



25 - 27 October / Ekim 2018

TÜYAP Fair, Convention & Congress Center, İstanbul

TüDöKSAD Akademi **10. Uluslararası Döküm Kongresi / 10th International Foundry Congress** by Tudöksad Academy

In conjunction with **ANKIROS / ANNOFER / TURKCAST** fairs

## **«Dökme Demirlerde Termal Analiz ile Metalurjik Proses Kontrolü ve Uygulamaları»**

### **«Metallurgical Process Control Using Thermal Analysis System In Cast Irons and Case Studies»**

**Yaşar Uğur Akı, Emre Erol, Cüneyt İnal  
(Demisaş Döküm)**

#### **2.Oturum / 2nd Session**

**Oturum Başkanı / Session Chairman: Bülent Şirin (Döktaş Dökümcülük)**



# Dökme Demirlerde Termal Analiz ile Metalurjik Proses Kontrolü ve Uygulamaları

TÜDÖKSAD 10. ULUSLARARASI DÖKÜM KONGRESİ  
25-27 EKİM 2018

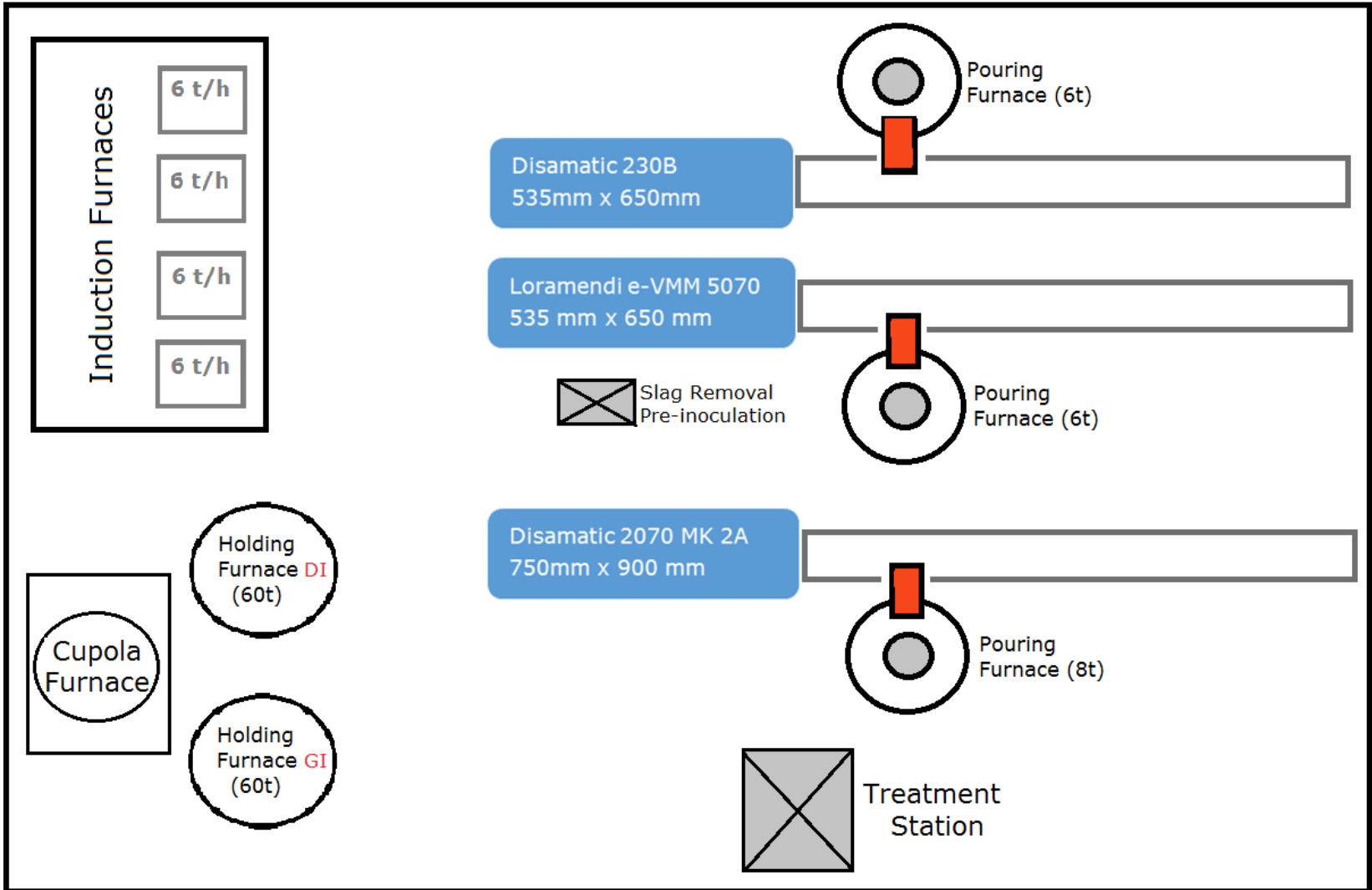
Yaşar AKI, Emre EROL, Cüneyt İNAL  
Demisas Döküm ve Emaye Mamüleri San. A.Ş.

# DEMİSAŞ

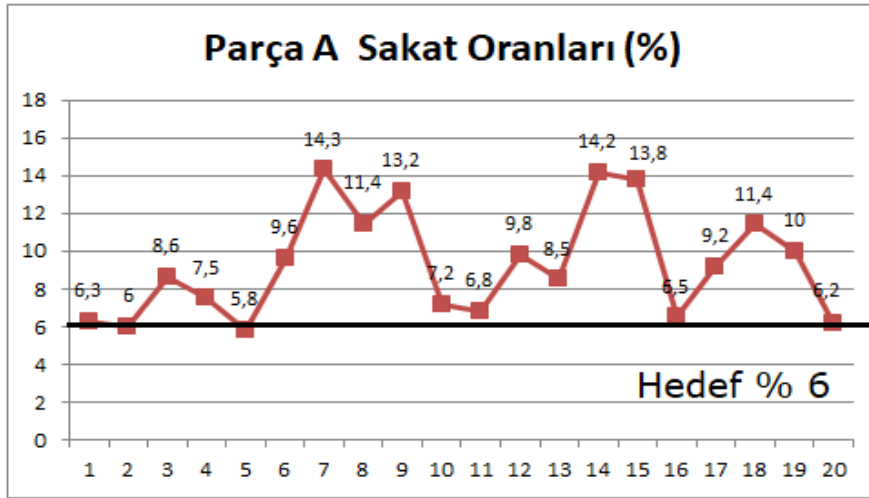
- Bilecik/Türkiye
- 130.000 m<sup>2</sup> Fabrika Alanı
- 603 Çalışan
  - 120 Beyaz Yaka, 483 Mavi Yaka
- 70.000 ton Üretim kapasitesi
- Gri, Sfero ve Vermiküler Dökme Demir
- % 55 Gri, % 43 Sfero, % 2 Vermiküler
- 61.500 ton Satış (2017)
- % 52 Yurtiçi, % 48 Yurtdışı
- Otomotiv, Hafif Ticari, Ağır Vasıta, Soğutma Sanayi
  - % 65 Otomotiv, % 20 Hafif Ticari, Ağır Vasıta, % 15 Soğutma Sanayi



# Yerleşim



# Dökümhanelerde Karşılaşılan Başlıca Problemler



% C : 3,60 – 3,80, % Si : 2,20 – 2,40

Sıcaklık : 1400 – 1420

Tüm parametreler limitler içerisinde

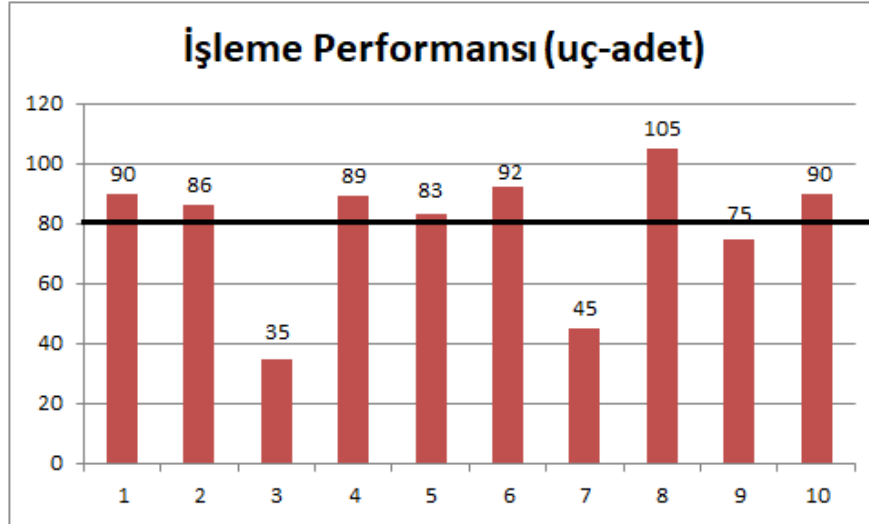
Sakat Oranı : % 6 - % 15 Değişken ?

Sıcaklık Artırma

Besleyici Büyütme

Enerji Tüketimi ↑

Verimlilik ↓



% C : 3,30 – 3,40, % Si : 1,90 – 2,00

Sıcaklık : 1380 – 1400

Mn, Cu, Sn, Cr

Tüm parametreler limitler içerisinde

İşleme performansı değişken !!

Müşteri İadesi ↑

İşleme Maliyeti ↑

**Kimyasal Analiz problem çözümü için tek başına yeterli değildir**

# Metalurjik Proses Kontrol



*Kimyasal Analiz tek başına niçin yeterli değildir ?*

- Sadece element miktarları hakkında bilgi verir.
- Durumu karmaşıklaştıran zararlı elementler genellikle ölçülmez.
- Sıvı Metaldeki  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{FeO}$ , silikatlar, diğer oksitler ve çözünmüş gazları ölçmez.
- Katılaşma boyunca çökelen grafitin tipi ve miktarı hakkında bilgi vermez.

