.

Reaksiyon tamamlandıktan sonra direkt pota kapağı açılmalı ve uygun aşılama yöntemi ile reaksiyon potasındaki sıvı metal döküm potasına boşaltılmalıdır.

İşletme şartlarınca belirlenen döküm sürelerine uyulmalıdır. Buradaki süreç kontrolü son dökülen kalıptan alınan küreselleşme numunesi ile yapılmalıdır.



2.2.5. Döküm Potasına Transferi Sırasında Uygun Aşılama ve Yöntemi



Reaksiyon potasından döküm potasına alınma sırasında aşılama işlemi yapılmalıdır.

En uygun verme işlemi; Metalin $1/3$ ü döküm potasına verildikten sonra aşılama işlemi başlatılmalı ve metalin $2/3$ ü döküm potasına geçtiği zaman aşılama bitirilmelidir.

Çalışma içinde örneklediğimiz parça için uygun mekanik özelliklerin sağlanabilmesini arttıran en önemli aşılama tekniği kalıp içi aşılama tekniğidir. Bu parça için kullanılan aşılama tekniği % 0,2 pota aşılması ve buna ilave olarak % 0,1 kalıp içi (blok) aşılama değildir.

Grafit sayısının artmasıyla birlikte kimyasal kompozisyondaki bileşimlerin de etkisiyle ferrit faz oluşum yüzdesinde artış göstermektedir.

2.3. Döküm Prosesi



Döküm işlemindeki alt prosesleri şu şekilde tanımlayabiliriz;

- Final metal sıcaklığı
- Final metal kimyasal kompozisyonları
- Döküm süresi
- Final metal termal analiz sonuçları.

2.3.1.Final Metal Sıcaklık Değerleri

Uygun reaksiyon ve döküm potası astar sıcaklıkları sağlandıktan sonra çalışmada konu olan parçanın kesit kalınlıkları da dikkate alındığında pota final metali sıcaklık değeri 1360 – 1370 °C derece olarak belirlenmiştir.



Bu sıcaklık aralığındaki metalin 2,8 kg/sn deki dolun hızı ile kalıbın doldurulması sırasında ve sonrasında döküm parçanın sağlam alınmasında herhangi bir olumsuz tespitle karşılaşılmamıştır.

2.3.2.Final Metal Kimyasal Kompozisyonu

Çizelge 6 : Çalışmada konu olan parçanın final metali kimyasal analiz değerleri (%)

C	Si	Mn	P	S	Mg	Cr	Ni
3,55	2,10	Max	Max	Max	0,037	Max	Max
3,75	2,60	0,10	0,04	0,015	0,050	0,05	0,05
Mo	Cu	Al	Ti	V	Sn		
Max	Max	Max	Max	Max	Max		
0,01	0,10	0,03	0,01	0,01	0,010		

2.3.3.Döküm Süresi



Ana kriter işletme içi şartlar gereğince uygulanan döküm süresinin baz alınmasıdır.

Ortalama değer verecek olursak reaksiyon işleminin bitmesiyle birlikte başlatılan bu süre, son kalıbın dökülmesiyle bitmekte olup işletme içi şartlar dahilinde (kullanılan treatment potası tipine bağlı olarak) ortalama 4 – 6 dakika arasında gerçekleşmektedir.



