



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



AY DÖKÜM
Makine Sanayi ve Ticaret A.Ş.



KÜRESEL GRAFİTLİ DÖKME DEMİR PARÇALARDA ÇEKİNTİ BOŞLUĞU OLUŞUMUNUN TERMAL ANALİZ İLE AÇIKLANMASI ÖRNEK ÇALIŞMALAR

Orhan Aral

Ay Döküm A.Ş - Ankara



TERMAL ANALİZ



Ergimiş sıvı haldeki demirin 0.70 cm modüle sahip kum kap içerisinde soğumaya bırakılıp zaman içerisinde sıcaklığındaki değişimin takip edilmesi ,kritik noktalar ve bölgelerin sayısal olarak tanımlanıp değerlendirilmesi esasına dayanmaktadır.



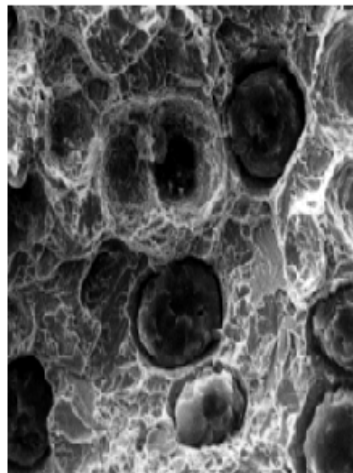


Sıvı demirin iki aşamalı yapılan kontrollerinden spektrometre ile elementlerin miktarları ,Termal Analiz de ise element ve bileşiklerin katılaşmaya yani soğuma eğrisine olan etkileri tespit edilir. Bu etkileri bilmek metalin proses kontrolü için çok önemlidir.

Spectrometer

Elements

C
Si
P
S
Mn
Cu
Mg



Mg+Mg(S)+Mg(O)+Mg*(SiO4)

Thermal Analysis

C	Oxides	Sulphides	Silicates
Si	SiO2	MgS	
P	FeO	FeS	
S	MnO		
Mn	MgO		
Cu			
Mg	Other compounds		

Dissolved oxygen

Combined oxygen

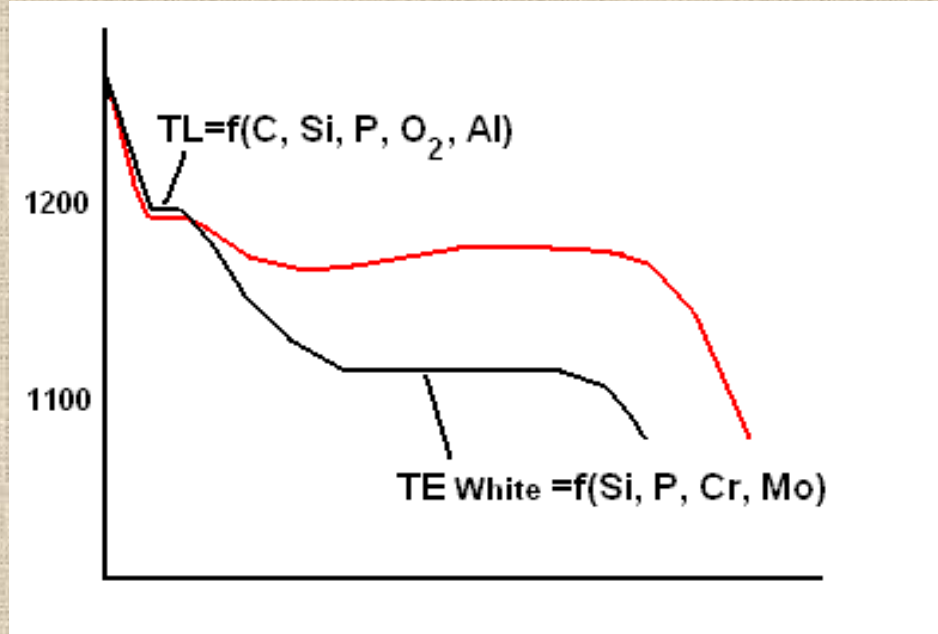
Other gases



Element ve bileşiklerin miktarlarındaki değişim sıvı demirin katılaşması sırasında dönüşüm noktaları ve grafit ile ilgili özellikler üzerinde etkili olmaktadır. Termal Analiz aracılığı ile bu iki değişken kontrol altında tutularak çekinti boşluğu oluşumları engellenmekte ve stabil mekanik özellikler sağlanmaktadır.



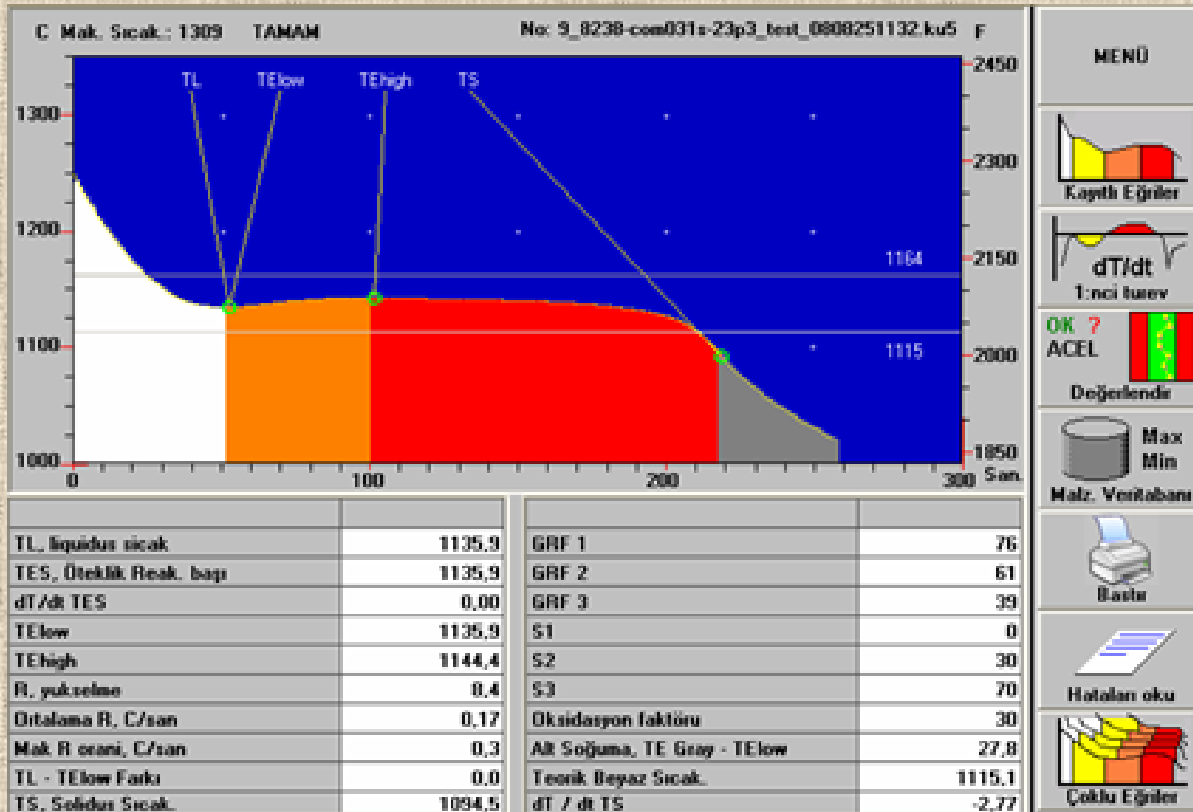
$CE=C+Si/4+P/3$ eşitliğinde $CE = 4,25 - 4,35$ olduğunda otektik , 4,25 altında otektik altı , 4,35 üstünde otektik üstü olmaktadır. Ergitme prosesindeki değişkenlere bağlı olarak sıvı demir içinde çözünmüş oksijen miktarı değişmekte ve buna bağlı olarak elementlerin oksijen ile yaptığı bileşik miktarları da değişmektedir. Bu nedenle spektrometrede ölçülen element miktarlarına göre hesaplanan CE ile termal analiz sonucu her zaman aynı olmamaktadır. Güvenilir ve doğru olan termal analiz sonucudur , çünkü oksijen miktarının dönüşüm noktaları ve grafit özellikleri üzerinde etkisi çok büyüktür.



Şekilde görüldüğü gibi demirin ötektik,ötektik altı yada otektik üstü olup olmadığını belirleyici olan TL dönüşüm noktasının sıcaklığı C,Si,P miktarları dışında O₂ ve Al miktarına göre Değişim göstermektedir. Bu iki element CE formülünde bulunmadığı için ancak termal analiz ile etkileri takip edilebilmektedir.



TERMAL ANALİZ EĞRİSİ



Ötektik bir soğuma eğrisi görülmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken; katılaşma nın beyaz bölgedeki gibi sürekli azalan bir şekilde devam etmiyor olmasıdır.



Bunun nedeni ; beyaz bölgede tamamen sıvı olan demir içinde Telow (en düşük ötektik reaksiyon sıcaklığı) sıcaklığına düşüş ile birlikte grafit oluşumunun başlamasıdır. Kalıp duvarlarında ilk olarak ötektik östenit tanecikleri katılaşmakta ve bunlar bünyesindeki karbonu önündeki sıvı içine bırakmaktadır.Bu sayede ilk küresel grafitler oluşmaya başlamakta ve bu durum sıcaklık artışı ile kendini göstermektedir.