*Aynı kimyasal analize sahip alaşımlar, diğer değişkenlerdeki varyasyonlara bağlı olarak, tamamen farklı davranabilirler.*

- Şarj Malzemeleri
- Şarj Sırası
- Alaşım kompozisyonları
- Sıvı metal ergitme ve bekletme sıcaklıkları
- Sıvı metaldeki oksijen miktarı
- FeSiMg kompozisyonu ve tretman metodu
- Aşılama kompozisyonu, miktarı ve ilave şekli

# Metalurjik Proses Kontrol



*Metalurjik Proses Kontrol için Termal Analiz niçin gerekli?*

## ➤ *Döküm Hatalarını Azaltmak*

- Çökme/Oturma
- Makro Çekintiler
- Mikro Çekintiler
- Çil (Düşük çekirdeklenme etkisi)
- Ters Çil (Segregasyon)
- Şişme hataları (Katılaşma esnasında hacim genişmesi)
- Nodülleşme ve Nodül Sayısı
- Mikroyapı Bozuklukları

## ➤ *Plaka Verimliliği Artırma*

- Büyük Besleyiciler ve Düşük Verim → Enerji Tüketimi, Astar Malzemeleri, Aşılama ve FeSiMg tüketimlerinde artış.

## ➤ *Proses Optimizasyonu ve Maliyet Azaltma*

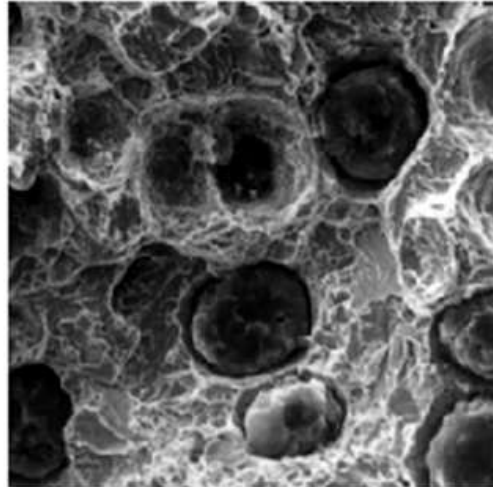
- Çekirdeklenme Koşullarını İzleme / Bilgi Sahibi Olma → Daha düşük Aşılama ve FeSiMg tüketimi
- Sıvı metal koşullarına göre ürün geçisi → Setup süresi azaltma ve üretim verimi artışı.

## Spectrometre & Termal Analiz

### Spectrometer

Elements

C  
Si  
P  
S  
Mn  
Cu  
Mg



$Mg+Mg(S)+Mg(O)+Mg^*(SiO_4)$

### Thermal Analysis

C	Oxides	Sulphides	Silicates
Si	SiO <sub>2</sub>	MgS	
P	FeO	FeS	
S	MnO		
Mn	MgO		
Cu			
Mg	Other compounds		

Dissolved oxygen

Combined oxygen

Other gases

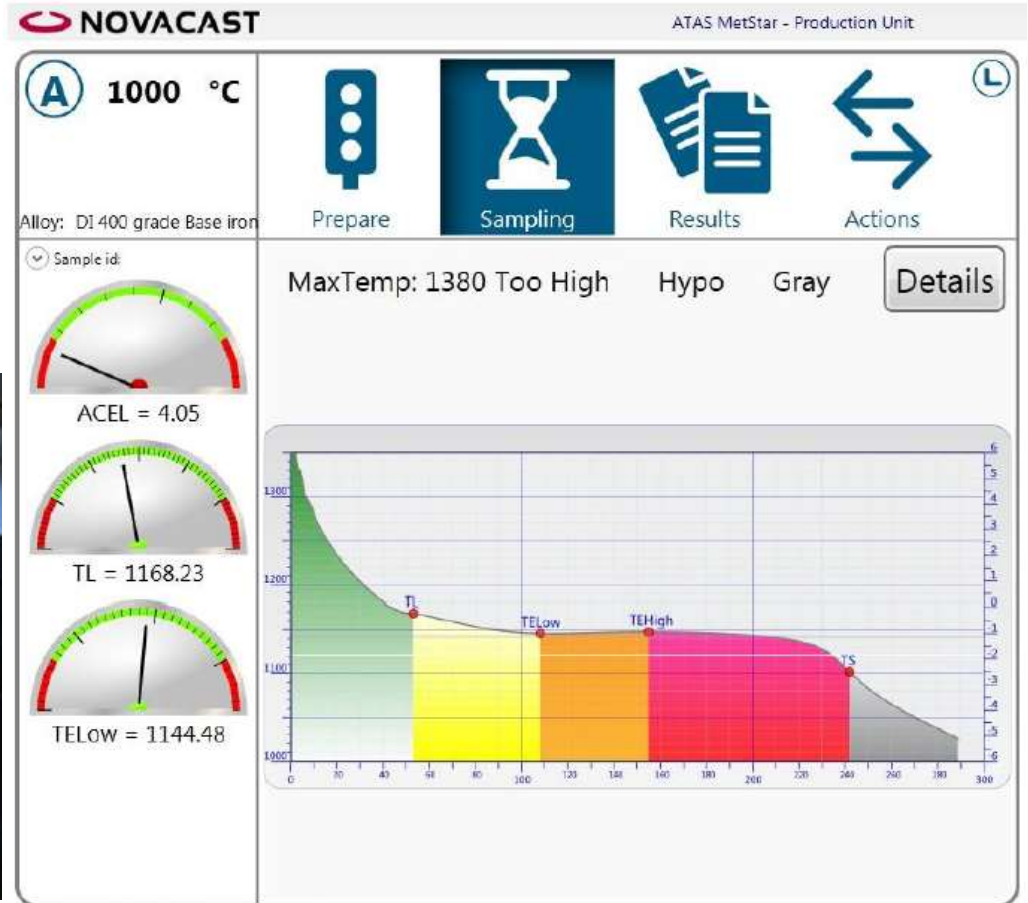
**Spectrometre sadece elementlerin miktarını gösterir, , ATAS termal analiz, bu element ve bileşiklerinin katılma özelliklerine etkilerini ortaya koyar.**



# Metalurjik Proses Kontrol



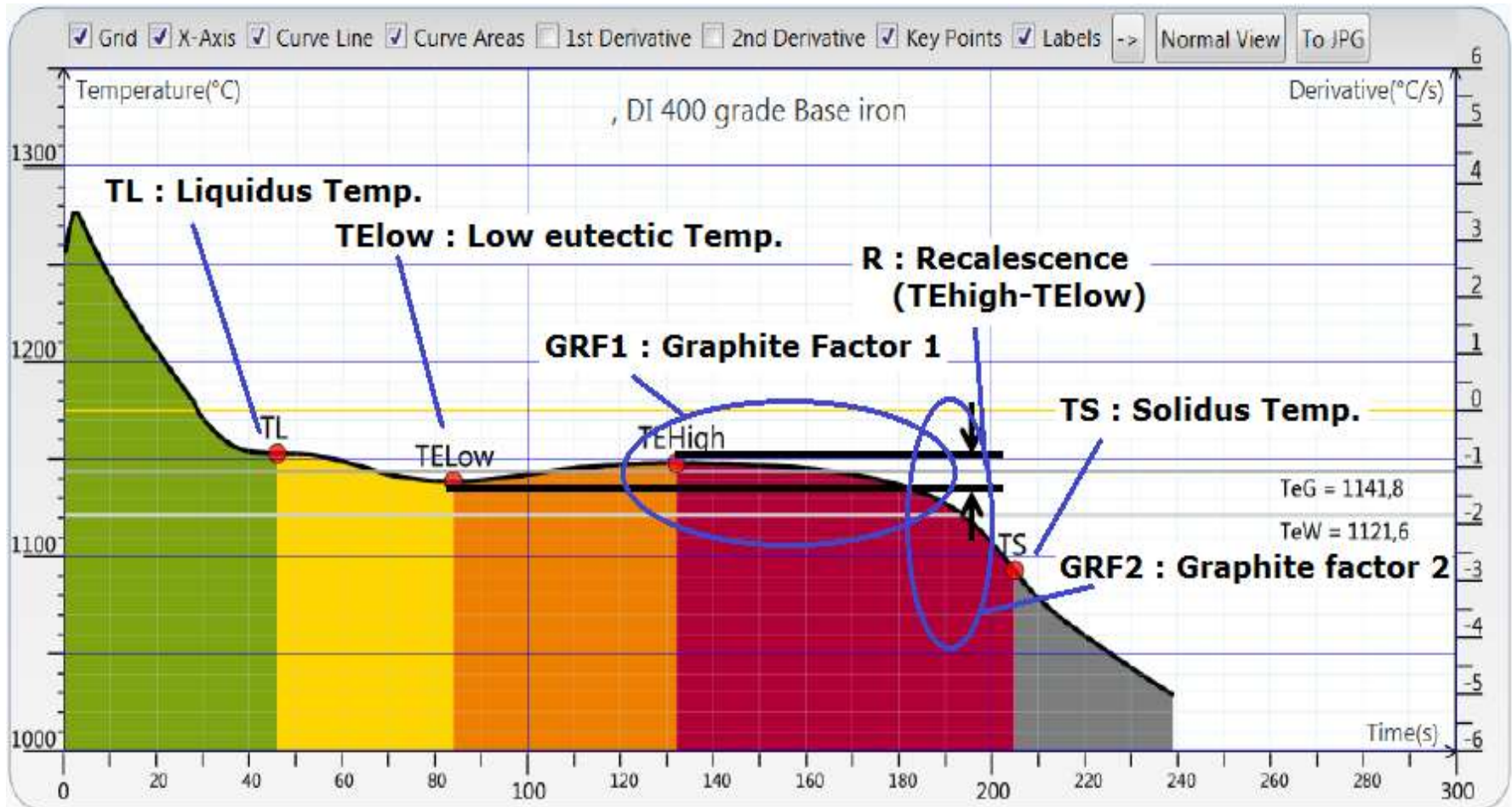
Termal Analiz programı , içerisinde termokupl bulunan numune kabına dökülen sıvı metalin, katılaşıma kadar geçen süreçte, zamana bağlı sıcaklık eğrisini çizer.