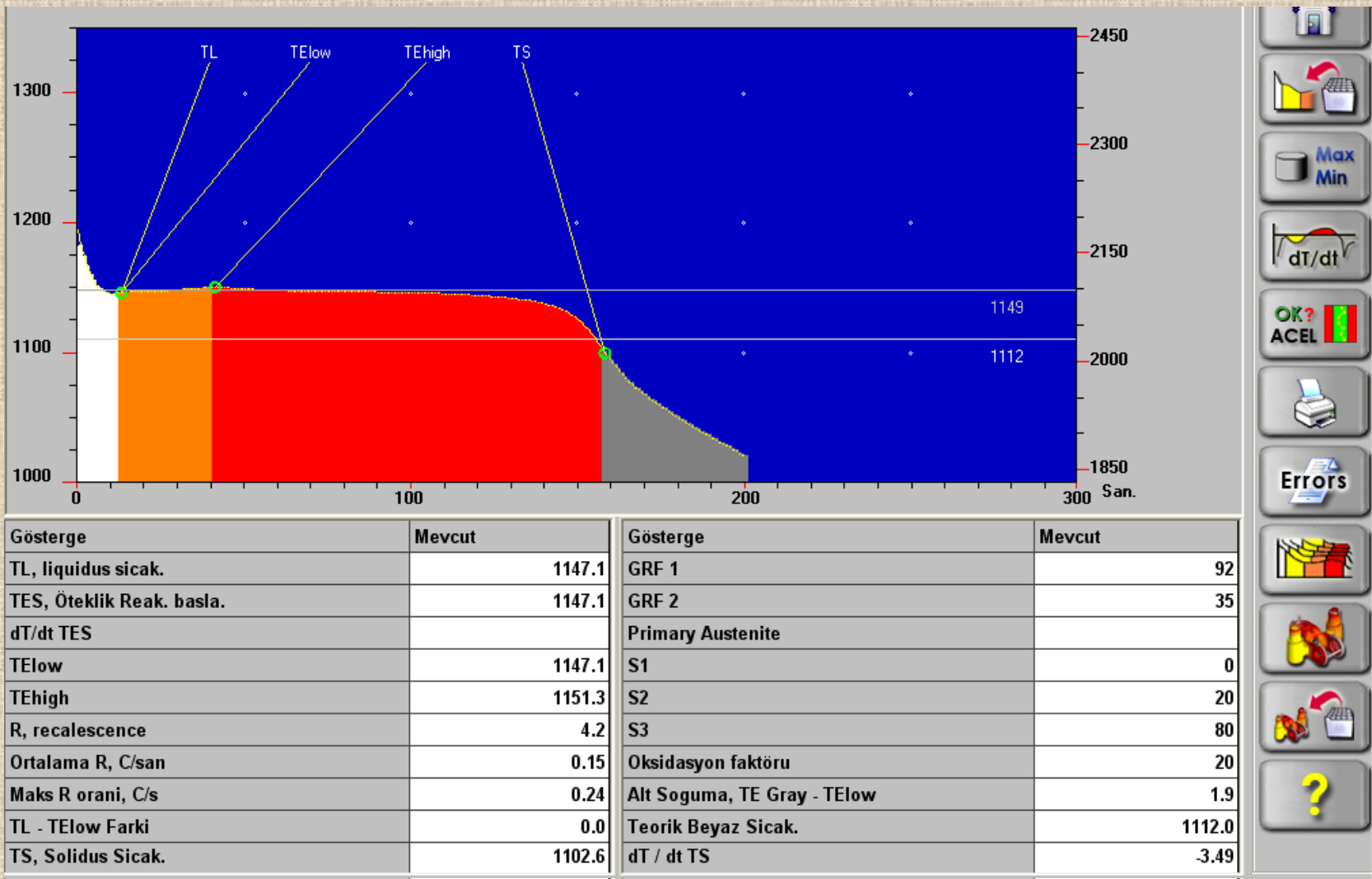
2.3.4.Final Metal Termal Analiz Sonuçları



Termal analiz sonuçları incelendiğinde sıvı metalin reaksiyon işlemi, pota aşılama, kalıp içi aşılama işlemlerinden geçtikten sonra uğradığı pozitif yönlü değişim net olarak görülmektedir. Uygun mekanik test sonuçlarının alınabilmesi için TL – Telow – R – GRF1 – GRF2 değerlerinin olması gereken değerlerini aşağıdaki tabloda inceleyebiliriz.

Çizelge 7 : Final metalde uygun mekanik özelliklerin sağlanabilmesi için katılaşma sonrası istenilen 5 ana termal analiz değerleri
(Metalin ötektik analizde olması Ces = 4,25 – 4,35)

TL (°C)	1145 - 1150
<u>TElow</u> (°C)	1145 - 1150
GRF1	<u>Min.80</u>
GRF2	<u>Max.45</u>
R	<u>Max.5</u>



Şekil 4 : Pota final metalinin termal analiz yöntemi ile ölçülmüş katılaşma sırasında gösterdiği faz değişim değerleri



2.4.Kalıplama ve Döküm Sonrası Kalıp Bozma Süreleri



Çalışmaya konu olan parça otomatik kalıplama makinesinde kalıplanmakta ve mikro çekinti oluşumuna neden olan kalıp duvarı esneme hareketini önleyecek seviyede uygun kalıp sertliği elde edilmektedir.