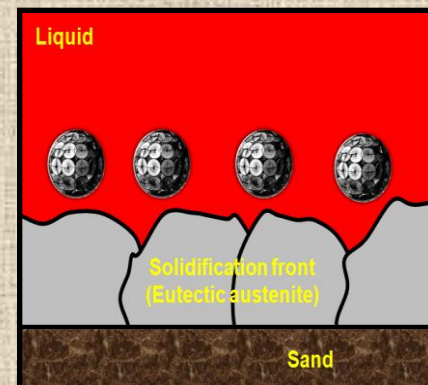
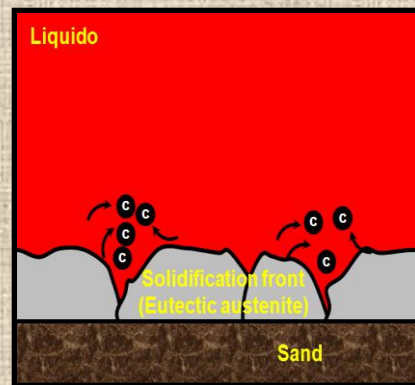
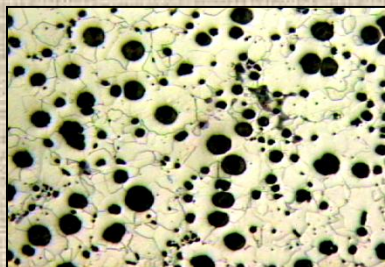
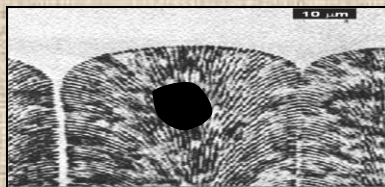
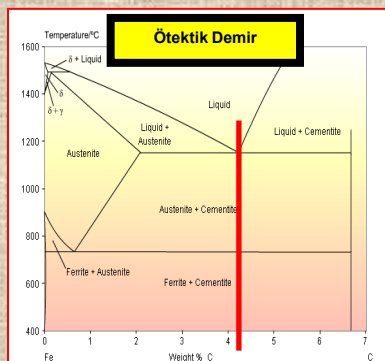
Birincil grafitler denilen bu grafitlerin oluşumu Tehigh (en yüksek ötektik reaksiyon sıcaklığı) noktasına kadar devam etmektedir. Telow ile Tehigh arasında kalan bu birincil grafit oluşum bölgesi S2 olarak tanımlanmıştır. Tehigh noktasından sonra artık sıcaklık Ts (%100 katı hale geçiş sıcaklığı) noktasına kadar yavaş bir şekilde azalmaktadır. Tehigh ile Ts arasında kalan bölgeye S3 bölgesi adı verilmekte olup burada ikincil grafitler oluşmaktadır.



KATILAŞMA



Ötektik Demir



Ötektik Katılaşmada Likidüs (TL) sıcaklığına soğuma ile birlikte kalıp duvarlarında birleşik kolonlar şeklinde ötektik östenit katıları oluşur. Soğumanın devamı ile östenit taneleri bünyelerindeki karbonu önlerindeki sıvı içine kismaya başlar ve bu sayede birincil grafitler oluşur.



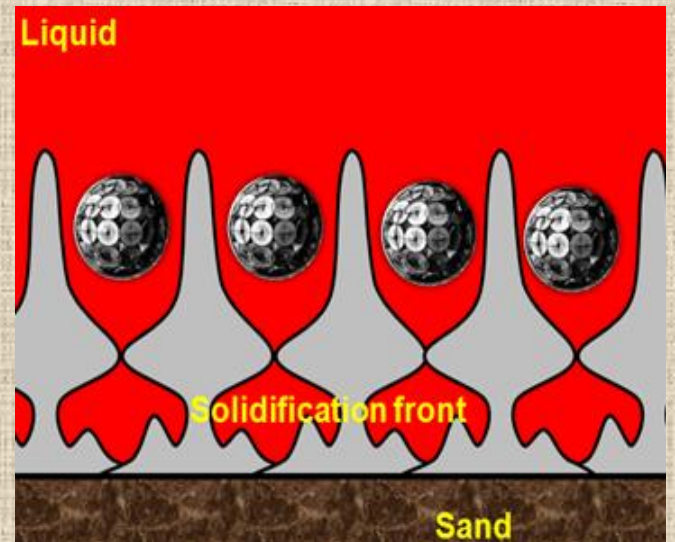
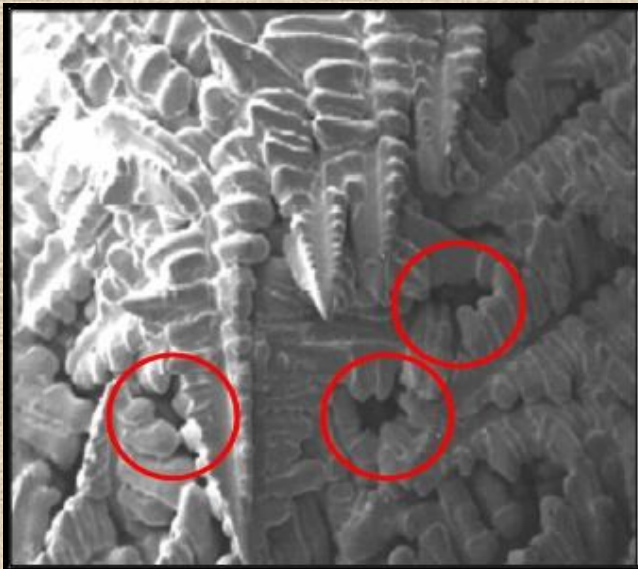
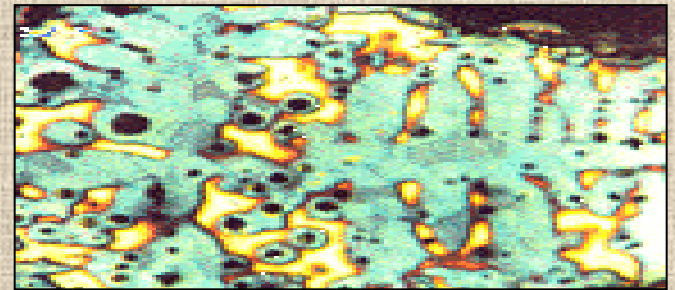
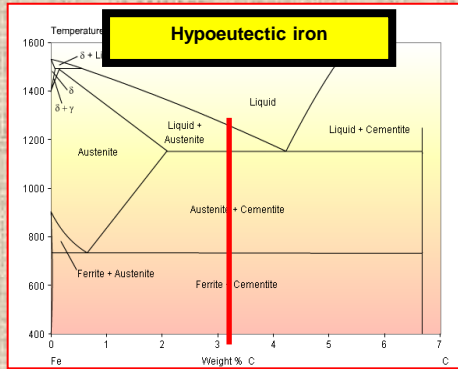
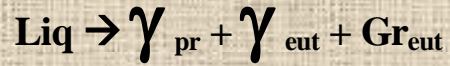
Ötektik altı analize sahip demirin katılaşmasında sıvı halden katı hale dönüşüm sırasında sıvı içerisinde primer östenit dendiritlerinin oluştuğu bir ara faz bölgesi oluşmaktadır. Bu bölge Likidüs (TL) sıcaklığı ile Telow en düşük ötektik sıcaklık noktası arasında kalan bölgedir. Bu bölgede sıvı içerisinde kalıp duvarlarından başlayarak dendiritler halinde primer östenit katıları oluşmaktadır.



Dendiritler şeklinde olmasından dolayı kollar arasında kalan sıvı bölgeler içinde karbon çözünmektedir. Bu nedenle bu bölgelerde grafit çökelemediği için buralar boşluk olarak kalmaktadır. Geri kalan karbon ise ötektik reaksiyon esnasında grafit olarak çökelmektedir. Bu nedenle ötektik altı analiz ile dökülmüş parçalarda ötektik grafit miktarı az olmaktadır.

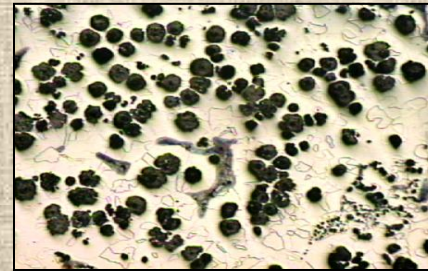
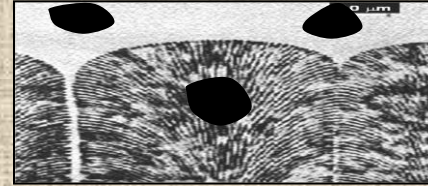
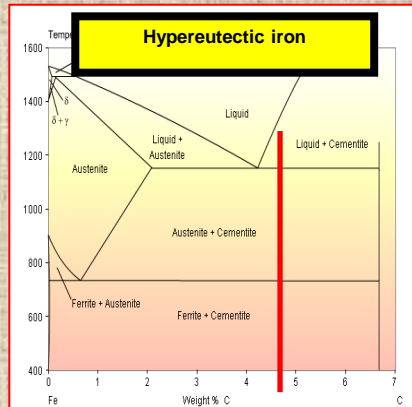
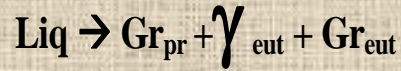