# Metalurjik Proses Kontrol



ATAS\_Metstar Metalurjik Parmakizi.



## ATAS\_Metstar Ana Kontrol Parametreleri

- 1.TL : Liquidus Sıcaklığı, f(ACEL, Çözünmüş oksijen), Katılma başlangıç sıcaklığıdır.
- 2.Telow : Alt Ötektik Sıcaklığı. Ötektik katılma Telow'a ulaşmadan önce başlar.. Telow'a ulaşılan kadar besleme, besleyiciden sağlanır. Grafit genişmesi Telow sonrası başlar. (Yüksek olmalıdır)
- 3.R : Öteklik katılmanın ilk safhası boyunca çökelen östenit ve grafit miktarını yansıtır. (Düşük olmalıdır)
- 4.GRF 1 : Ötektik katılmanın ikinci safhası boyunca çökelen grafit miktarını yansıtır.(Yüksek olmalıdır)
- 5.GRF 2 : Isı iletkenliğini kullanarak, katılma sonundaki grafit miktarı ve türü ile nodul sayısını tahmin eder. (Düşük olmalıdır.)
- 6.TS : Katılma Sıcaklığı, Segregasyon ve ters çil oluşumu hakkında bilgi verir. (Yüksek olmalıdır.)

# Metalurjik Proses Kontrol

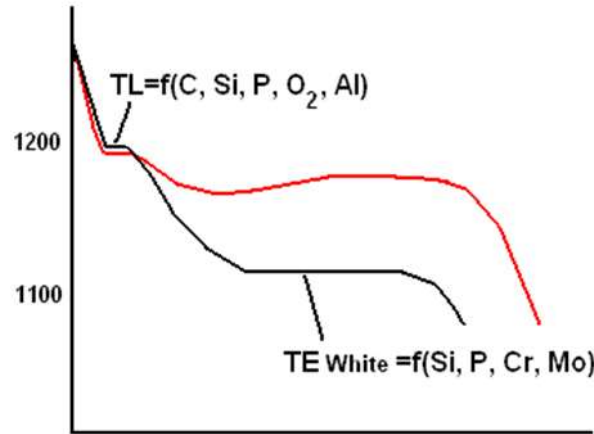


## Karbon

•**Toplam Karbon** = Grafit, sementit ve diğer karbidler içindeki % C

**Spektro**

•**Aktif Karbon** = Soğuma eğrisinden hesaplanan grafit olarak çökelmiş % C **ATAS**



Karbon Eşdeğeri (CEL) =  $C+Si/4+P/2$  Doğruluk +/- 0,08 Spektrometre

Aktif Karbon Eşdeğeri (ACEL) =  $f(TL)$  Doğruluk +/- 0,01 ATAS

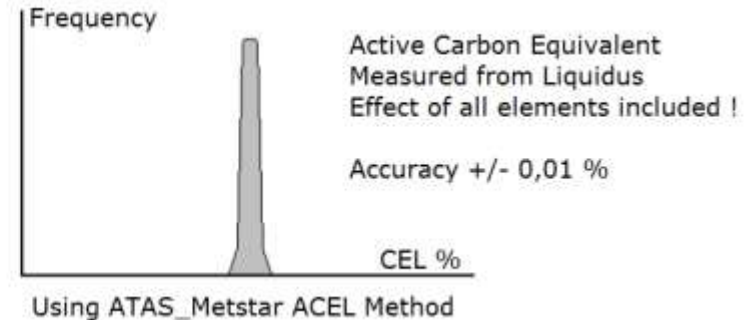
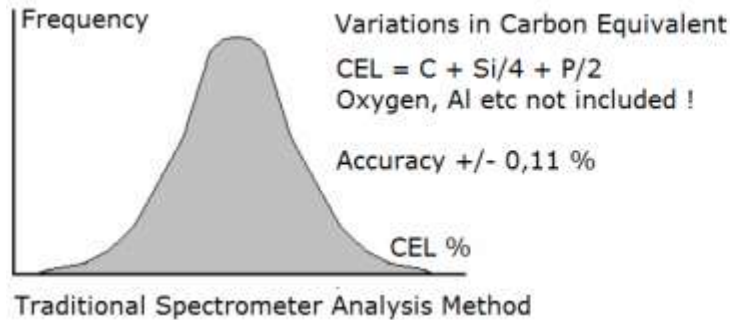
# Metalurjik Proses Kontrol



Proses Kontrol için Kimyasal Analiz sınırlaması yeterli midir ?

- % C ve % Si limitler içerisinde ise, metal uygun mu hazırlandı?

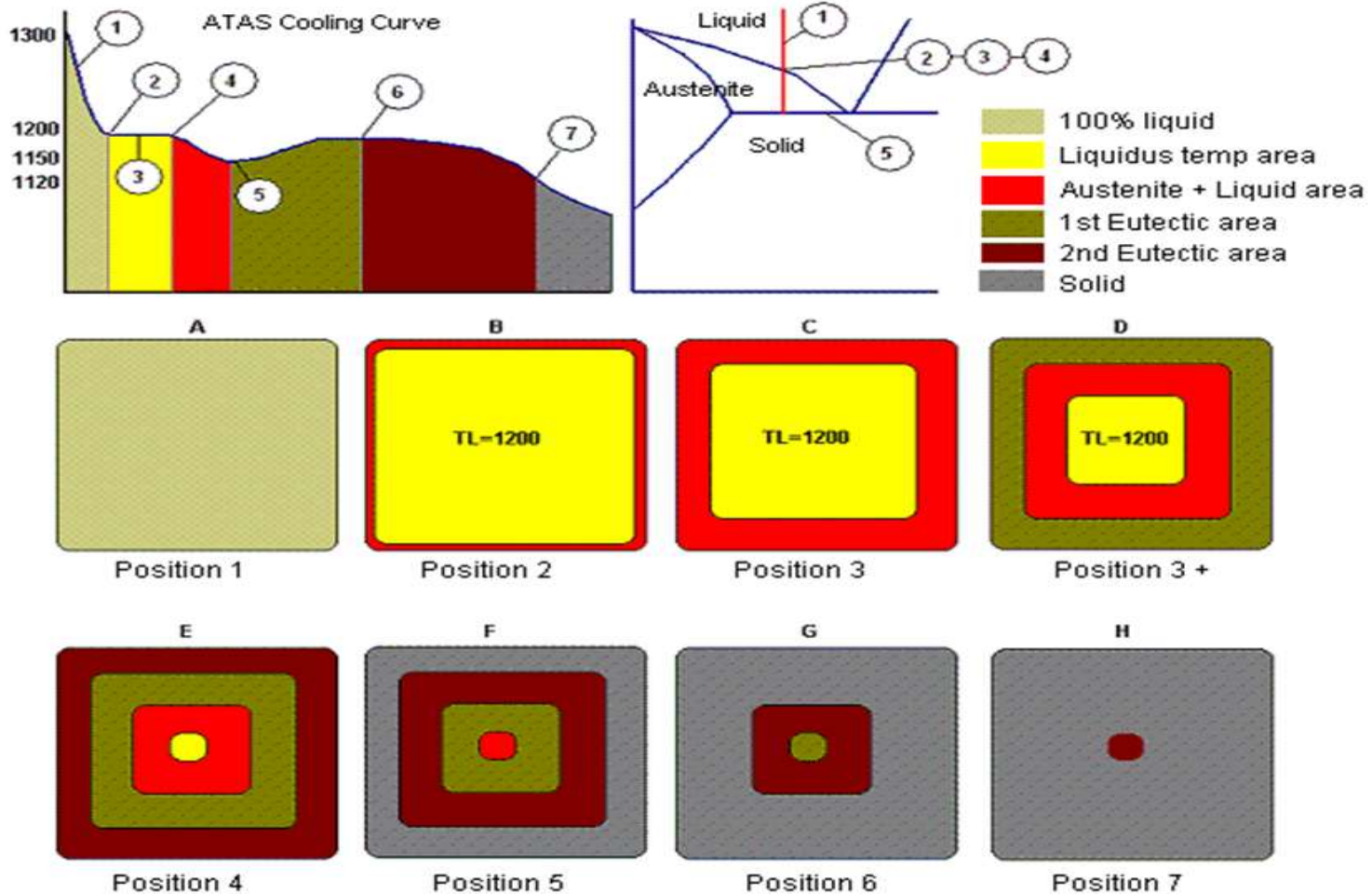
	Min	Max	$CEL = C + Si/4 + P/2$
%C	3,60	3,75	CEL_min = 4,15
%Si	2,20	2,40	CEL_max = 4,37
%P	0,01	0,05	Sapma = +/- 0,11 !! TL'de sapma = 1156 - 1130 = 26 °C



*Döküm hatalarının bir çoğu karbon eşdeğerinin hatalı ölçümünün bir sonucu olarak ortaya çıkar.*

