

技術情報

熱分析による鑄鉄成分の推定



日本サーモテック株式会社

2006/9/20 作成

Copyright (C) 2006 Japan Thermo Tech co.,. All rights reserved.

目 次

熱分析による鑄鉄成分の推定

- 1. 炭素当量（CE 値）の推定 p1
 - 1-1. 亜共晶ねずみ鑄鉄の元湯
 - 1-2. CV 及び FCD の過共晶元湯
- 2. 炭素含有量の推定 p4
- 3. 珪素含有量の推定 p5
- 4. 成分分析と誤差 p6
- 5. 参考文献 p6

熱分析による鑄鉄成分の推定

はじめに

鑄鉄は多成分合金ですが、含有炭素量が鑄鉄の性質を見極める上で最も重要なことです。炭素以外の元素を炭素に換算し、Fe-C 二元系合金として鑄鉄を評価することが簡便で実用的な方法として普及していますが、このとき使用される指標が炭素当量（CE 値）です。炉前での溶湯管理はこの CE 値を主に管理し、これを測定するための機器が CE メータと呼ばれるものです。

CE メータは熱電対を組込んだ小型カップに溶湯を注ぎ込みその冷却曲線から CE 値を測定します。更に、シェルカップにテルルを塗布することでレデブライต์凝固させて白銑共晶温度を測定することで炭素含有量および珪素含有量も推定します。日本ではおよそ 40 年前にリーズ&ノースラップ社の CE メータが販売され、その後パーソナルコンピュータを利用した熱分析機器が普及しています。

ここでは、これまで提唱されている CE 値や %C、%Si の回帰式を紹介します。

熱分析による鑄鉄成分の推定

1. 炭素当量 (CE 値) の推定

1-1. 亜共晶ねずみ鑄鉄の元湯

以下の回帰式が提唱されている。

Chaudhari :

$$T_L^F (^\circ F) = 2929 - 198.7(\%C + 0.22\%Si)$$

$$T_L^F (^\circ C) = 1609.4 - 108.7(\%C + 0.22\%Si)$$

ここで、 T_L^F はオーステナイト液相面温度 (初晶温度)。

Moore:

$$T_L^F (^\circ C) = 1650 - 121.5(\%C + 0.22\%Si + 0.54\%P)$$

R.W.Heine :

$$T_L^F (^\circ C) = 1569.0 - 97.3(\%C + \frac{1}{4}\%Si)$$

リーズ&ノースラップ社は可鍛鑄鉄と低磷亜共晶ねずみ鑄鉄に関して初晶温度と炭素当量の関係を表にまとめている。

この表から、初晶温度の範囲に従って求めた回帰式を下表に示す。

ここで、a、bは CE 値 = a+b* (初晶温度) の係数を示す。

初晶温度	a	b
1268℃以上	15.344	-0.0096
1232℃以上 1268℃未満	17.041	-0.0109
1154℃以上 1232℃未満	14.690	-0.0090
1143℃以上 1154℃未満	9.495	-0.0045
1143℃未満	16.924	-0.0110

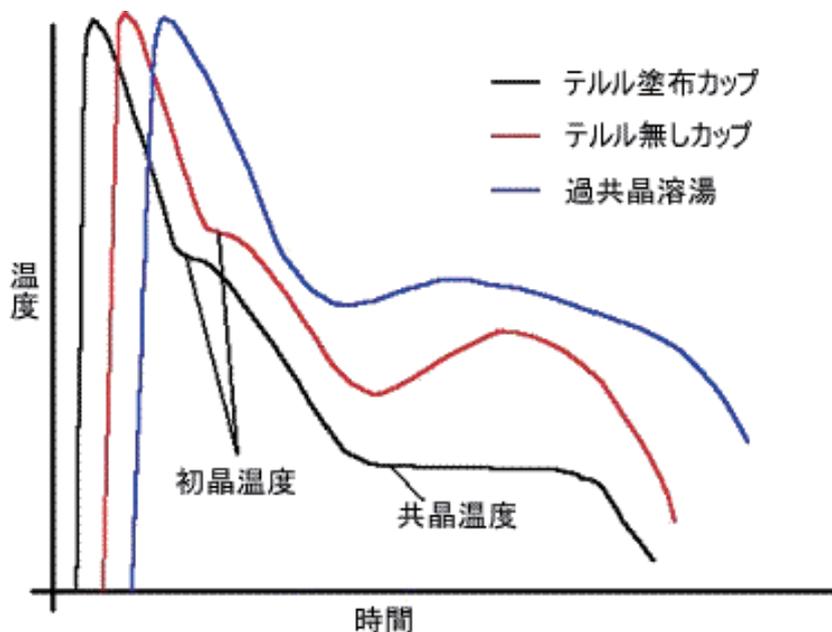
熱分析による鑄鉄成分の推定

1. 炭素当量 (CE 値) の推定

1-2. CV 及び FCD の過共晶元湯

ダクタイル鑄鉄や CV 黒鉛鑄鉄の元湯は CE=4.3 ~ 4.6 の過共晶となっている場合があり、この範囲では初晶反応が共晶反応とほぼ同時に起こるため [下図 a1:] の青線のように初晶温度の測定は通常の場合、不可能となります。