Ötektik Altı Demir





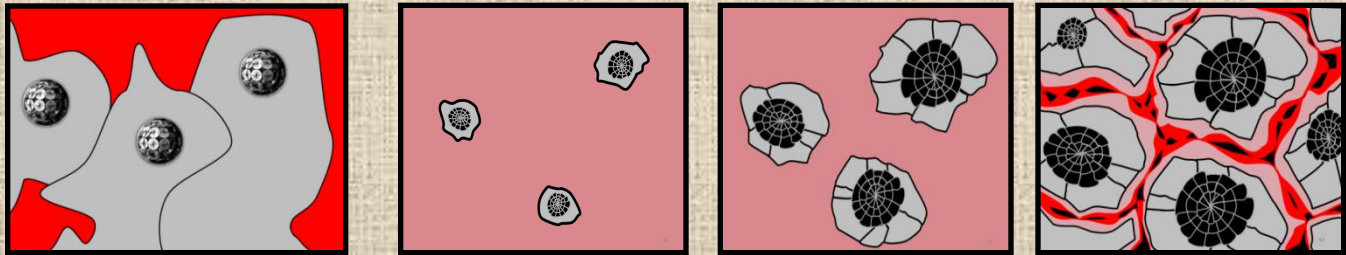
Ötektik Üstü Demir



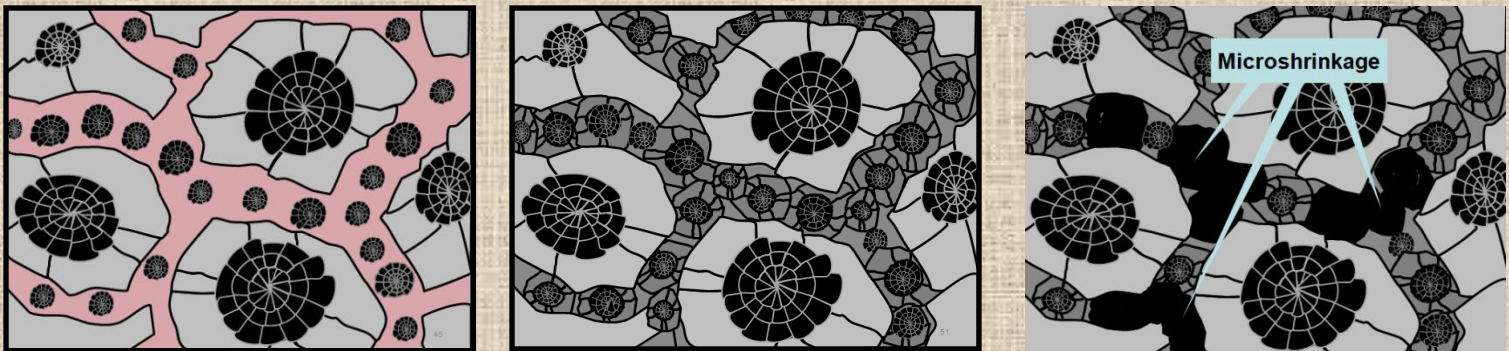
Ötektik üstü demirin katılaşmasında ara faz bölgesinde primer ostenit yerine primer grafitler oluşmaktadır. Kalıp duvarlarındaki ilk katılaşma büyük boyutlu grafitlerin oluşumu ile başlamaktadır. Bu nedenle parça işlenmiş yüzeylerinde koyu renkte kaba grafitler arası çekinti boşlukları görülür. Primer ostenit olmadığı için ve ötektik grafit miktarı fazla olduğundan ötektik altı analizdeki demire göre ,son katılaşan kısımlarda görülen çekinti boşlukları daha az görülür.



BİRİNCİ ÇEKİRDEKLEŞME VE GRAFİT BÜYÜMESİ



İKİNCİ ÇEKİRDEKLEŞME VE GRAFİT BÜYÜMESİ





Metal Prosesi açısından ,Küresel Grafitli Dökme Demir paçalarda görülen çekinti boşlukları;öncelikli olarak metalin ötektik analizde olup olmadığına, sonrasında ise grafit miktarına bağlı olmaktadır. Grafit miktarı olabildiğince yüksek istenmektedir. Birincil grafitlerin oluşumu S2 , ikincil grafitlerin oluşumu S3 ile tanımlı bölgelerde oluşmaktadır.



Birincil grafitler arasında kalan sıvı bölgelerde oluşan ikincil grafitlerin miktarının fazla olması istenmektedir, az olduğunda bu sıvı bölgeler de çekinti boşlukları oluşmaktadır.

Bu nedenle amaç S3 bölgesinin geniş olmasını sağlayarak ikincil grafit miktarını artırmaktır.S3 bölgesinin geniş olması GRF1 faktörünün yüksek olması anlamına gelmektedir. 80 -110 aralığı ideal kabul edilmektedir.



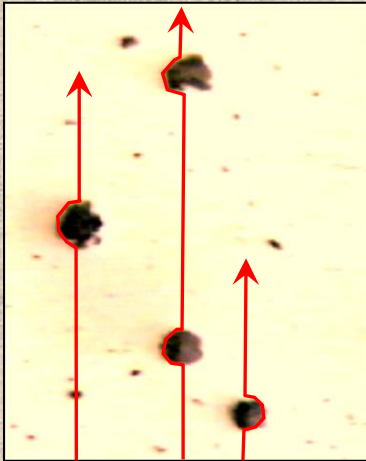
İkincil grafit miktarının fazla olmasını sağlayan bir diğer faktör GRF2 faktörüdür. Isı iletkenliğini gösterir. S3 bölgesinin sonundaki Ts solidus sıcaklığından hemen önce olan ani soğumanın hızı ile orantılıdır. Bu nedenle Ts sıcaklığının zamana göre türev değeri olan $dT/dtTs$ değeri ile birlikte kullanılır. Hız ne kadar fazla ise son anda kalan sıvı bölgelerde oluşan ikincil grafit miktarının fazlalığını göstermektedir.



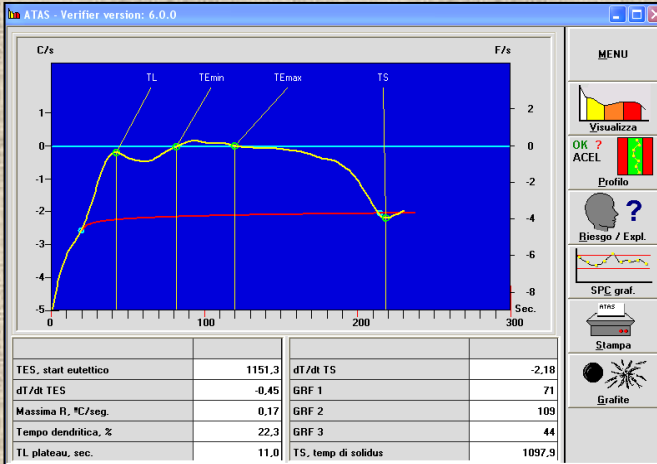
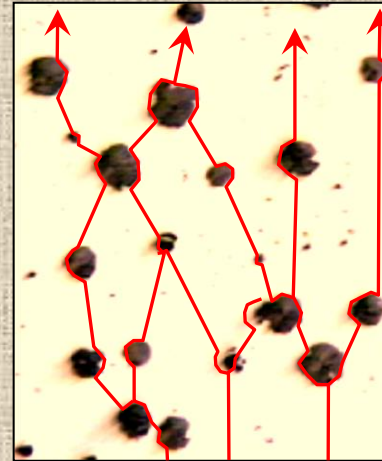
ISIL İLETKENLİK – GRF 2



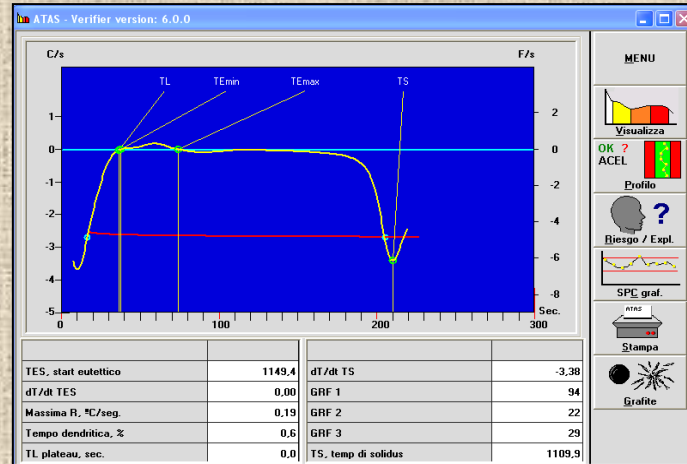
$$\lambda = 29 \text{ W/m}^\circ \text{ K}$$



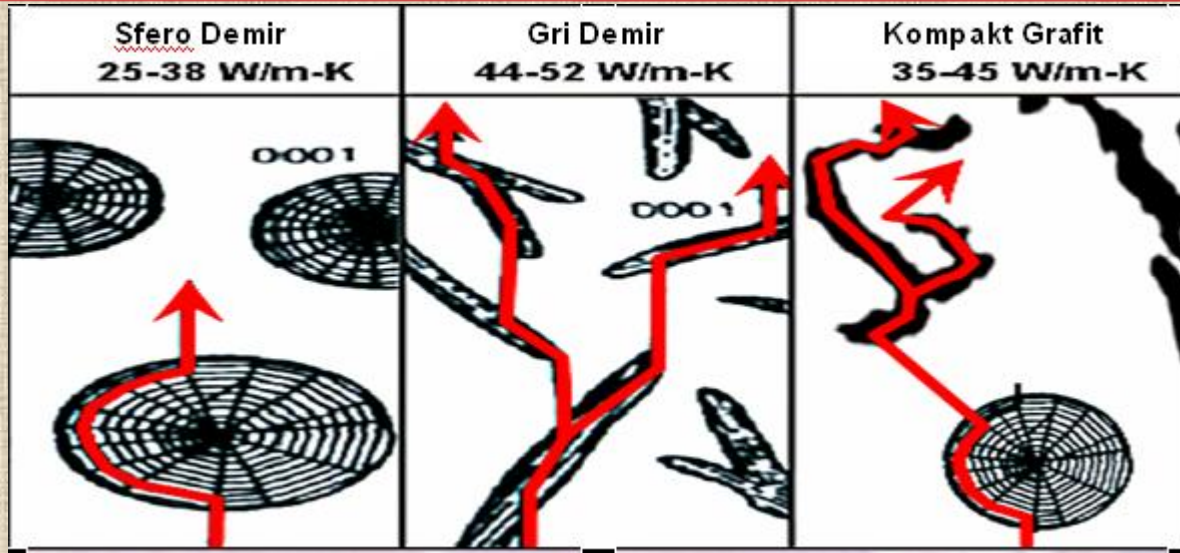
$$\lambda = 37 \text{ W/m}^\circ \text{ K}$$



GRF2: 109



GRF2: 27



GRF2; 109 olan test parçası kesilerek mikro yapı ve çekinti kontrolü yapıldığında grafit miktarının az ve çekinti boşluklarının görülmektedir. Grafit miktarı ile ısı transfer katsayısı doğru orantılı olarak değişmektedir. Grafit miktarı yanında grafit tipide ısı transfer özelliğini değiştirmektedir. Lamel grafitli gri demir ısı iletim katsayısı en yüksek olup vermiküler ve sfero sonra gelmektedir. Lamel grafitler arasında kalan mesafe en az olduğu için ısı iletim katsayısı en yüksektir.



