

高分解能 X 線 CT による厚肉球状黒鉛鑄鉄の三次元組織観察

東芝機械(株) ○藤本 亮輔

東芝 IT コントロールシステム(株) 富澤 雅美, 原 拓生 日本ビジュアルサイエンス(株) 滝 克彦

1. 緒言

厚肉球状黒鉛鑄鉄には薄肉組織には見られない様々な異常黒鉛形態が観察される。例えば共晶凝固時間が長くなることで晶出するチャンキー黒鉛が代表的な黒鉛組織で、引張強さ、伸びを低下させることが知られている。また、チャンキー黒鉛以外にも共晶凝固後半の最終凝固部には濃縮された種々元素の影響で様々な異常黒鉛形態が観察される。これらの異常黒鉛は複雑形状で晶出し、二次元断面観察においては様々な形状で観察される。これまで黒鉛組織の二次元観察結果については報告されているが、三次元の全体像として捉えた報告は多くない。

そこで本研究では、肉厚の異なる厚肉黒鉛鑄鉄を高分解能 X 線 CT で撮像し、黒鉛の三次元構造を観察、比較することで、特徴的な組織の差異と形成過程を明らかにすべく考察を試みた。

2. 実験方法

低周波溶解炉にて元湯を溶解し、取鍋にてサンドイッチ法による球状化処理を行い、最終目標組成を C:3.3%, Si:2.7%, Mn:0.3%, P:0.03%, S:0.01%, Mg:≥0.04%, RE:0.02% (mass%を%と表記)とした溶湯を3種類の厚肉鑄型に注湯した。鑄鉄鑄物の寸法は(小:TP-300)300×300×500mm, (中:TP-500)500×500×500mm, (大:TP-1500)1500×1500×400mmである。X線CT観察用として、鑄物中央部より2×2×30mmの試験片を各4本採取し、計12本を製作した。

高分解能 X 線 CT として東芝 IT コントロールシステム製 TOSCANER-32300μFD(最高管電圧 230kV のマイクロフォーカス X 線発生装置, 有効視野 200×200mm の FPD<フラットパネル X 線ディテクタ>を搭載)を使用した。試験片に対して最高の分解能を期待するために、管電圧と管電流を 200kV-50μA, 1 ビューあたりのサンプリング時間を 166ms として1周 3000 ビューのコーンビームスキャンによって、試験片の長手方向に1本あたり 600 スライスの断層像を得た。

そして一連の X 線 CT 画像を読み込み、2.9×2.9×3.0μm/画素, 視野サイズ 1.74×1.74×1.80mm の矩形領域内の黒鉛組織を三次元的に抽出の上、球相当径によって5段階に分類/色分けし、三次元画像解析ソフトウェア ExFact VR 2.0+ボイド解析オプション(日本ビジュアルサイエンス製)を用いて、画像解析と三次元可視化を行った。

3. 実験結果および考察

図1にはTP-500のX線CT画像から読み込んだ二次元断面像を示す。図中矢印方向からZ面を観察すると黒鉛組織は点線部のように崩れた球状黒鉛が存在していると判断するが、実際には広域に形成したチャンキー黒鉛の一部である。このように厚肉球状黒鉛鑄鉄における二次元観察だけでは黒鉛組織全体像の把握は難しい。

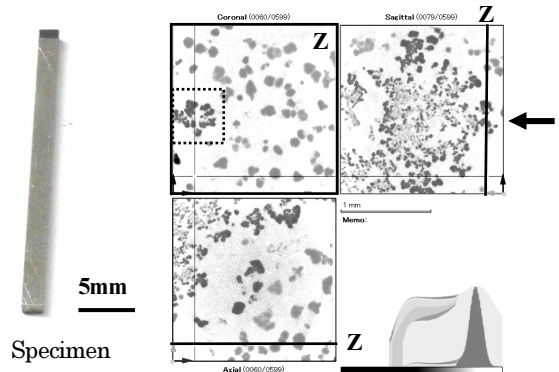


図1 TP-500 試験片と二次元断面像

表1に各試験片の三次元画像と球相当径 200μm を閾値とした黒鉛粒子の体積分布を示す。球相当径 15~200μm では球形の粒子が数多く分布するが、球相当径が 200μm 以上に増加すると複雑形状を呈し、球形を維持した粒子が少なくなる。さらに鑄物寸法が大きくなるに従って、表面積が最小の球状であった黒鉛組織がサンゴ状の複雑な三次元構造を形成するようになることが明らかになった。これは冷却速度が低下し、凝固時間が長くなった結果、表面積がより大きくなるように黒鉛組織が形成されと考えられる。

表1 黒鉛粒子の三次元画像と体積分布

鑄物寸法	小	中	大
	TP-300	TP-500	TP-1500
球相当径 ☉=⊖			
<200μm	90%	35%	10%
≥200μm	10%	65%	90%
GV	8%	13%	14%

GV: 視野内の黒鉛総体積率

4. 結言

球状黒鉛鑄鉄の肉厚が増加すると黒鉛組織の三次元構造は冷却速度の低下により球相当径 200μm 以上の粗かつ複雑形状の黒鉛組織が増加することを確認した。