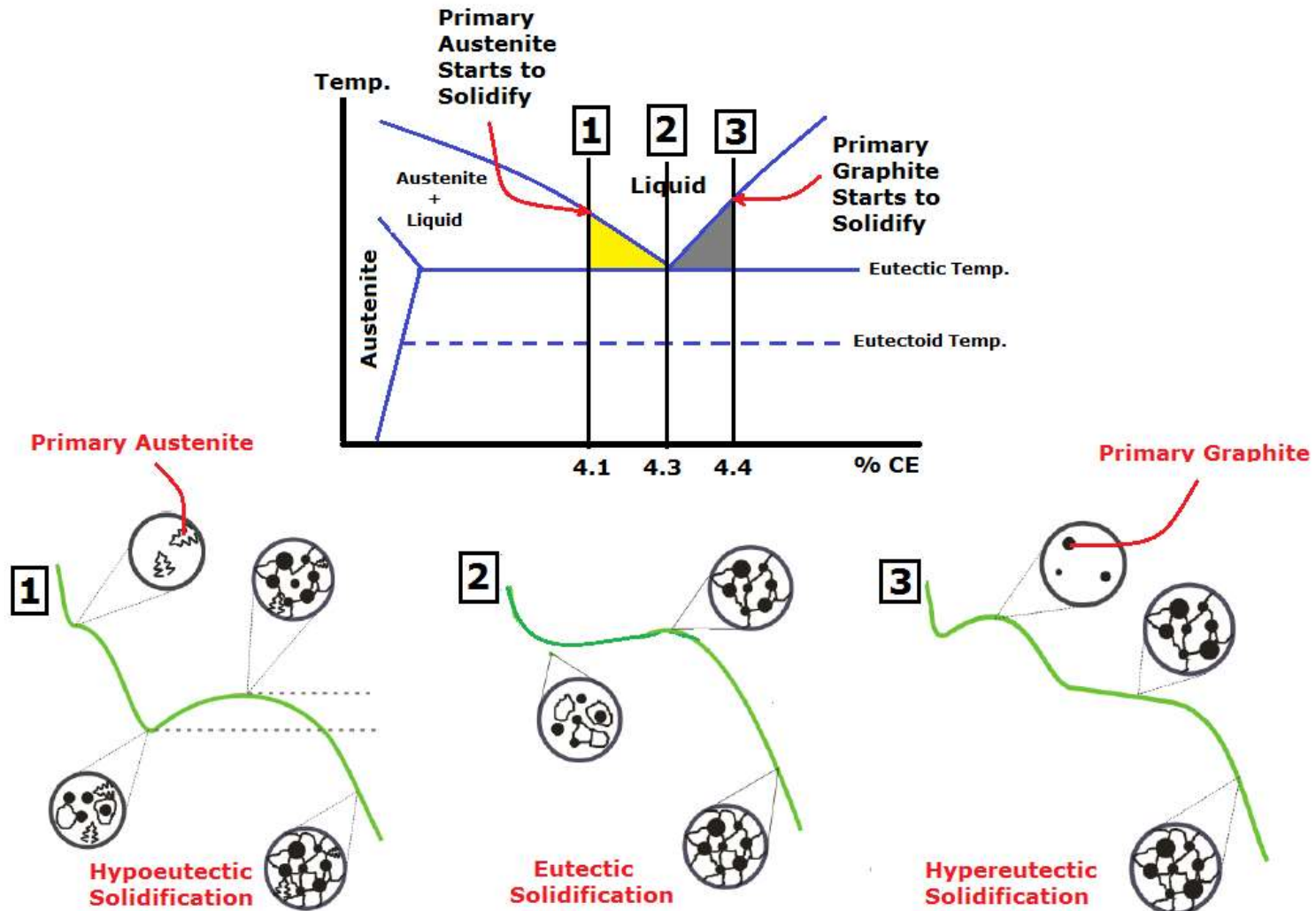
# Metalurjik Proses Kontrol

- Dökme Demirlerde Katılaşma Safhaları



# Metalurjik Proses Kontrol

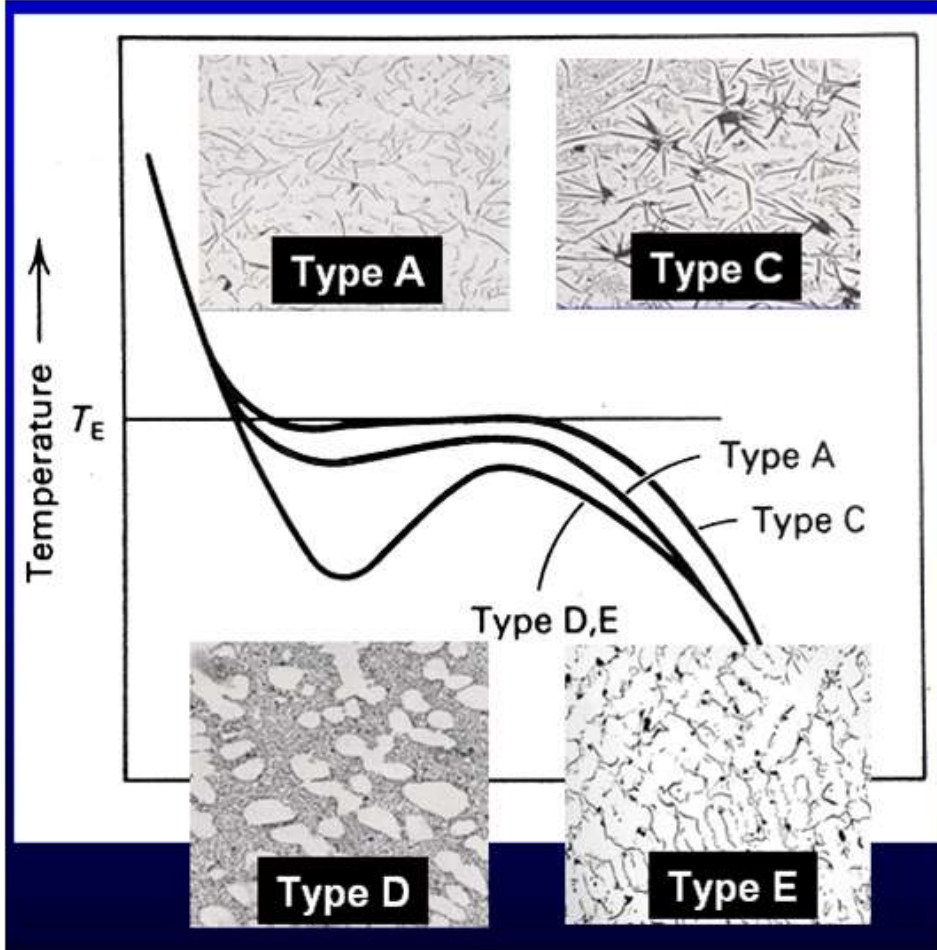
- Hypo-, Hyper- and Ötektik Katılaşma



# Metalurjik Proses Kontrol



Gri Dökme Demirlerde ATAS Soğuma Eğrisine göre Grafit Tipi



## A Tipi Grafit için ATAS Kriteri

Sınırlandırılmış Telow

Düşük R

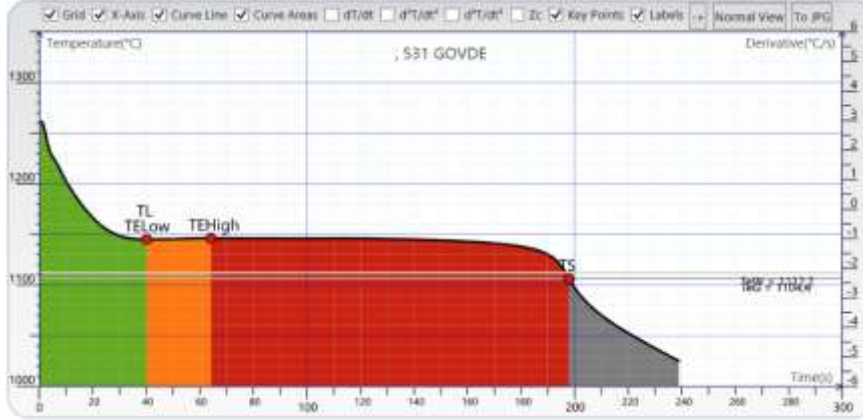
Yüksek GRF 1

Düşük GRF 2

Yüksek TS



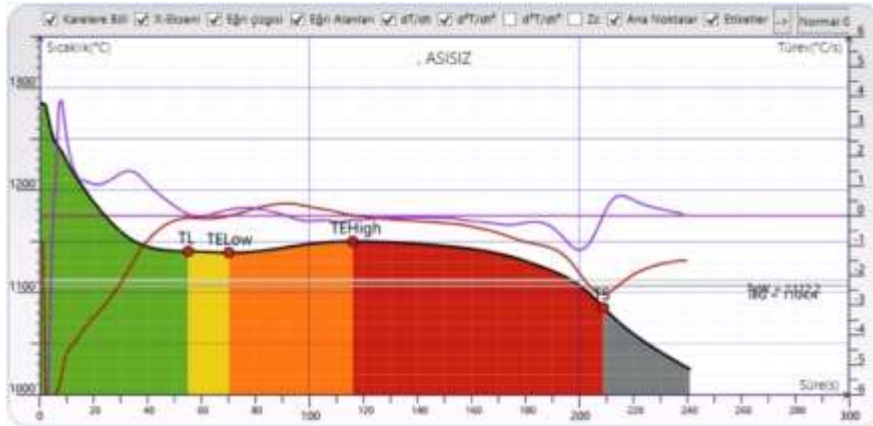
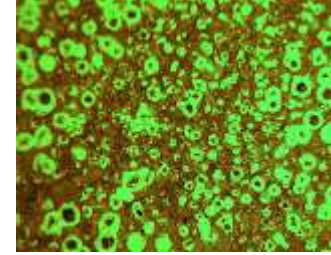
# Metalurjik Proses Kontrol