Grafit miktarında rol oynayan diğer iki faktör ;

R ve Telow değeridir. R ; Telow ile Tehigh arasındaki fark dır,yükselme olarak isimlendirilir.İlk ötektik bölgesinde çökelen grafit ve ostenit miktarını gösterir. Bu değer 2–6 arasında istenmektedir.

Büyük olursa ısı açığa çıkar ve buda ostenit katılarınının genişerek aralarında makro boyutta boşluklar oluşmasına neden olur. Yüksek R değeri düşük grafit sayısı anlamına gelir.



Kimyasal Analiz ve/veya karbon eşdeğer ölçümü ile metal kalitesinin takip edildiği proseslerde, bunlardan bağımsız olan grafit özelliklerindeki değişim kontrol altında tutulamadığı için bazı dökümlerde çekinti problemleri ile karşılaşılmaktadır. Bu nedenle besleyiciler büyütülerek çözüm aranmaktadır. Fakat unutulmamalıdır ki ; dış besleme ötektik reaksiyon başlangıç sıcaklığına kadar mümkündür. Bu nedenle örnek parçada görüldüğü gibi besleyici büyütülse bile çekinti oluşan bölge ile besleyici arasında kalan ince kısım Telow sıcaklığı altına düşmektedir.

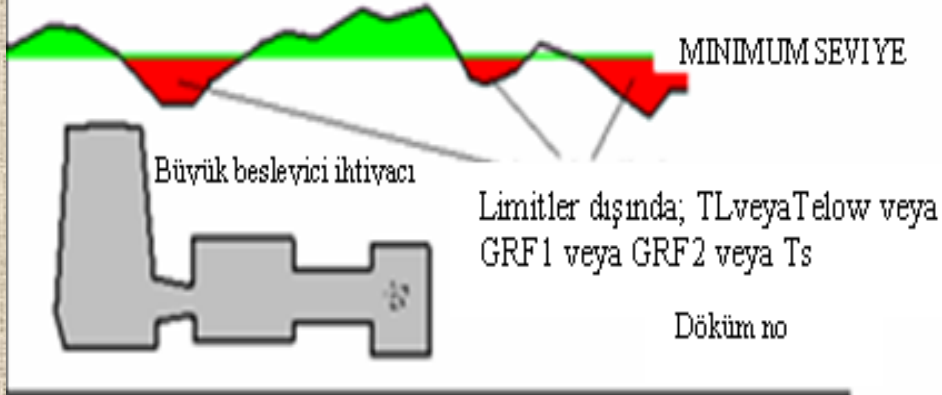


Bu nedenle çekinti oluşumu besleyicinin büyütülmesi ile önlenememektedir, bu ancak grafit miktarının artırılması ve kontrol altında tutulması ile mümkün olmaktadır.

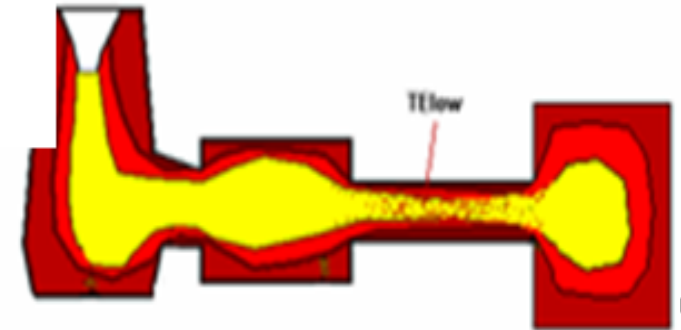
Termal Analiz ve kimyasal analiz kontrolü ile metal kalitesinin takip edildiği prosesler de grafit özellikleri kontrol altında tutularak döküm yapıldığı için daha küçük besleyiciler ile çekintisiz parça dökülebilmektedir.



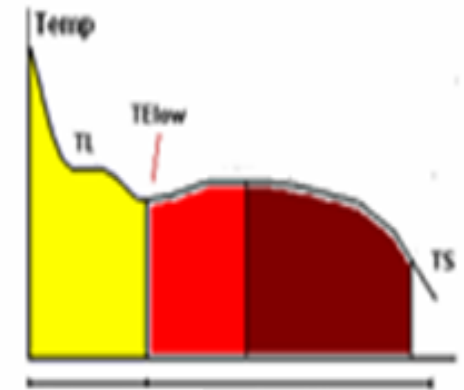
SPEKTRO VE/VEYA CE CİHAZI KULLANILARAK METAL KALİTESİ TAKİBİ



Dış besleme ötektik reaksiyon başlangıcına kadar mümkündür



Termal Analiz ve spektro ile metal kalitesi takibi

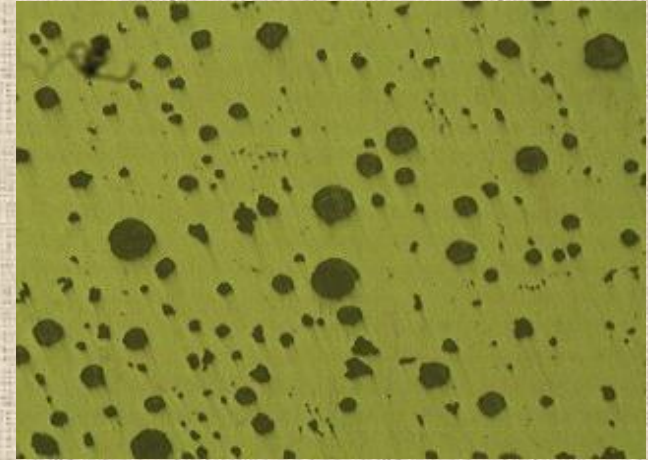
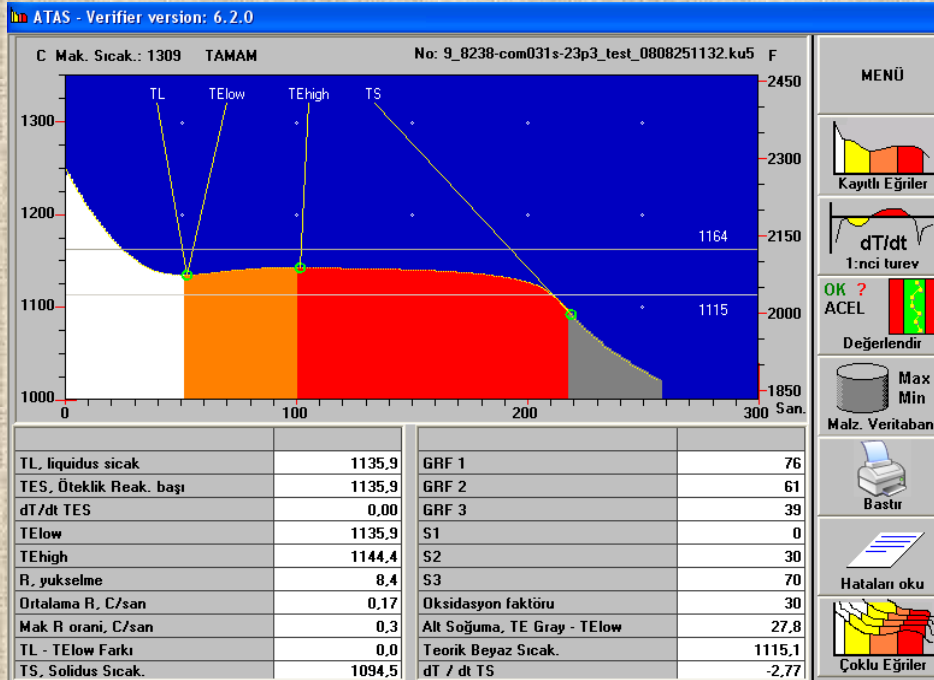


