

オーステンパ球状黒鉛鑄鉄の衝撃特性に及ぼす熱処理条件の影響*

高川 貫仁**

低合金の球状黒鉛鑄鉄をオーステンパ熱処理し、衝撃特性に及ぼすオーステンパ熱処理条件の影響について調べた。処理温度 300 °C ではマルテンサイト組織が多く衝撃吸収エネルギーは低かった。処理温度 350 °C 及び 400 °C では、保持時間の経過に伴い塊状の残留オーステナイト量が減少し衝撃吸収エネルギーは向上したが、30 分を超えると低下した。処理温度 350 °C、保持時間 30 分の条件において衝撃吸収エネルギーは最大となり、107 J/cm² が得られた。

キーワード：オーステンパ球状黒鉛鑄鉄、衝撃特性、残留オーステナイト、ベイナイト

Effect of Heat Treatment Condition on Impact Characteristics of Austempered Ductile Cast Iron

TAKAGAWA Takahito

Key words : austempered ductile cast iron, impact characteristics, retained austenite, bainite

1 緒言

近年、輸送機器や産業機械等の鑄鉄部品は、環境負荷低減や作業性向上等の観点から、軽量化や衝撃荷重に対する安全性の向上が求められており、これに伴い、鑄鉄材料の高強度化のみならず、強じん化も求められている。

高強度の鑄鉄として、オーステンパ球状黒鉛鑄鉄(以下、ADI (Austempered Ductile Cast Iron) と記す)がある。ADI は、球状黒鉛鑄鉄をオーステンパ熱処理することにより得られ、鉄基地組織は熱処理により強度と延性を兼ね備えたベイナイト組織になるため、合金鋼に匹敵する強度を持ちながら延性にも優れるのが特徴である。しかし球状黒鉛鑄鉄は炭素やシリコン含有量が高いため、オーステンパ熱処理後、多量のオーステナイトが残留する。共晶セル粒界に形成される塊状の残留オーステナイトは、応力誘起マルテンサイト変態しやすく破壊の起点になりやすいため、じん性の向上にはこれの制御が重要と言われている^{1), 2)}。

本研究では、耐衝撃性に優れる ADI を開発することを目的に、低合金の球状黒鉛鑄鉄を種々の条件でオーステンパ熱処理し、金属組織及び衝撃吸収エネルギーを求め、衝撃特性に及ぼすオーステンパ熱処理条件の影響について調べた。

2 実験方法

2-1 供試材及び衝撃試験片

供試材は、目標組成 3.9 mass% C - 2.5 mass% Si - 0.2 mass% Mn の黒鉛球状化処理を行った約 5 kg の鑄鉄溶湯を、165×100×18 mm の板状供試材採取用の CO₂ 鑄型に注湯し作製した。溶解は 3 回行ない 3 つの供試材を

表 1 代表的な供試材の化学組成 (mass%)

C	Si	Mn	P	S	Cr
3.7	2.5	0.26	0.03	0.01	0.04

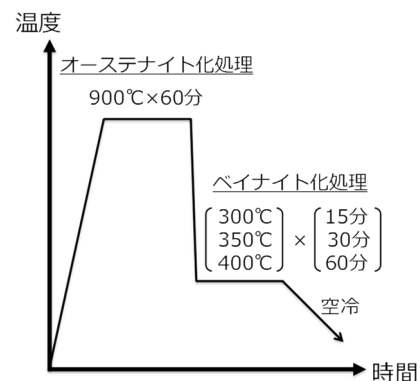


図 1 オーステンパ熱処理の工程図

作製した。得られた供試材の代表的な化学組成を表 1 に示す。得られた供試材 1 点から、10×10×55 mm の溝無し衝撃試験片を 9 本採取し、計 27 本の衝撃試験片を作製した。代表的な 9 本の衝撃試験片の平均の黒鉛粒数は 88 個/mm²、黒鉛平均粒径は 41 μm、黒鉛球状化率は 86 % である。

2-2 熱処理条件

衝撃試験片のオーステンパ熱処理は、図 1 に示す熱処理工程により行った。まず 900°C の大気炉において 1 時間保持しオーステナイト化処理を行った後、300~400 °C

* 平成 30 年度 技術シーズ創生研究事業 (育成ステージ)

** 素形材技術部 (現 素形材プロセス技術部)

の金属スズ浴に急冷し、スズ浴にて 15~60 分保持しベイナイト化処理を行なった。所定時間保持後、試験片を浴から取り出し空冷した。

2-3 衝撃試験

オーステンパ処理後の試験片にはスズや酸化被膜が付着しているため、サンドブラストにより表面を清浄してから衝撃試験に呈した。衝撃試験は、JIS Z 2242 に準拠しシャルピー衝撃試験機を用いて室温にて行なった。

2-4 組織観察

組織観察は、衝撃試験後、各熱処理条件につき平均的な衝撃値を示した試験片 1 本について、破断面から約 14 mm 離れた変形していない部分を切断し、その断面を研磨し観察した。黒鉛組織を観察後、3 % ナイタールにより腐食させ基地組織を観察し、さらに大気炉において 260 °C で 6 時間加熱し酸化着色させた。酸化着色により、