## İYİ Sfero Dökme Demir

Yüksek Telow : 1145  
Düşük R : 1.2  
Yüksek GRF 1 : 104  
Düşük GRF 2 : 25

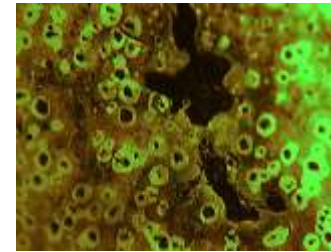
**Çekinti YOK**



## KÖTÜ Sfero Dökme Demir

Düşük Telow : 1133  
Yüksek R : 11  
Düşük GRF 1 : 55  
Yüksek GRF 2 : 66

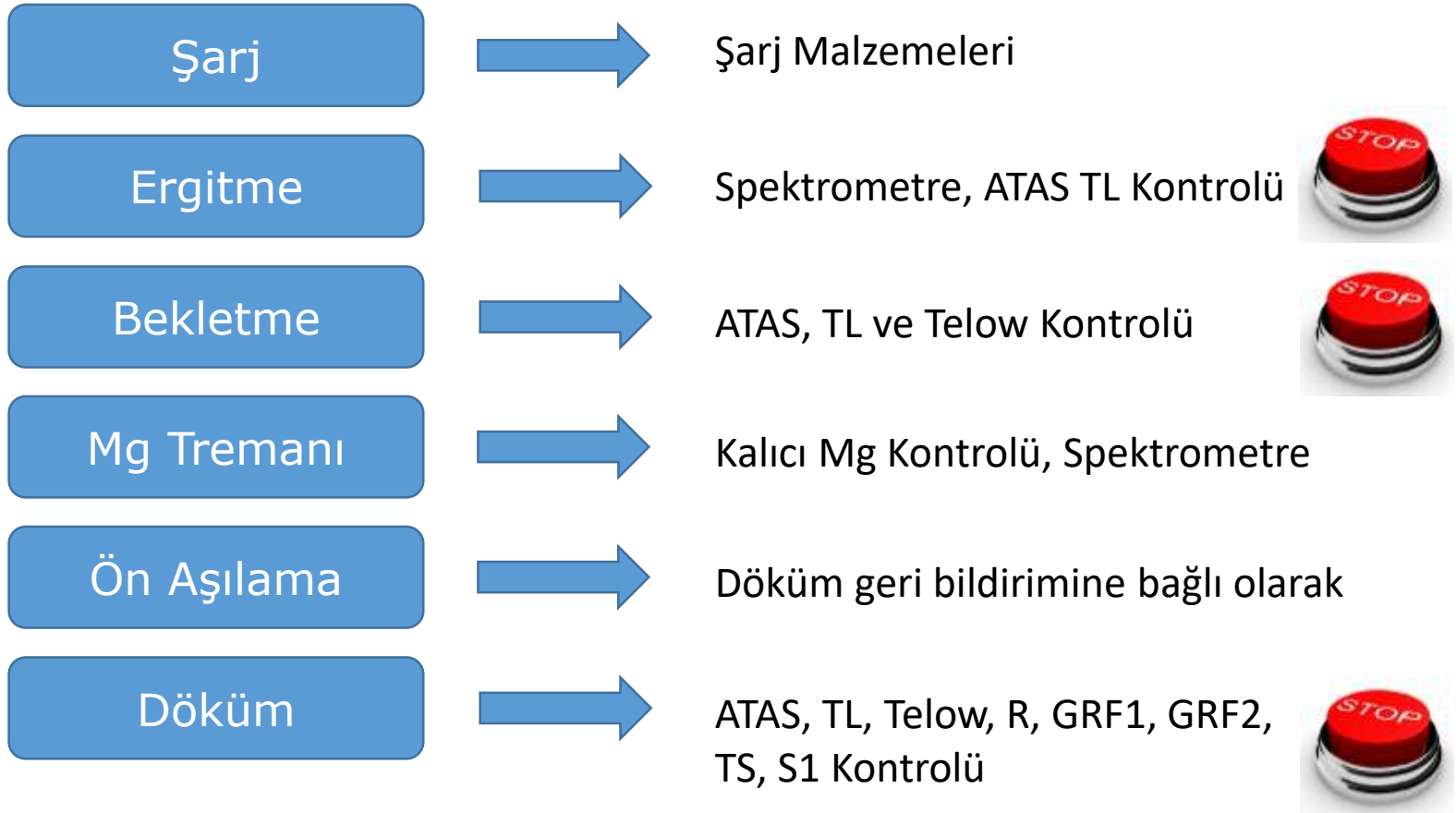
**Mikro Çekinti**



# Metalurjik Proses Kontrol



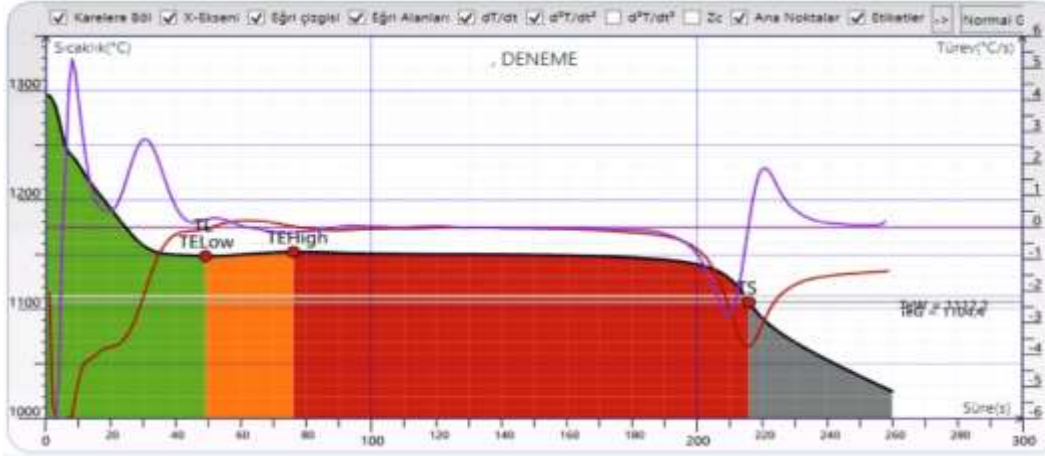
## Using ATAS\_Metstar for production of Ductile Iron



# Metalurjik Proses Kontrol



## ■ ATAS\_Metstar ACEL Doğrulama Fonksiyonu



Normal G

Parafakt

MQ = 82 !

ACEL = 4,23

Güçlenme	Min	Max	Mod	Parafakt
TL	1144.0	1148.7	1147.0	
TES	1311.0	1148.7	1322.0	
dT/dt TES	-2.00	-0.05	0.00	
S1	0.0	0.0	3.0	
TELow	1144.0	1148.7	1147.0	
R	1.0	3.8	5.0	
GRF1	70	100	120	
GRF2	25	28	55	
dT/dt TS	-3.50	-3.75	-2.50	
TS	1100.0	1106.5	1120.0	

JPG 380

Alloys for ACEL-Correction

Carbon	Silicon	Silicon Carbide
Name: Graphite	Name: FeSi	Name: SiC
Carbon: 95 %	Silicon: 75 %	Silicon: 65 %
Yield: 90 %	Yield: 90 %	Yield: 95 %
		Carbon: 28 %
		Yield: 80 %

1000 °C

Alloy: DI 400 grade Base Iron

Prepare Sampling Results Actions

Target	Actual
4.26 <small>+0.05</small> <small>-0.02</small>	4.23

Adjustment: 1.8 kg Carbon

Furnace weight

5000 kg Ok Database value: 5000 kg

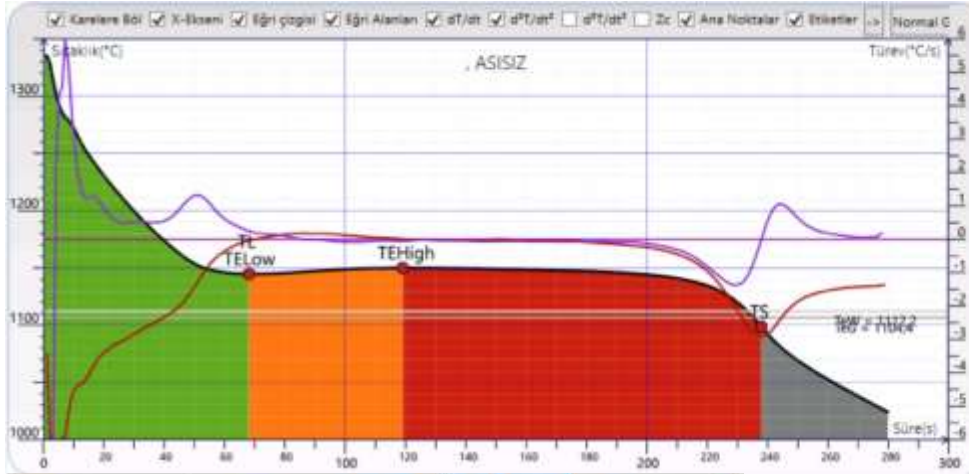
ACEL BUCT

ACEL Doğrulama Fonksiyonu, sıvı metal hedef ACEL değerine ulaşmak için, bir sonraki batch'e ne kadar karbon verici, FeSi yada çelik atılmasını otomatik olarak tavsiye eder.

# Metalurjik Proses Kontrol



- ATAS\_Metstar Proses Tavsiyecisi Fonksiyonu



Parmaklı

MQ = 71 !

ACEL = 4,26

Gösterge	Min.	Mevcut	Maxi	Parmaklı
TL	1139.0	1144.7	1155.0	
TES	0.0	1144.7	0.0	
dT/dt TES	-2.00	-0.04	0.00	
S1	0.0	0.0	30.0	
TELow	1124.0	1144.7	1155.0	
R	1.0	5.3	15.0	
GRF1	70	77	110	
GRF2	30	50	65	
dT/dt TS	-3.50	-2.91	-2.50	
TS	1000.0	1098.6	1105.0	

İPG yap

1008,2°C

364 F.GÖV

ACEL

C

TL

S1

TELow

R

Micro

26.03.2018 13:15

**Process Advisor**

Recalescence value is high.

- Check pre-inoculation. If necessary increase pre-inoculation.
- Check base iron. If necessary add pig iron to ladles.
- TL value is low. Check %C and Si.
- Add carbon to ladle.