Parçanın model plakası yerleşimi 6 figürlü olarak tasarlanmış ve kalıplamada simülasyon sonuçları doğrultusunda çekintiyi önlemek için uygun modüllerde toplamda 3 adet egzotermik besleyici gömleği kullanılmaktadır.

Kalıplama ve döküm işlemlerini takiben parçanın kalıp içerisindeki soğuma süresinin belirlenmesi parça üzerinden yapılan mukavemet test sonuçlarını da oldukça yakından ilgilendirmektedir.



Mevcut parça otomatik kalıplama sonrası hat ilerleyiş hızıyla bağlantılı olarak min.70 dakikalık bir süre sonra kalıp bozma operasyonu için sarsak girişine gelmektedir.

Parça min.70 dakikalık hat ilerleyişi sonucu sarsağa kalıp içinde dengeli bir şekilde soğumuş olarak gelmektedir. Bu soğumanın kalıp içinde olmasının sağlanması uygun mekanik test sonuçlarının alınması adına önemlidir.

Parçada kullanılan besleyicilerin her zaman parçadan daha geç soğuma özelliğinin bulunması hattın çıkan parçalarda bazen soğuk parça – sıcak besleyici dengesizliğini doğuracaktır.



Böyle durumlarda da parçanın besleyiciye yakın olan bölgelerinde daha sıcak, besleyiciye uzak olan bölgelerinde daha soğuk bir soğuma dengesizliği olacaktır.

Bu gibi problemleri bu parçada ortadan kaldırmak adına kalıptaki salkımın kalıp içinde dengeli bir şekilde soğumasını sağlamak gerekmektedir.

Sarsakta bozulan kalıp içinden çıkan parçanın ortam hava şartlarından etkilenmesi imkan dahilinde olup sarsaktan kırmızı tonlarında çıkan parça ortam havasından sertlik almaktadır.



3. DÖKÜM PARÇA ÜZERİNDEN YAPILAN TEST SONUÇLARI



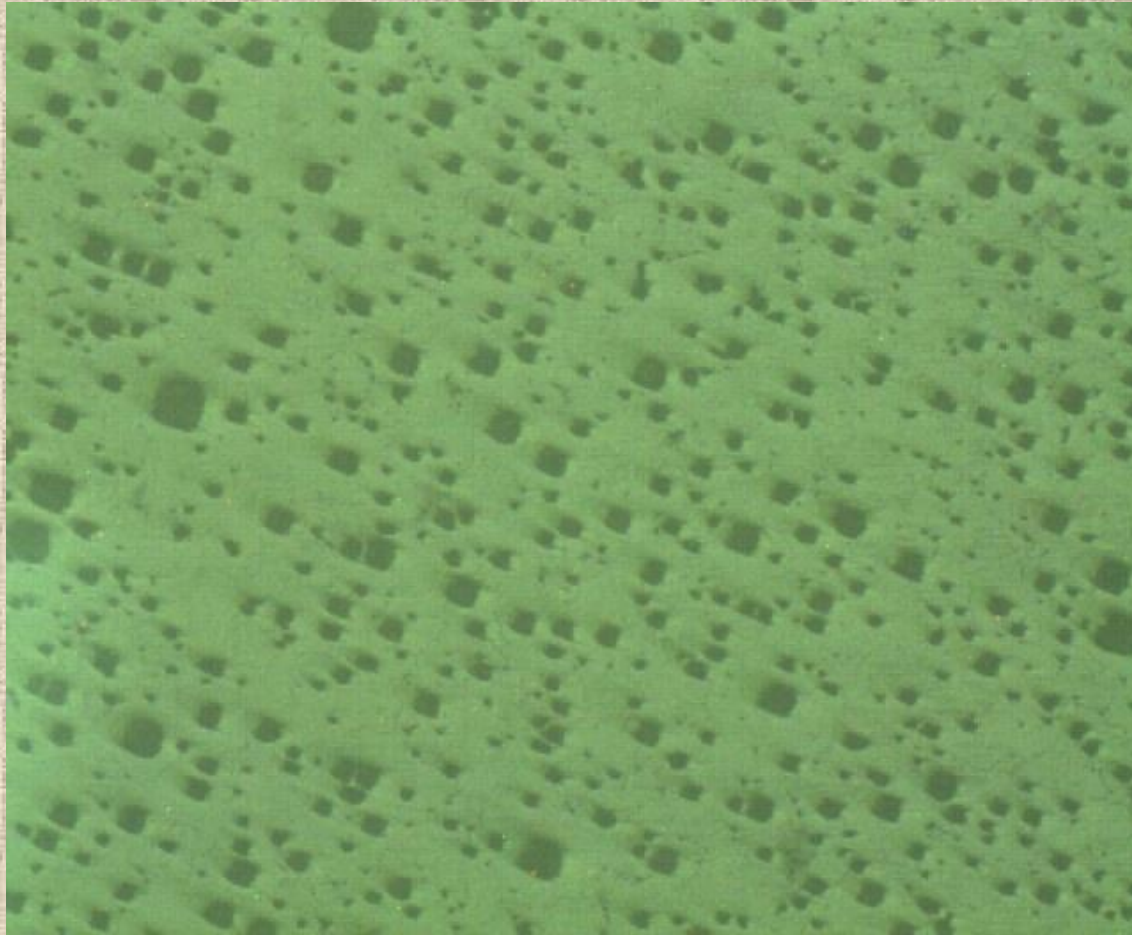
Üretim proseslerinin uygulamaları sonrasında elde edilen döküm parça üzerinden mikro yapı – sertlik – çekme mukavemeti - % uzama – çentik darbe testleri yapılmaktadır. Bu testler bizzat döküm parça üzerinden çıkarılan numuneler üzerinde uygulanmaktadır.