a1: 熱分析曲線の代表的な例



ただし、CV 黒鉛鑄鉄のように 0.010% ~ 0.030% のマグネシウムが含有量している場合、過冷が起こり図 1 の赤線のような冷却曲線となります。このときの初晶温度は共晶反応で発生する凝固潜熱の影響を受けずに安定したものとなり、CE 値と良い相関を持ちます。もう一つの方法としては、図 1 の黒線のようにカップにテルルを塗布したものをを用いる方法ですが、高炭素・高珪素の溶湯のためカップ内の溶湯を白銹化するのは、テルルの塗布量が多くても困難です。

仮に初晶温度が首尾よく表示されても、大量のテルルを使用することで初晶温度が低下します。

しかもテルルの歩留まりは安定しづらいので初晶温度そのものに大きな誤差を含むこととなります。

結局、これらの溶湯の CE 値を測定するにはカップ内にミッシュメタルまたは MgNi 合金のように反応の穏やかな球状化剤でカップ (あるいはスプーン) 内の溶湯を CV 黒鉛鑄鉄の溶湯にすることで可能となります。このときの CE 値を算出する推定式は前節の表のような 1 次関数となります。

熱分析による鑄鉄成分の推定

2. 炭素含有量の推定

Moore は亜共晶ねずみ鑄鉄に関して、白鉄凝固させた熱分析曲線（テルル塗布カップ）から得られた結果と化学分析値の間の重回帰分析を行うことで、次の2式を得、これらを用いて式（3）を得ました。

式：(1)

$$T_L^r (\text{°C}) = 1650 - 121.5(\%C + 0.22\%Si + 0.54\%P) \quad r=0.995$$

式：(2)

$$T_E^w (\text{°C}) = 1104 + 9.8(\%C - 1.23\%Si - 3.00\%P) \quad r=0.989$$

式：(3)

$$\%C = 0.01693T_E^w - 0.00796T_L^r - 6.05$$

ここで、 $T_L^r (\text{°C})$ 、 $T_E^w (\text{°C})$ は初晶温度及び白鉄共晶温度です。

上式は% C：3.05%～3.76%、% Si：0.61%～2.88%、% P：0.01%～1.92%の範囲の溶湯で実験はおこなわれ、式(3)は95%信頼性限界で±0.09% Cの誤差を含みます。

他の研究者による回帰式も発表されていますが、実用的には式(3)を用いて発光分析等の分析結果と回帰分析をすることで検量線を用いれば十分に実用になります。

熱分析による鑄鉄成分の推定

3. 珪素含有量の推定

Moore は炭素含有量の推定と共に珪素含有量についても式 (4) を得ています。

式: (4)

$$\%Si = 86.79 - 0.00566T_L^C - 0.07016T_F^W - 2.45\%P$$

上式は%P に依存し、含まれる誤差は $\pm 0.3\%$ ですが、%P が 0.05% 以下である場合には $\pm 0.14\%$ まで低減出来ます。

この場合も実用的には式 (4) を用いて溶湯種別ごとに検量線を引くことで多少誤差を低減して使用できます。

熱分析による鑄鉄成分の推定

4. 成分分析と誤差

Moore は炭素含有量の推定と共に珪素含有量についても式 (4) を得ています。

CE 値については、リーズ&ノースラップ社の表を、%C には式 (3) を、%Si には式 (4) を適用した場合、 $T_L^I (^{\circ}\text{C})$ 、 $T_E^W (^{\circ}\text{C})$ の 1°C の誤差はそれぞれ、およそ 0.009%、0.009%、0.076% と見積もることが出来ます。

従って、カップ内に組み込まれた熱電対の素線管理は大変重要な要因となります。

また、式 (4) から明らかのように %Si では共晶温度への感度が大きく共晶温度の決定には注意を払う必要があります。

アナログの記録計であっても、デジタルの PC 利用の計器であっても、温度判定の一定の基準を設けて常に一定になるようにすべきです。 デジタル計器の場合は離散値として読み取られた温度データを平滑化処理し微分値を求め更には 2 階微分値で決定されます。 図 2 は冷却曲線の初晶温度の代表的な形状を示します。

この [下図 a2:] のように同じ規格の溶湯でほぼ同等の成分あっても、配合比や配合材料のロット、保持時間によって検出される初晶温度停滞点付近での形状は変わります。 同じことが共晶温度についても言えます。

a2: 初晶温度の色々なパターン



5. 参考文献

[1] ダブリュー・イー・カーナー (株): 「TECTIP-K 溶湯管理の手引き」

[2] Moore A. Foundry Trade Journal 1971, 131, 885.