Tamam

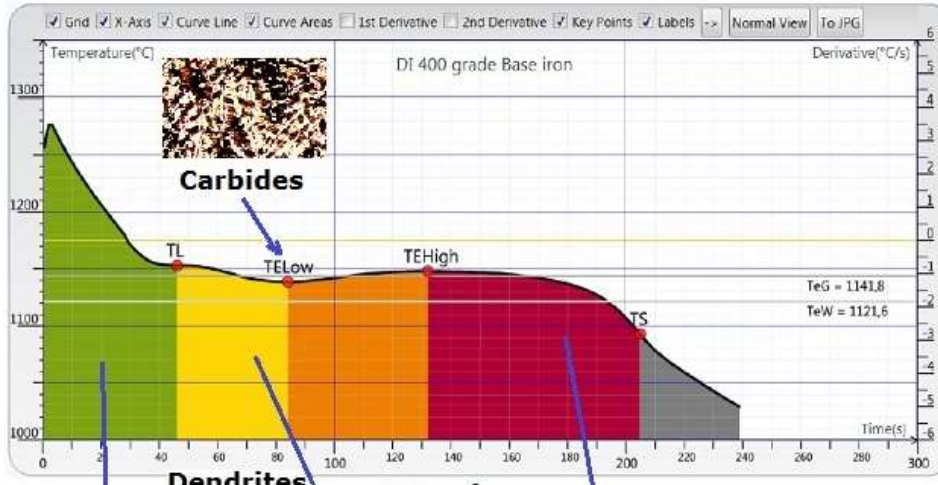
Other

Proses tavsiyecisi, döküm operatörünün bir sonraki pota ile sıvı metalin ne şekilde düzeltileceği kararını vermesine yardımcı olur. Edinilen tecrübeler ile parça ve proses özelinde manual olarak sisteme kayıt edilir.

# Metalurjik Proses Kontrol



## • Uygulama 1 \_ Makro Çekinti

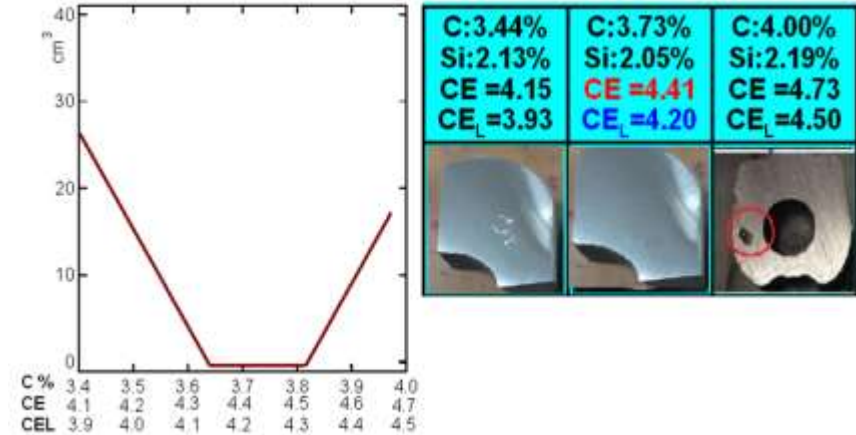


Outer Sunks      Macro Shrinkage      Micro Shrinkage

Feed metal can be supplied from feeder (riser)

When the solidification has passed TELow external feeding is not possible any longer. From this point, sufficient expansion caused by precipitation of graphite is needed to avoid micro shrinkage.

## Çekinti & ACEL



## Max. Ötektik Grafit Koşulları

- Karbon Sabit;
- Silis ile ötektik kompozisyona kadar artar
- Silis Sabit ;
- Karbon ile ötektik kompozisyona kadar artar
- Ötektik kompozisyonda max ötektik grafit sayısına, yüksek karbon, düşük silis ile ulaşılır.

# Metalurjik Proses Kontrol



- Uygulama 1 \_ Makro Çekinti (Besleyici Boğazı)

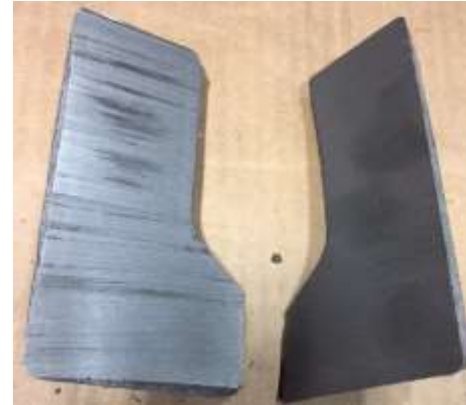
PRODUCTION DATE	Production 1	Production 2	Production 3	Production 4	Production 5
% C	3,68	3,71	3,75	3,73	3,79
% Si	2,23	2,19	2,14	2,2	2,13
% Mg	0,034	0,032	0,033	0,032	0,035
% Scrap Rate	5,4	4,3	2,7	0,1	3,9

Kimyasal Analiz limitler içerisinde !

Besleyici boğazında çekme



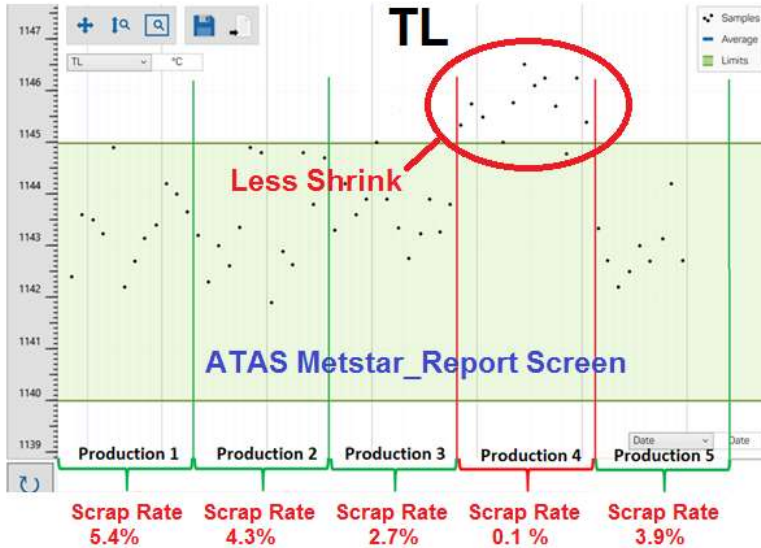
Çalışmayan besleyici



# Metalurjik Proses Kontrol



- Uygulama 1 \_ Makro Çekinti (Besleyici Boğazı)



Çalışan Besleyici

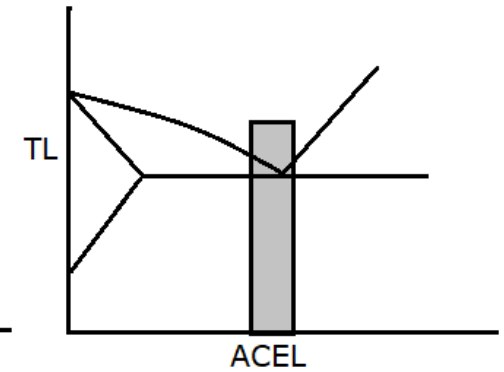
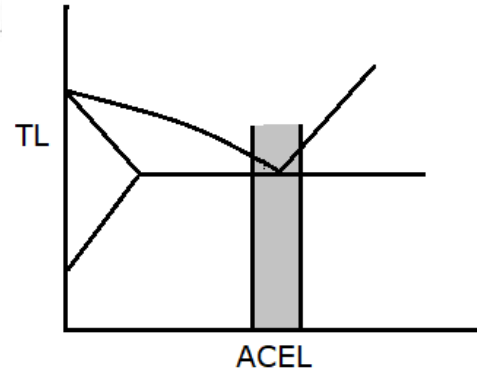


ATAS Limitleri (Önce)

	Min	Max
TL	1140	1148
Telow	1142	1148
R	2	5
GRF 1	75	110
GRf 2	20	50
TS	1100	1115

ATAS Limitleri (Sonra)

	Min	Max
TL	1143	1147
Telow	1140	1147
R	2	5
GRF 1	75	110
GRf 2	20	50
TS	1100	1115



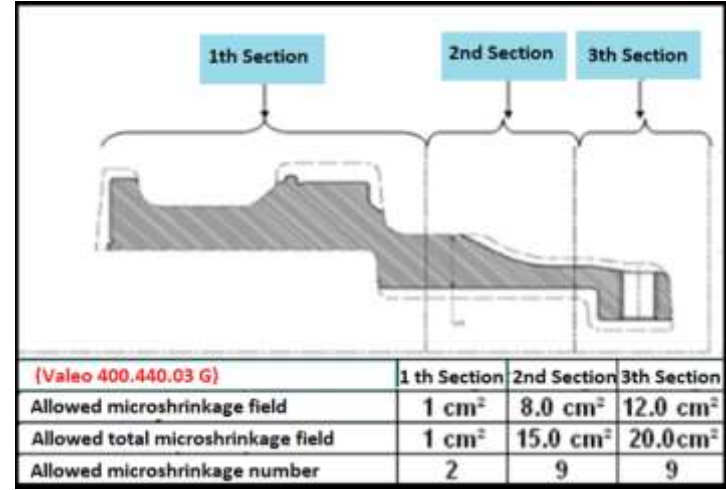
TL ↑ = ACEL ↓  
Hipoötekteğe yakın,  
Çekme YOK

# Metalurjik Proses Kontrol



- Uygulama 2 \_ Mikro Çekinti

	Production 1	Production 2	Production 3	Production 4	Production 5
% C	3,77	3,73	3,79	3,72	3,84
% Si	2,15	2,11	2,12	2,19	1,98
% Mg	0,031	0,029	0,03	0,032	0,029
PPM (machining)	<b>5850</b>	<b>8920</b>	<b>3850</b>	<b>11200</b>	<b>650</b>
	NOK	NOK	NOK	NOK	OK



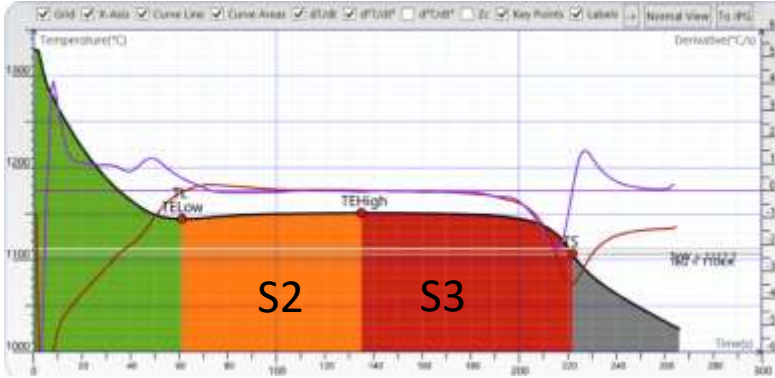
İşleme sonrası çekinti , PPM değeri kabul edilebilir değil, Müşteri ayırım ve sakat maliyeti yüksek.