Çizelge 8 : Döküm parçada istenilen mekanik test değerleri

MALZEME	ÇEKME DAYANIMI N/mm ² (min)	AKMA SINIRI N/mm ² (min)	% UZAMA (min)	SERTLİK (HB)	DARBE DEĞERİ Joule (min)		YAPI
					3 Deney Ortalama	1 Deney	
EN-GJS 400-18 LT	400	250	18	130-175	12	9	Ferritik
GGG 40.3							



Ölçülen sertlik değeri 151 HB



Şekil 5 : Döküm parçanın dağlama sonrası mikro yapısı (% 100 Ferritik)



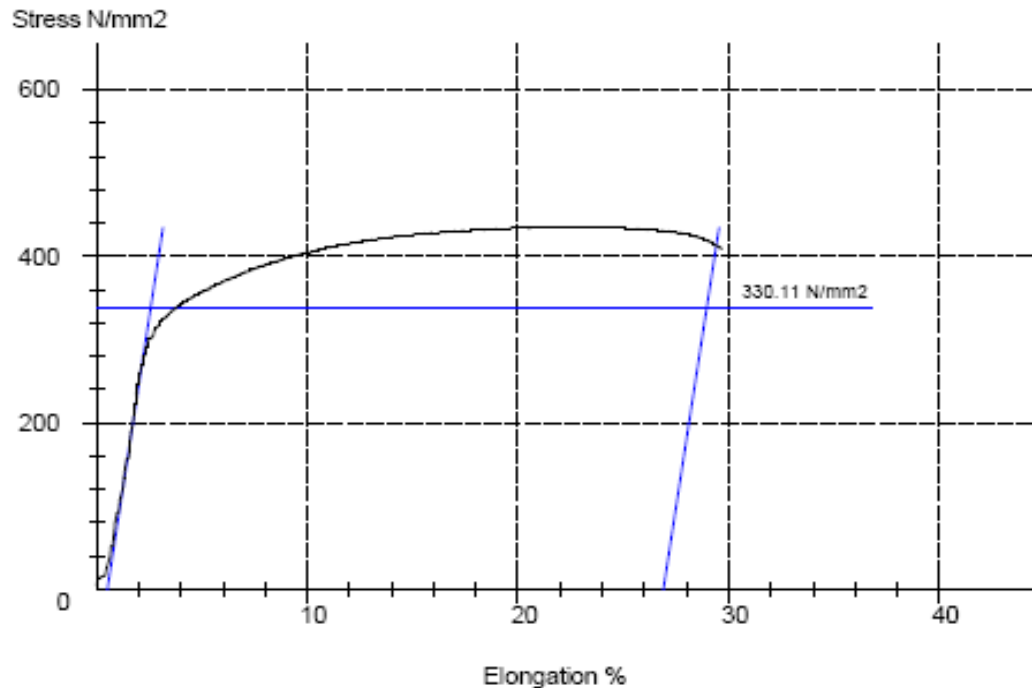
Standard : TS138/EN10002-1
Part Nr : 1423.061.002
Material : EN-GJS400-18LT