Dış besleme mümkün

Grafit çökmesi ile besleme



ÖRNEK ÇALIŞMA 1



ACEL : 4,30 Ötektik

Telow : 1135,9

R : 8,4

GRF 1 : 76 GRF 2 : 61

dT/dt Ts : - 2,77 Grafit sayı1 : 100

nodül/mm²

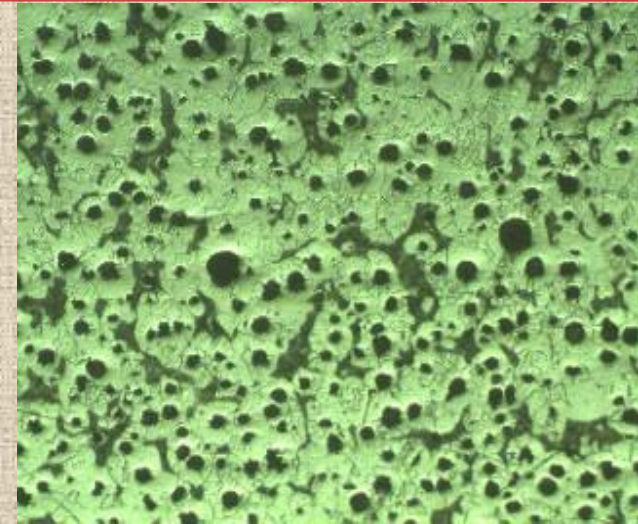
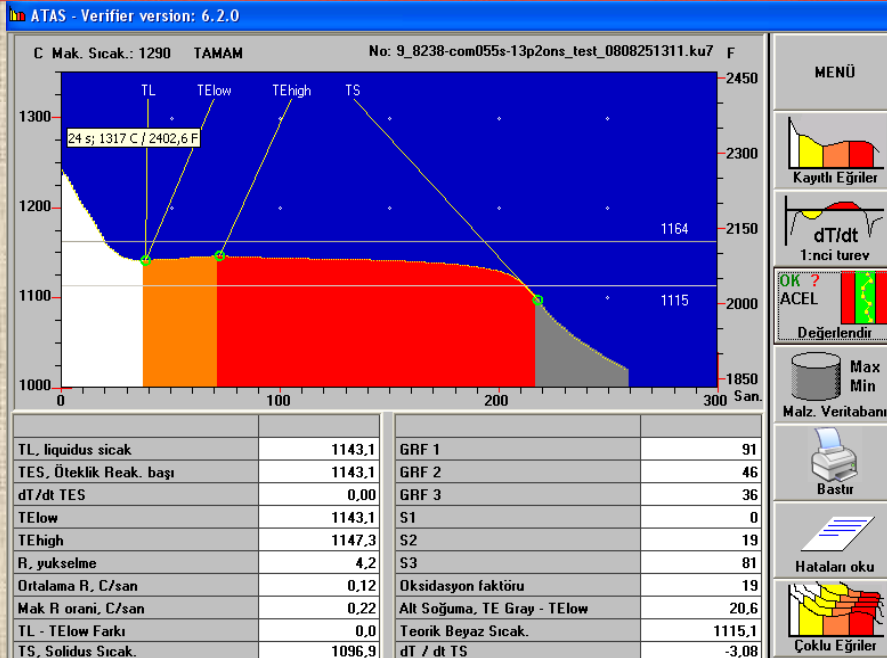


Analiz ötektik olmasına rağmen makro boyutta çekinti boşluğu görülmektedir. Mikro yapıdan görüldüğü gibi grafit sayısının 100 nodül/mm² gibi düşük bir miktarda olduğu görülmektedir. Çekinti oluşan kısım Telow sıcaklığına düşmeden besleyici ile arada kalan kısım Telow sıcaklığının altına düştüğü için besleme etkisi bitmektedir. Bu noktadan sonra ötektik reaksiyon başlamakta ve 1.ve 2.ötektik reaksiyon bölgelerindeki grafit miktarına bağlı olarak bu bölgedeki çekinti boşluğu önlenmektedir. Metalin Termal Analiz sonucunu uygun hale getirmek için baz metal sıcaklığı katı şarj ilavesi yapılarak 1560 dan 1520 ye düşürülmüştür ve reaksiyon potası cebinde ilave olarak % 0,1 miktarında aşılایıcı kullanılmıştır.



AY DÖKÜM

Makine Sanayi ve Ticaret A.Ş.



ACEL : 4,30 Ötektik

Telow : 1143,1

R : 4,2

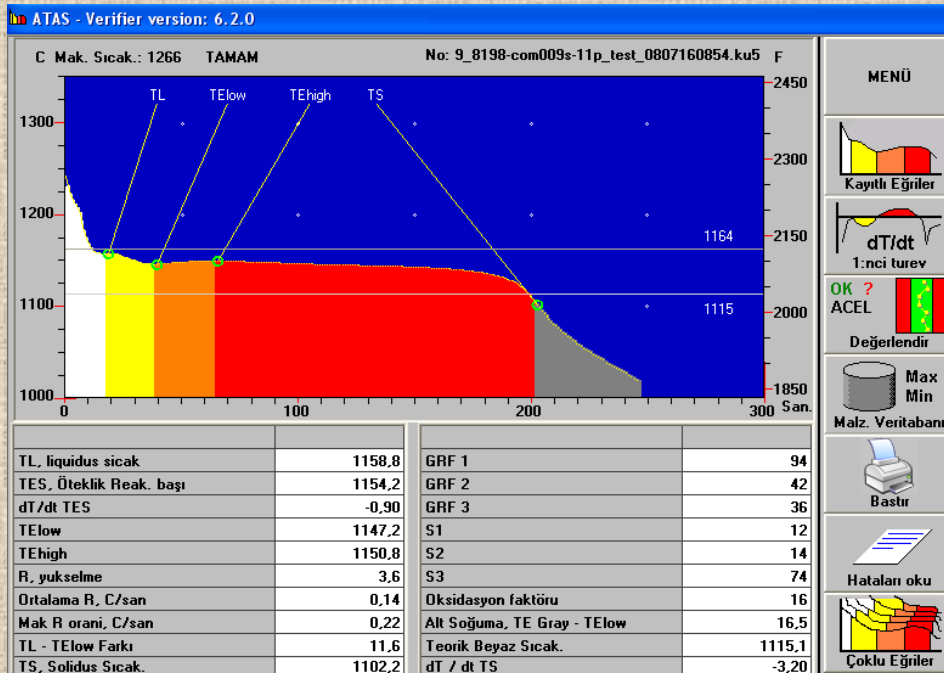
GRF 1 : 91 GRF 2 : 46

dT/dt Ts : - 3,08 Grafit sayısı : 200

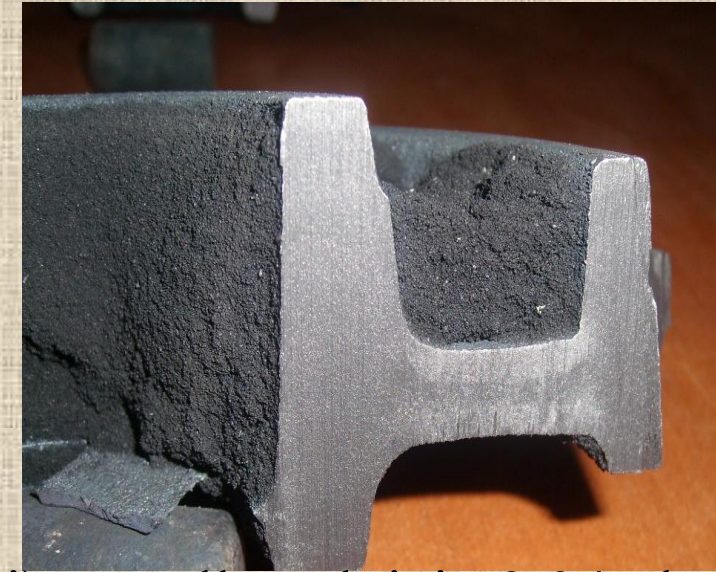
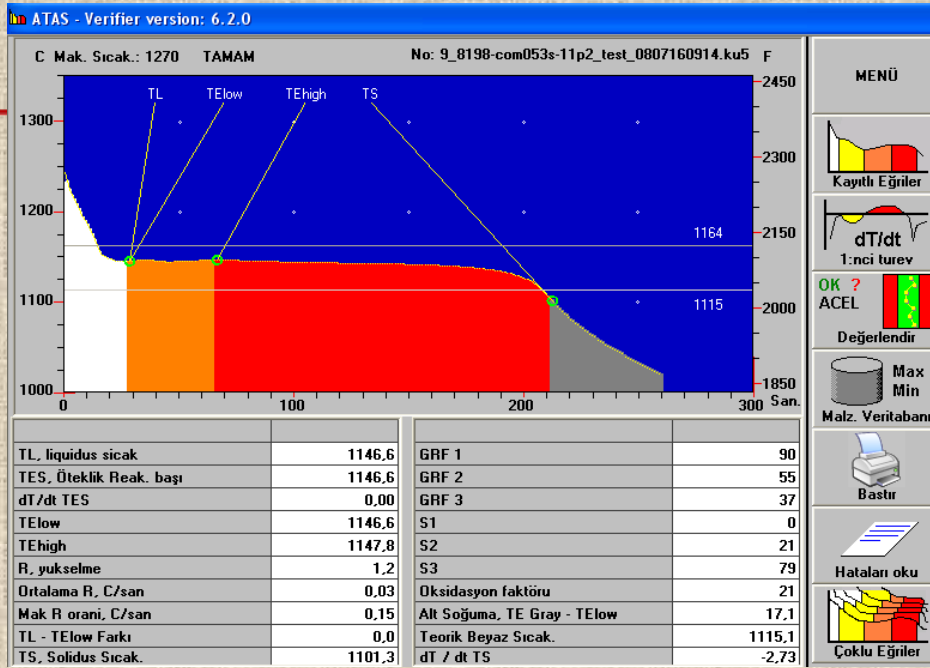
nodül/mm²



ÖRNEK ÇALIŞMA 2



Kimyasal analizindeki karbon miktarı 3,94 olan metalin pota metal termal analiz eğrisi görülmektedir. ACEL = 4,40 ötektik üstü, Telow = 1147,2 GRF1 = 94 GRF2 = 42 R = 3,6 dT/dt Ts : - 3,20 ideal değerlerde olmasına rağmen S1=12 primer grafit oluşumu olduğu için parçanın kesitinde görüldüğü gibi 3 mm makro boyutta çekinti boşluğu görülmektedir.