# Metalurjik Proses Kontrol



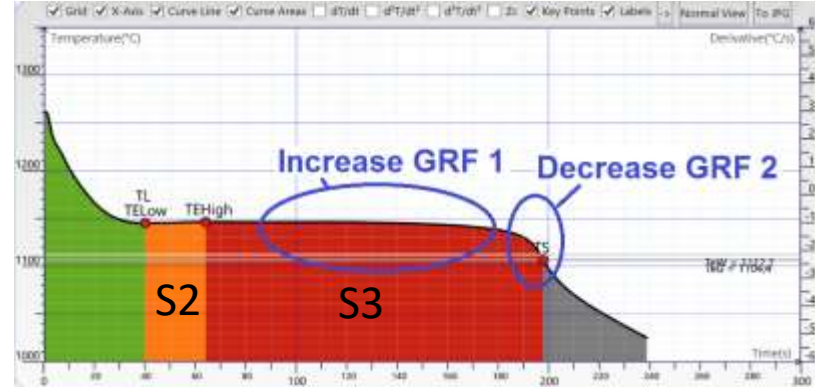
## • Uygulama 2 \_ Mikro Çekinti



**Mikro Çekinti**

**Önce**

	Min	Max
<b>TL</b>	1142	1148
<b>Telow</b>	1140	1148
<b>R</b>	2	5
<b>GRF 1</b>	60	80
<b>GRF 2</b>	25	55



**Mikro Çekinti YOK**

**Sonra**

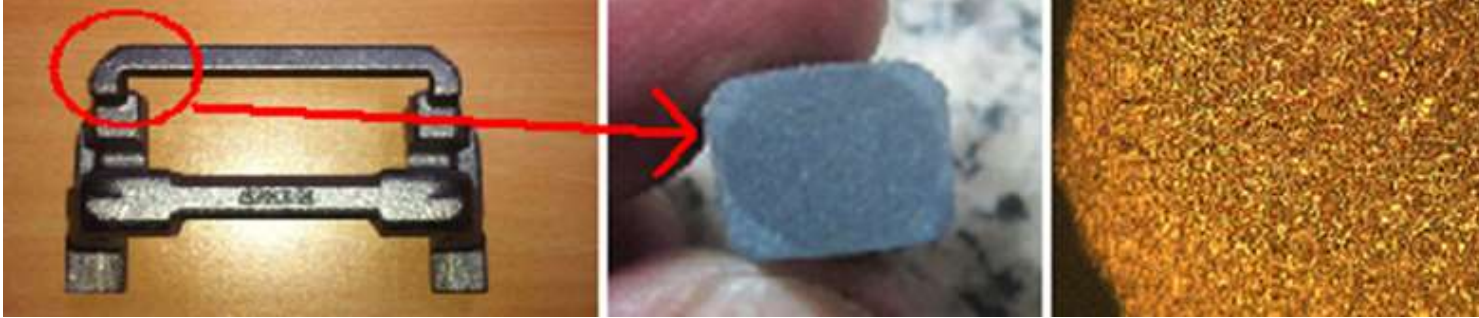
	Min	Max
<b>TL</b>	1142	1148
<b>Telow</b>	1140	1148
<b>R</b>	2	5
<b>GRF 1</b>	80	120
<b>GRF 2</b>	20	40

Çekintinin Engellenmesi için : % C ↑ % Si ↓ % Mg, mümkün olduğunca düşük, Yüksek GRF 1, Düşük GRF 2 , R (sınırlı), Yüksek TS. Katılaşma Ötektik Olmalı.

# Metalurjik Proses Kontrol



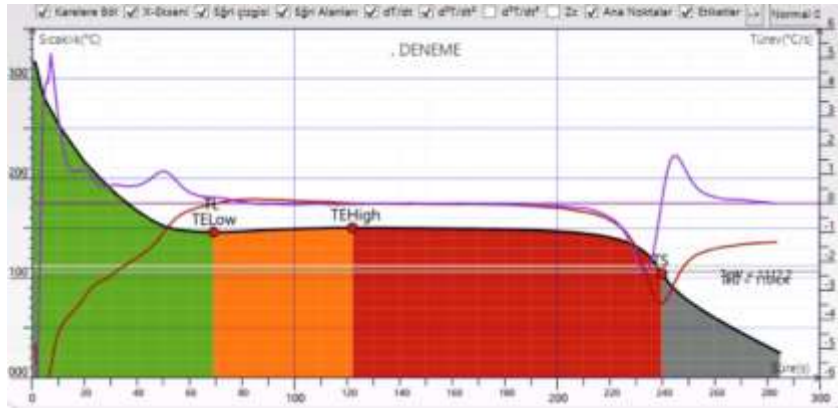
- Uygulama 3 \_ İnce Kesitte Sementit Yapı



% C : 3,65 – 3,80

% Si : 2,20- 2,40

Sıcaklık : 1410 - 1430



Güçbirge	Min	Max	Maks	Ferrit
TL	1146,0	1148,0	1147,0	
TES	1311,0	1148,0	1322,0	
dT/m TES	-2,00	-0,55	0,00	
Si	0,0	0,0	0,0	
TELow	1146,0	1148,0	1147,0	
R	1,0	4,3	6,0	
GRF1	70	81	120	
GRF2	25	32	85	
dT/m TS	-3,50	-3,48	-2,50	
TS	1100,0	1104,5	1120,0	

Numune kabına %0,1 aşılama eklenerek ölçülen soğuma eğrisi

Kimyasal Analiz ve ATAS Dataları UYGUN

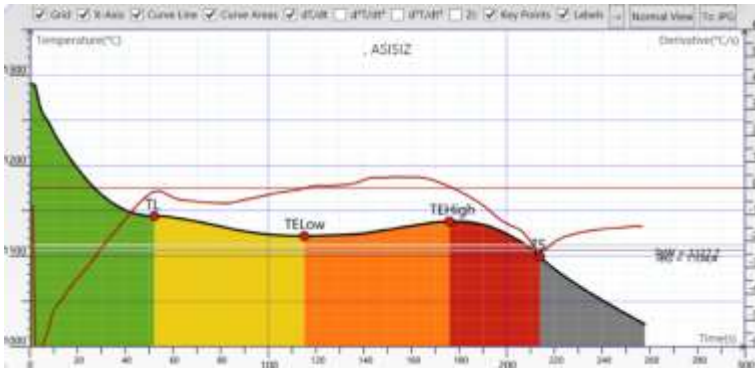
**Fakat SEMENTİT !!**

# Metalurjik Proses Kontrol



## • Uygulama 3 \_ İnce Kesitte Sementit Yapı

Baz metal termal dataları inceendiğinde, Telow'un oldukça düşük olduğu tespit edildi. Düşük Çekirdeklenme !!



Telow : 1133  
R : 16,3

Saatlik metal tüketimi 4 Ton.



Telow :1133

Uzun bekleme zamanı çekirdek seviyesini düşürüyor.

- Bu parça üretiminde metal ergitme batch'leri azaltıldı.
- Sfero Piki kullanımı %10'dan % 15'e çıkartıldı.
- Sfero tretmanı sonrasında, transfer potalarına döküm öncesi % 0,2 ön-aşılama malzemesi kullanımına geçildi.



Telow :1138

# Metalurjik Proses Kontrol



- Uygulama 4 \_ Plaka Verimi Artırma

**Mevcut Plaka Verimi= % 48**

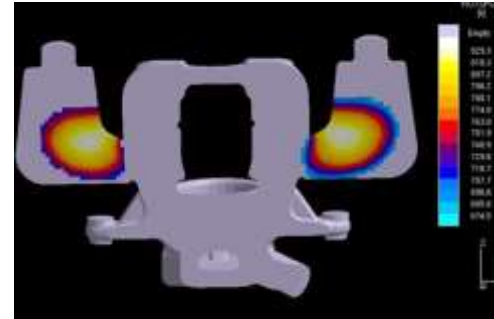
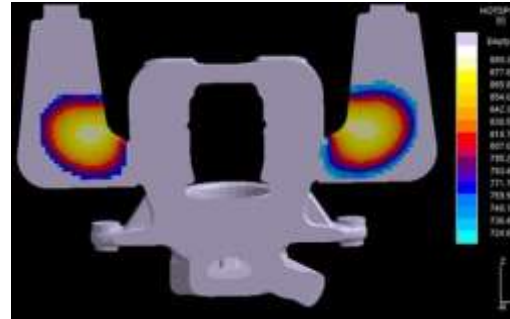
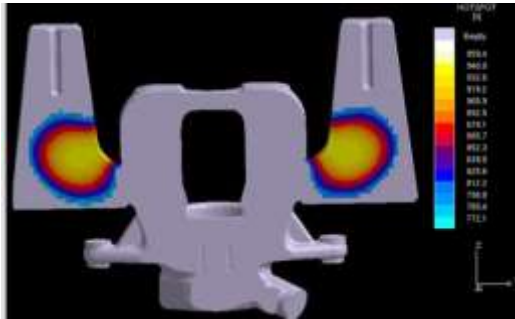
Yıllık Üretim : 100.000 kalıp