Product Code : 2068
Sample Size : 13,80X69

Test Results

Sample Nr	Cross Sectio mm ²	LD mm	L1 mm	Yield Force kN	Re%0.2 N/mm ²	Tensile Forc kN	Rm N/mm ²	Rm/Re	Elongation %	E Modulus N/mm ²
2068	149,5	69	87,1	49,34	330,11	63,38	423,99	1,28	26,2	206451,45

Graphics



Şekil 6 : Döküm parça üzerinden çıkarılan numuneye uygulanmış çekme test sonuçları



AY DÖKÜM

Makine Sanayi ve Ticaret A.Ş.



SANAYİ VE TİCARET BAKANLIĞI
KÜÇÜK VE ORTA ÖLÇEKLİ İŞLETMELERİ GELİŞTİRME VE DESTEKLEME İDARESİ
BAŞKANLIĞI

KOSGEB ANKARA OSTİM MERKEZİ MÜDÜRLÜĞÜ

Cevat Dündar Caddesi No: 156 Ostim/ANKARA
5928400 Fax:(312)3545485

T.C.
SANAYİ VE TİCARET BAKANLIĞI
KOSGEB
ANKARA OSTİM HİZMET MERKEZİ MÜDÜRLÜĞÜ
TEL: 592 84 04 04 FAX: 354 54 85
BÜYÜKMEVİ V. 8 No: 592 84 04 04

Rapor(Report) No: 2

ÇENTİK DARBE DENEYİ RAPORU (Charpy Impact Test Report)

Rapor Tarihi (Date of Report)	20.03.2012	Istek Numarası (Order No)	652	
Deney Tarihi (Date of Test)	14.03.2012	Numune Kabul Tarihi (The date of receipt of test item)	13.03.2012	
MÜŞTERİ (Customer)	Adı/Ünvanı (Name)	AYDÖKÜM MAK. SAN. TİC. A.Ş.		
	Adres / Tel (Address/Tel)	ORGANIZE SANAYİ BÖLGESİ DÖKÜMCÜLER SITESİ 4. SOK NO:36 3122671436		
NUMUNE (Test item)	Ana Malzeme / Kaynak Malzemesi (Base Material / Welding Consumables)	ÇELİK		
	Numune Tipi / Yeri (Denomination)	1,2,3,4,5,6		
	Boyutlar (mm) (Dimensions)	10*10*55		
	Kesit Alanı (cm ²) (Area)	0.8	Deney Sıcaklığı (Test Temperature)	-20 DERECE
SONUÇLAR (Results)	Numune No (Specimen No)	DARBE TOKLUĞU (J / cm ²) (Impact toughness)	ABSORBLANAN ENERJİ (J) (Absorbed energy)	
	1 - 2 - 3	15.7 - 15.3 - 16.9	12.6 - 12.2 - 13.5	
	4 - 5 - 6	17.0 - 18.1 - 17.4	13.6 - 14.5 - 13.9	
	ORTALAMA (Average)	16.7	13.4	

Şekil 7 : Döküm parça üzerinden çıkarılan numuneye uygulanmış çentik darbe testi sonuçları

4. TEŞEKKÜR



- E.Uğur YAVUZ, Ay Döküm Makine Sanayi ve Ticaret A.Ş., Genel Müdür
- Rıdvan ERDİL, Ay Döküm Makine Sanayi ve Ticaret A.Ş., Teknik. Genel Müdür Yardımcısı

5. KAYNAKÇA

- 5.1. Stephen Istvan Karsay, Ductile Iron Production Practices, American Foundrymen's Society, USA, 1985
- 5.2. Stephen Istvan Karsay, Ductile Iron Production, The State Of The Art, USA, 1992