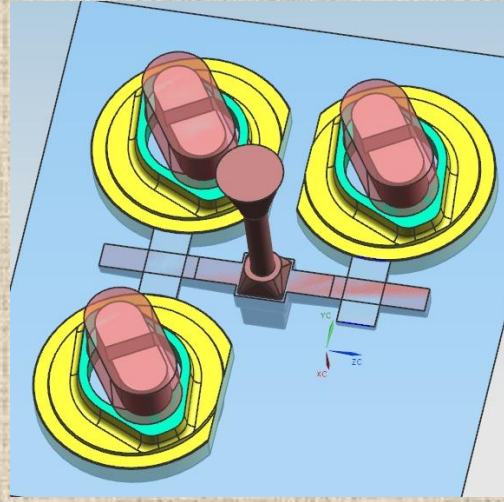
Primer Grafit oluşumunu (S1 bölgesi) engellemek için 3,94 olan karbon miktarı 3,89 a düşürülüp ötektik katılaşma olması sağlanmıştır. Sadece % 0,05 miktarında karbon düşüşü ile soğuma eğrisindeki primer grafit bölgesi engellenmiş ve bu sayede çekinti boşluğu engellenmiştir. ACEL = 4,30 S1 = 0 R = 1,2 Telow = 1146,6 GRF1 = 90 GRF 2 = 55 değerleri uygun dT/dt Ts : - 2,73 değeri düşük olmasına rağmen parçada çekintinin önlenmiş görülmüştür.



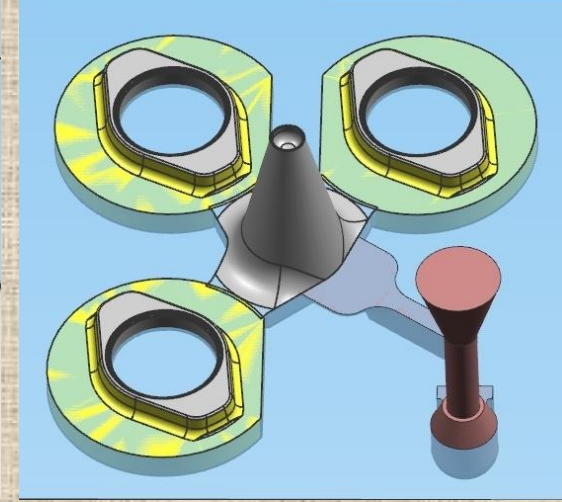
ÖRNEK ÇALIŞMA 3



PARÇA



ESKİ DİZAYN



İYİLEŞTİRİLMİŞ
DİZAYN

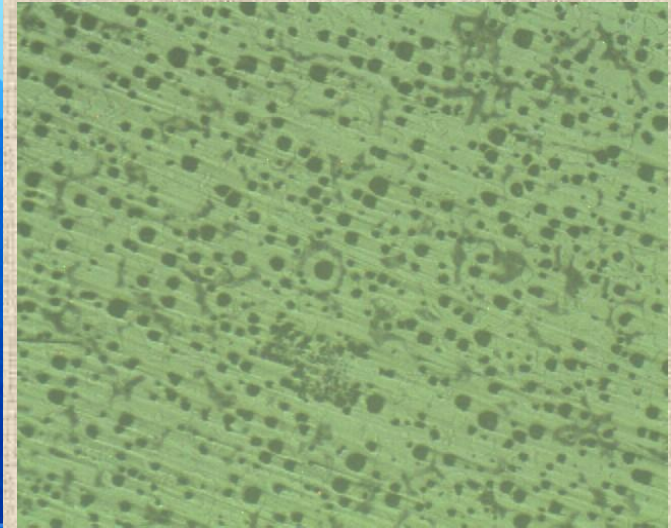
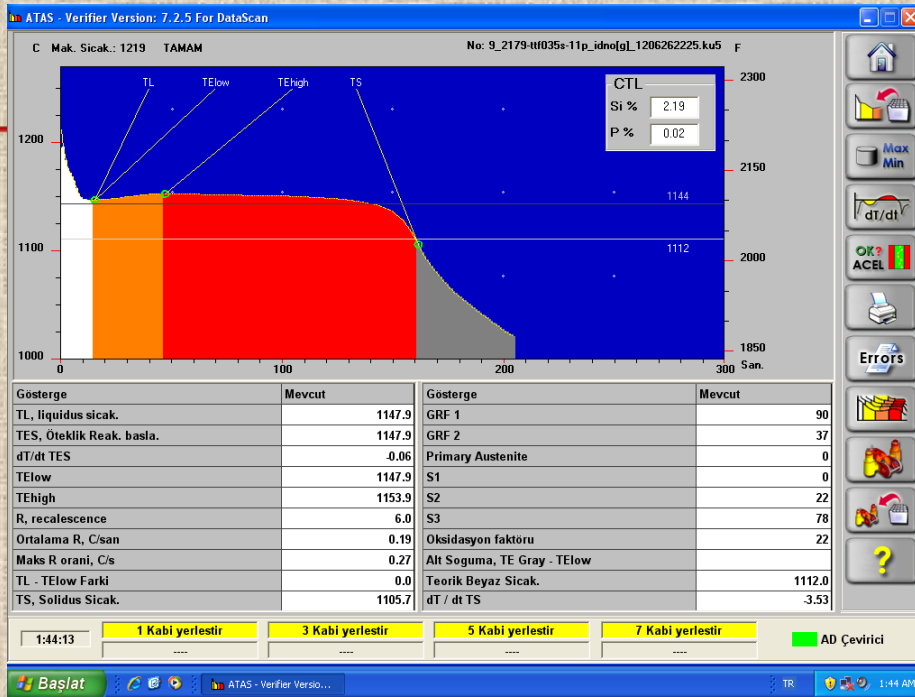
EN-GJS400-15 sfero dökme demir malzemeli Flanş parçası verimlilik çalışması kapsamında alınarak, maliyet azaltma çalışması yapılmıştır. Mevcut model dizaynında her iki figür üzerinde çekinti riski olan kısımlara yerleştirilmiş durumda oval tip ekzotermik besleyici gömleği bulunmaktadır. Yaptığımız verimlilik artırma çalışmasında amacımız parçayı ekzotermik gömlek kullanmadan çekintisiz dökmek olmuştur.



Bunu sağlamak için ; 1400 C olan döküm sıcaklığı 1360 C ye düşürüldü ve kalıp içi blok aşu kullanıldı. Bu iki proses parametresi değiştirilerek parça 6 kg ağırlığında bir adet şişe tip kum besleyici ile döküldü.



Sıcaklığı düşürmek ve kalıp içi aşu kullanımını ile amaçladığımız grafit miktarını artırarak çekinti boşluğu oluşumunu engellemek olmuştur.



Termal analiz sonucunda ; Telow : 1147,9 / R : 6 / GRF1 : 90
GRF 2 : 37 dT/dt Ts : - 3,53 değerleri sağlanmıştır.

Grafit Sayısı : 275 nodül/mm²

Dökülen parçalar kritik kısımlarından kesilerek ve işleme sonucu kontrol edilmiş olup çekinti boşluğu görülmemiştir.

Bu çalışma ile birlikte ;3 adet ekzotermik gömlek kullanımını kaldırılmıştır.Böylelikle 1,5 TL / parça ,maliyet azalmıştır.



1 adet kalıbın yapım süresi 50 sn den 35 sn ye düşmüştür, 1400 olan döküm sıcaklığı 1360 a düşürüldüğü için elektrik sarfiyatında tasarruf sağlanmıştır. Taşlama işçiliğinde işçilik zamanından ve taş sarfiyatından tasarruf sağlanmıştır, kalıp içi aşu kullanıldığı için 0,15 TL / Parça maliyet getirmiştir.

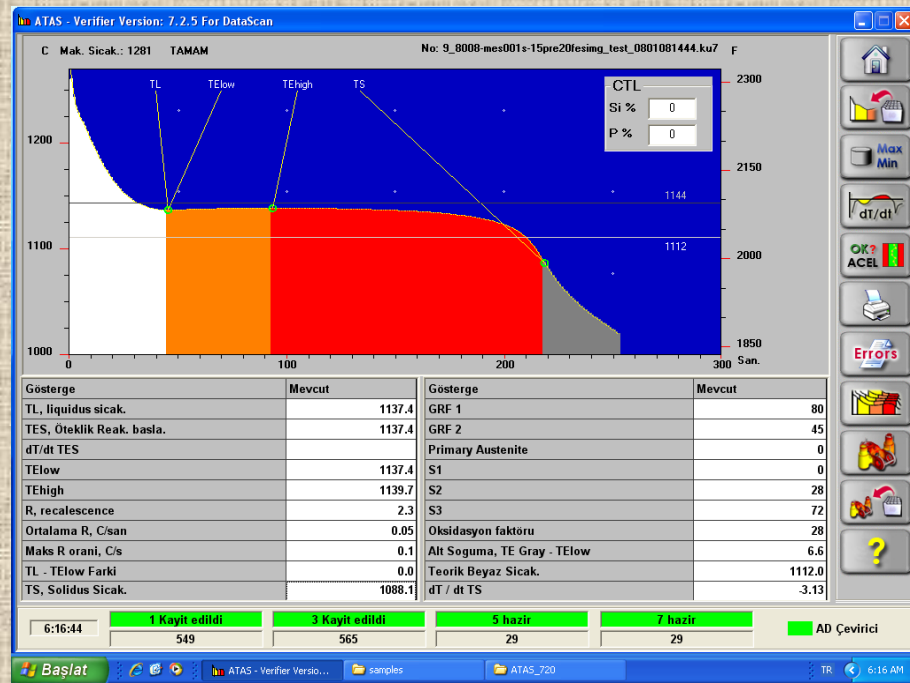
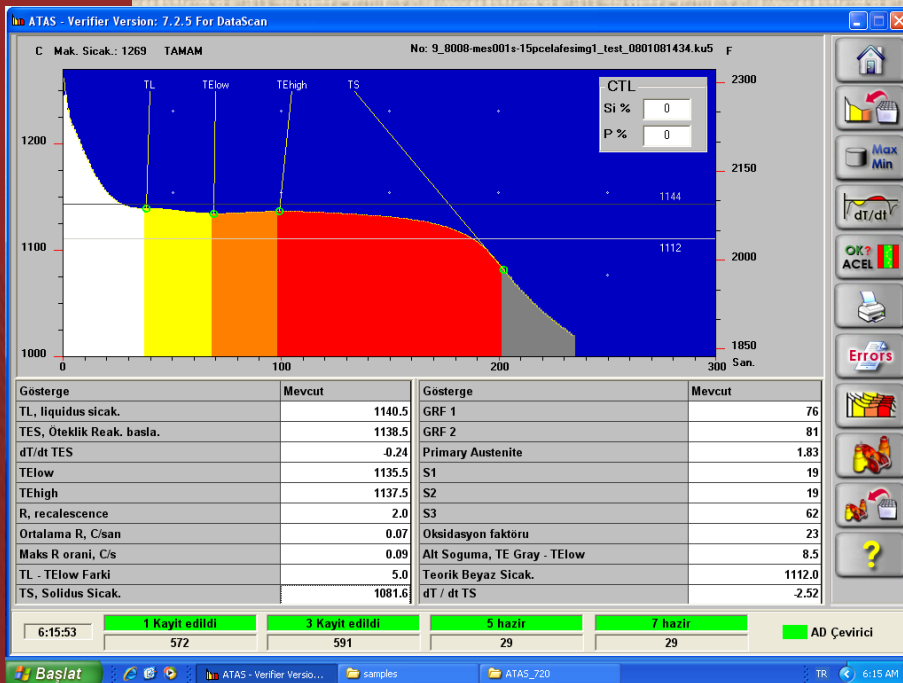
Şişe tipi kum besleyicili yeni dizaynda, eski dizayndaki durum olan besleyicilerin parça üstüne yerleştirilmiş ve ekzotermik olmasının sağladığı yüksek besleme etkisi olmadığı için metal prosesi değişkenlerine sıkı hakim olunması bir zorunluluktur.