Salkım Ağırlığı : 30 kg

Besleyici 1: Mevcut Besleyici= 1,6 kg

Besleyici 2: Küçültüldü = 1,4 kg

Besleyici 3: Küçültüldü = 1 kg

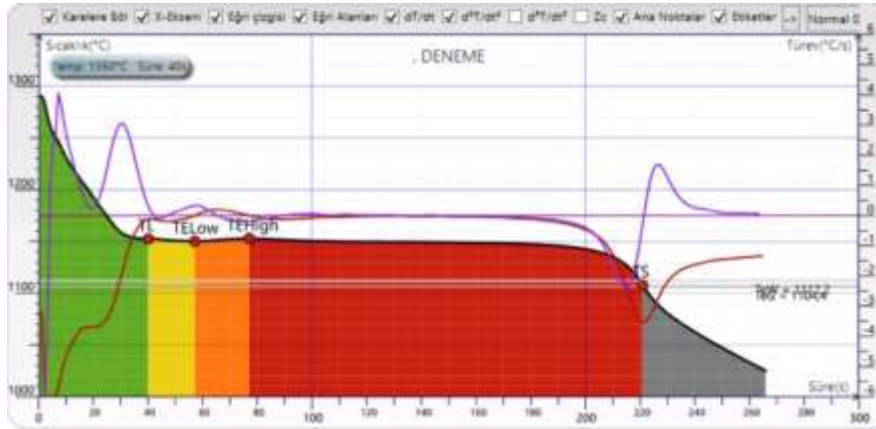


# Metalurjik Proses Kontrol



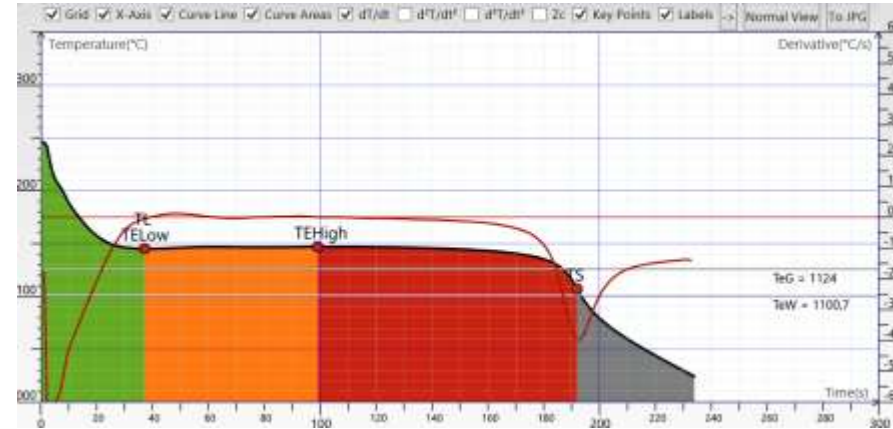
## • Uygulama 4 \_ Plaka Verimi Artırma

### 1. ve 2. Denemelerde Mikro Çekinti

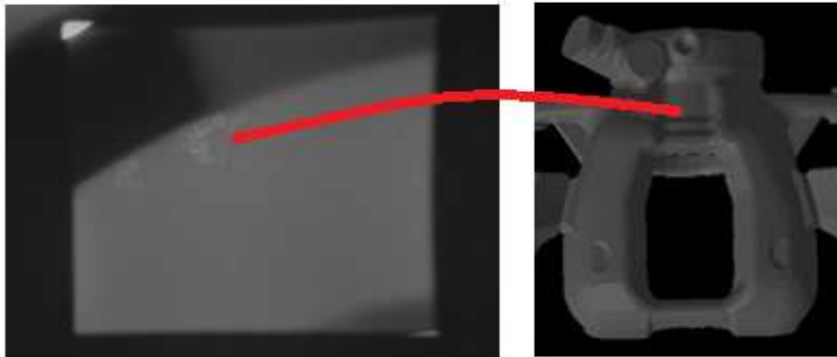


Hypoeutectic

### 3. Deneme Çekinti Yok



Eutectic



% C artırılıp, % Si azaltıldı. Ötektik katılaşma sağlanarak S1 alanı küçültüldü. Final metal 'R' değerine bağlı olarak % 0,1 RE bazlı ön-aşı uygulamasına geçildi.

**İyileştirme Sonrası Plaka Verimi % 52**  
**Yıllık sıvı metal kazancı : 120.000 kg**

# Metalurjik Proses Kontrol



## • Uygulama 5 \_ Aşılama Seçimi ve Miktarı

	Numune	TL	TElow	R	GRF1	GRF2	TS
	Aşılansız	1157,31	1122,66	8,98	59,0	59,4	1089,76
0,10%	% 45 Si-%2 Ca-%2 La	1157,37	1132,88	7,89	49,6	122,8	1079,75
	%70 Si-%1 Ca-%4 Al	1159,33	1143,47	2,00	77,2	29,2	1101,23
	%73 Si-%1 Ca-%1 Ce	1159,89	1145,59	0,98	79,3	27,2	1101,93
0,15%	% 45 Si-%2 Ca-%2 La	1156,04	1137,66	7,39	55,3	87,7	1084,88
	%70 Si-%1 Ca-%4 Al	1154,91	1146,35	1,37	84,9	22,3	1104,17
	%73 Si-%1 Ca-%1 Ce	1159,57	1148,07	0,54	86,2	25,6	1104,43
0,20%	% 45 Si-%2 Ca-%2 La	1155,06	1140,12	3,83	68,6	59,8	1091,82
	%70 Si-%1 Ca-%4 Al	1156,91	1146,74	2,05	79,6	25,0	1105,37
	%73 Si-%1 Ca-%1 Ce	1154,45	1145,94	1,07	87,8	23,5	1103,74

**Artan Aşılama ile;**

**TL** : Düşmeli yada Eşit

**Telow** : Yükselmeli

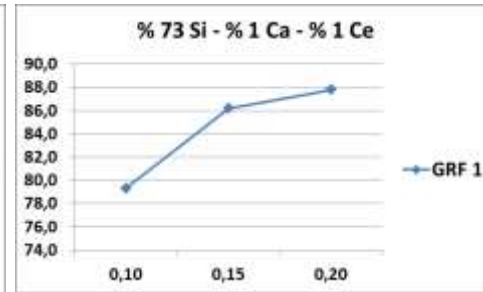
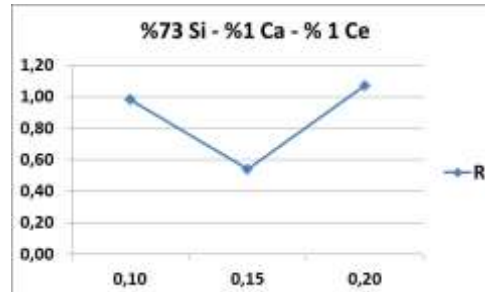
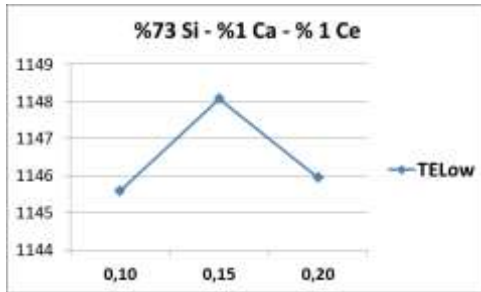
**R** : Düşmeli

**GRF 1** : Yükselmeli

**GRF 2** : Düşmeli

**TS** : Yükselmeli

- CaAl ve Ce bazlı aşılama her oranda kullanılabilirken, La bazlı aşılama %0,2 ve yüksek oranlarda etki göstermektedir.



**İdeal aşılama kullanım oranı % 0,15 olmalıdır.**

# Metalurjik Proses Kontrol



- Üretim Planlama

- Üretimde aktif 350 model bulunmaktadır.
- Üretim veriminin artırılabilmesi için Setup miktarları azaltılarak, parça geçiş süreleri kısaltılacak şekilde planlama yapılması önceliklidir.
- Tüm aktif modellerin sakat riskleri değerlendirilmiş, kimyasal analize ve ATAS datalarına göre sınıflandırma yapılmıştır..

Pattern No	Risk Explain	Group No
1	Cementite Risk	1
2	Macro Shrinkage Risk	3
3	No Risk	5
4	Cementite Risk	1
5	Micro Shrinkage Risk	2
6	No Risk	5
7	Micro Shrinkage Risk	2
8	Macro Shrinkage Risk	3
9	Outer Sunk Risk	4
10	No Risk	5

Risk Explain	Total Pattern
Micro Shrinkage Risk	41
Macro Shrinkage Risk	35
Cementite Risk	22
Outer Sunk Risk	9
No Risk	57

# Metalurjik Proses Kontrol



- Üretim Planlama

Production Planning		Line 1	Line 2
Monday	Shift 1	5	5
	Shift 2	4	4
	Shift 3	3	3
Tuesday	Shift 1	3	5
	Shift 2	5	1
	Shift 3	1	1
Wednesday	Shift 1	1	1
	Shift 2	5	1
	Shift 3	5	5
Thursday	Shift 1	2	2
	Shift 2	2	2
	Shift 3	2	2
Friday	Shift 1	5	2
	Shift 2	4	5
	Shift 3	4	3
Saturday	Shift 1	3	3
	Shift 2	3	5
	Shift 3	5	5

- Daha az SETUP
- Model geçişlerinde daha az sakat.
- Daha az önaşılama (Her parçaya ihtiyaç yok)
- Daha az lengo dökümü.

Kazançlar,

- **ENERJİ**
- **ALAŞIM ELEMENTLERİ**
- **VERİMLİLİK ARTIŞI**



Teşekkür Ederim