Metal sıcaklığı ve termal analiz sonucunda ötektik metal olması ocağın başından sonuna kadar sıkı takip edilerek mutlaka sağlanmalıdır. Termal Analiz sonucunda ; $T_{low} = 1142 - 1148$, $G_{RF1} = 80 - 110$, $G_{RF2} = 25 - 55$, $R = 2 - 7$ ve $dT/dt T_s = -3.0 - -4.0$ aralıklarında sağlanamadığı takdirde çekinti hataları ile karşılaşılması olasıdır.



ÖRNEK ÇALIŞMA 4



Farklı Re elementleri içeren 2 fesimg nin etkileri incelenmiştir.

1.Tip FeSiMg

S1 = 19 Ötektik Üstü Demir

Telow : 1135,5 R : 2

GRF 1 : 76 GRF 2 : 81

dT/dt Ts : - 2,52

2.tip FeSiMg

S1 = 0 Ötektik Demir

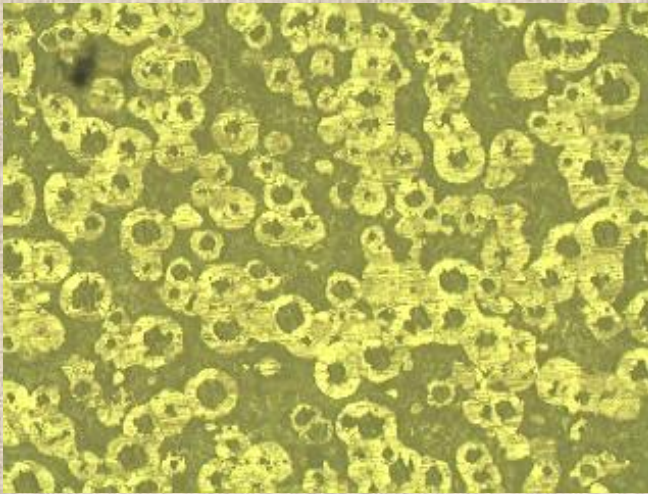
Telow : 1137,4 R : 2,3

GRF 1 : 80 GRF 2 : 45

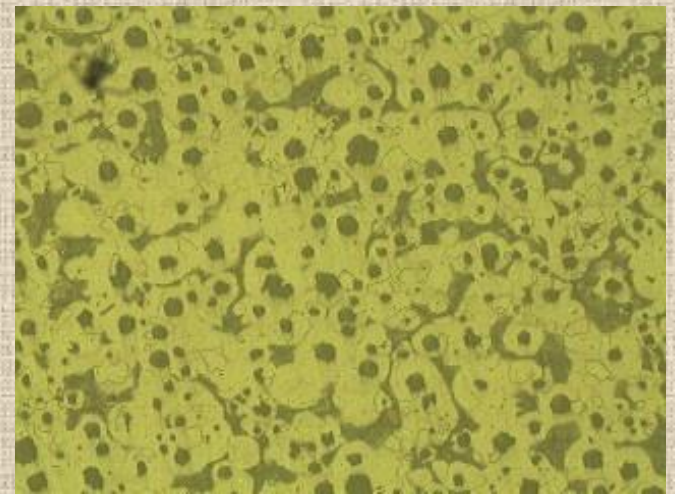
dT/dt Ts : - 3,13



Kimyasal analiz, sıcaklık, aşılama cinsi ve miktarı, fe si mg miktarları aynı olmak şartı ile yapılan mukayeseli deneme sonucunda termal analiz eğrileri incelendiğinde ,1.tip ferro siliko magnezyum kullanılarak yapılan sfero metali eğrisinde S1 primer grafit oluşumu ve yüksek GRF2 faktörü metalin çekintiye aşırı eğilimli olduğunu göstermektedir.



100 nodül/mm²
%50 ferrit + %50perlit



200 nodül/mm²
%90 ferrit + % 10 perlit



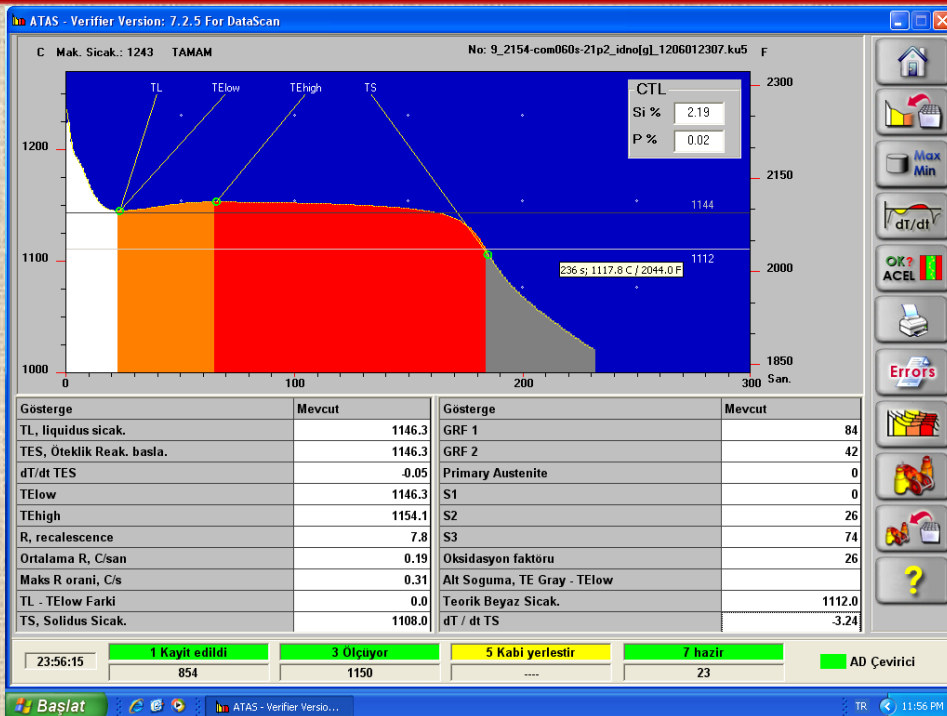
Mikro yapı incelendiğinde grafit miktarının düşük olduğu, küresellikten sapmaların olduğu ve perlit faz miktarının yüksek olduğu görülmektedir.

FeSiMg seçimi yaparken amaç sadece spektrometrede yeterli kalıcı mg miktarını elde etmek ya da mikro yapıda küreselleşmeyi sağlamak olmamalıdır. FeSiMg cinsi metalin katılaşma özellikleri, grafit miktarı ve perlit-ferrit faz miktarlarını dolayısı ile çekinti eğilimini yüksek seviyede etkilemektedir.



AY DÖKÜM

Makine Sanayi ve Ticaret A.Ş.



ACEL : 4,30 Ötektik

Telow : 1146,3

R : 7,8

GRF 1 : 84

GRF 2 : 42

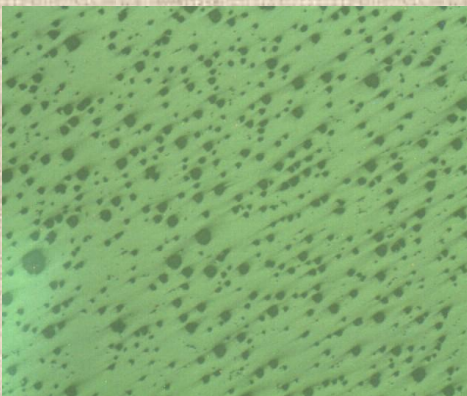
dT/dt Ts : - 3,24

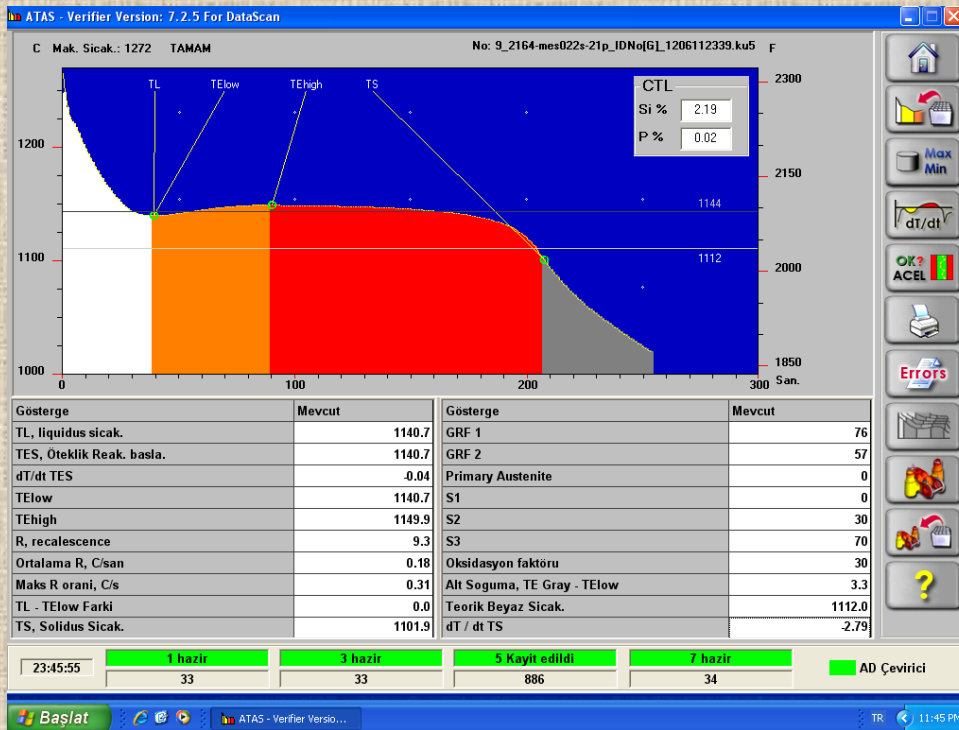
Grafit Sayısı : 275

nodül/mm²

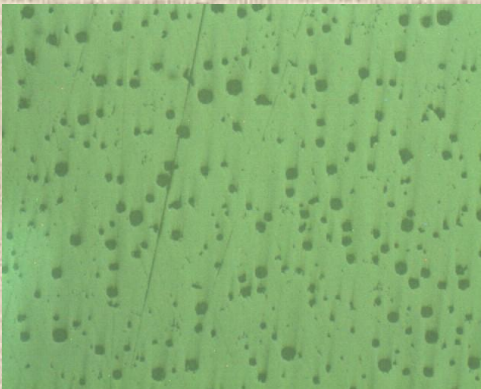
Termal Analiz numunesinde

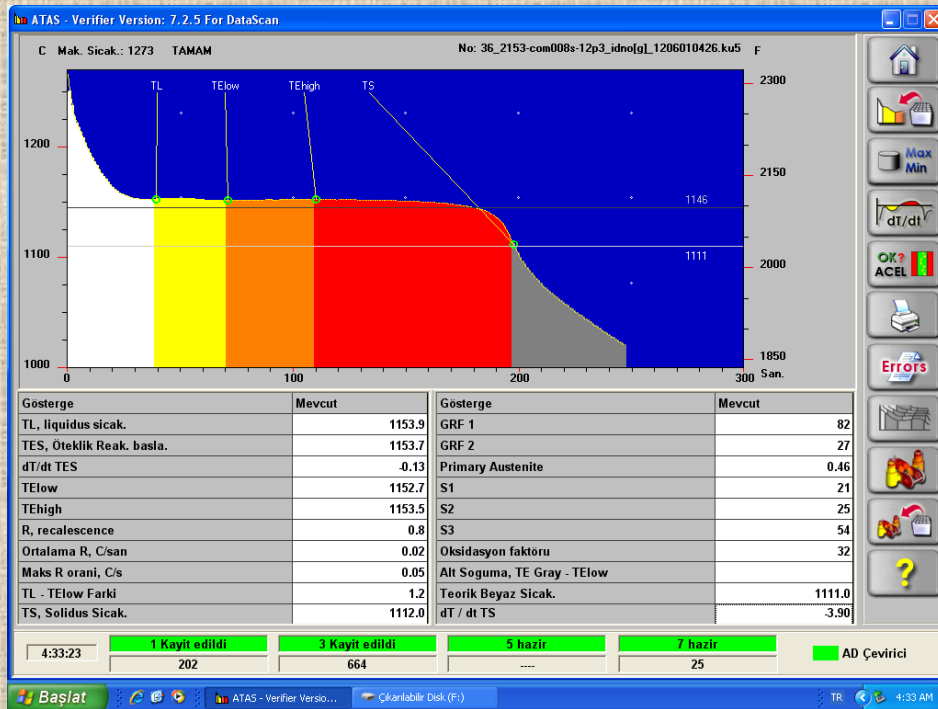
çekinti boşluğu yok.





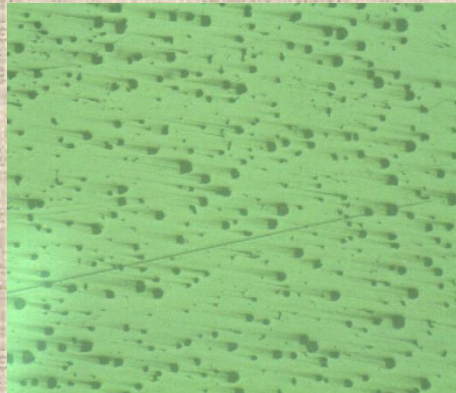
ACEL : 4,30 Öteklük
Telow : 1140,7
R : 9,3
GRF 1 : 76 GRF 2 : 57
dT/dt Ts : - 2,79
Grafit Sayısı:175
nodül/mm²
Termal Analiz
numunesinde çekinti
boşluğu var.





ACEL : 4,20 Ötektik altı
TL : 1153,9
S1 : 21 Primer ostenit
Grafit Sayısı : 200
nodül/mm²

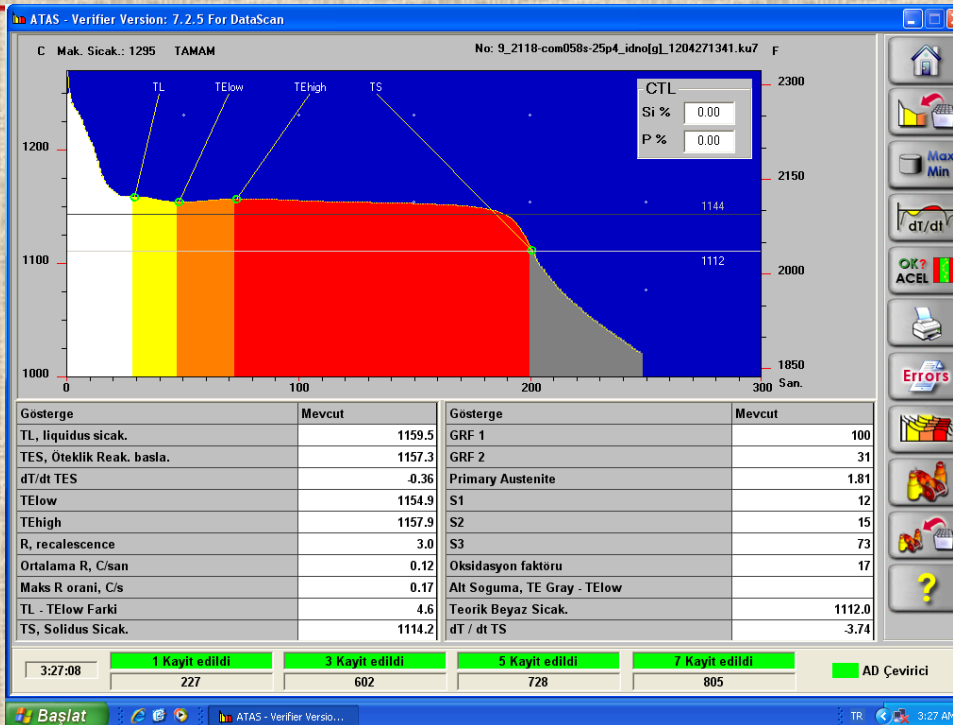
Termal Analiz numunesinde
çekinti boşluğu var.



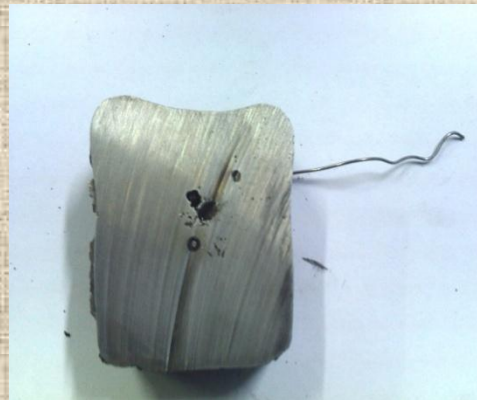
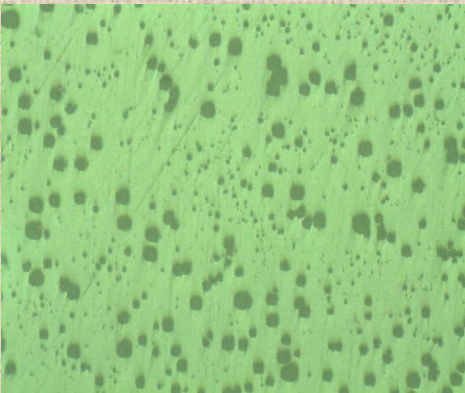


AY DÖKÜM

Makine Sanayi ve Ticaret A.Ş.



ACEL : 4,40 Ötektik üstü
TL : 1159,5
S1 : 12 Primer grafit
Grafit Sayısı : 300
nodül/mm²
Termal Analiz
numunesinde
çekinti boşluğu var.





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

KAYNAKÇA

1) Rudolf Sillén , “Practical usage of Advanced Thermal Analysis”, NovaCast Foundry Solutions 16.01.2008

2)Adrian Udroi, “Thermal analysis of Gray iron and Ductile iron” , Senior Consultant, SATEF, Hütenes Albertus, Italy .
01.12.2010