共晶セル境界の残留オーステナイト及び低炭素の残留オーステナイトから成るベイナイトは青色に、高炭素のオーステナイトから成るベイナイトは赤色に着色され、マルテンサイトは白色に残る。黒鉛組織及び酸化着色組織について、画像解析ソフトを用いて、黒鉛粒数、黒鉛平均粒径、黒鉛球状化率及び共晶セル境界の残留オーステナイト面積率を求めた。

3 結果及び考察

図 2 にナイタールで腐食した組織写真を示す。主な基地組織は、ベイナイト化処理温度(以下、処理温度と記す)300 °C では、細かい針状の下部ベイナイト及びさらに細かい針状のマルテンサイト組織、処理温度 350 °C では、針状の下部ベイナイト及び丸みを帯びた羽毛状の上部ベイナイト、またはその中間組織、処理温度 400 °C で

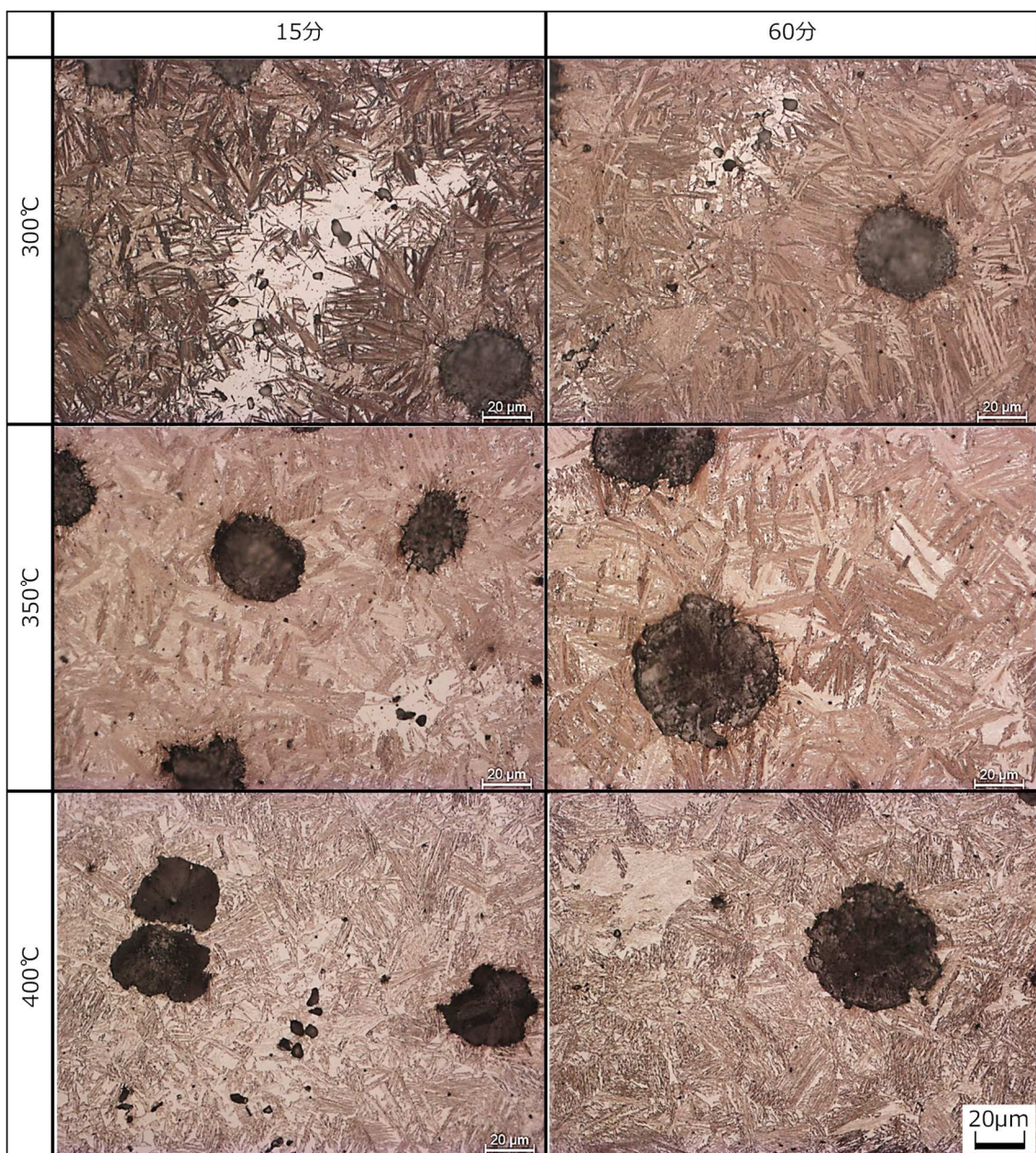


図 2 各条件でベイナイト化処理を行なった衝撃試験片の代表的な組織写真 (ナイタール腐食)

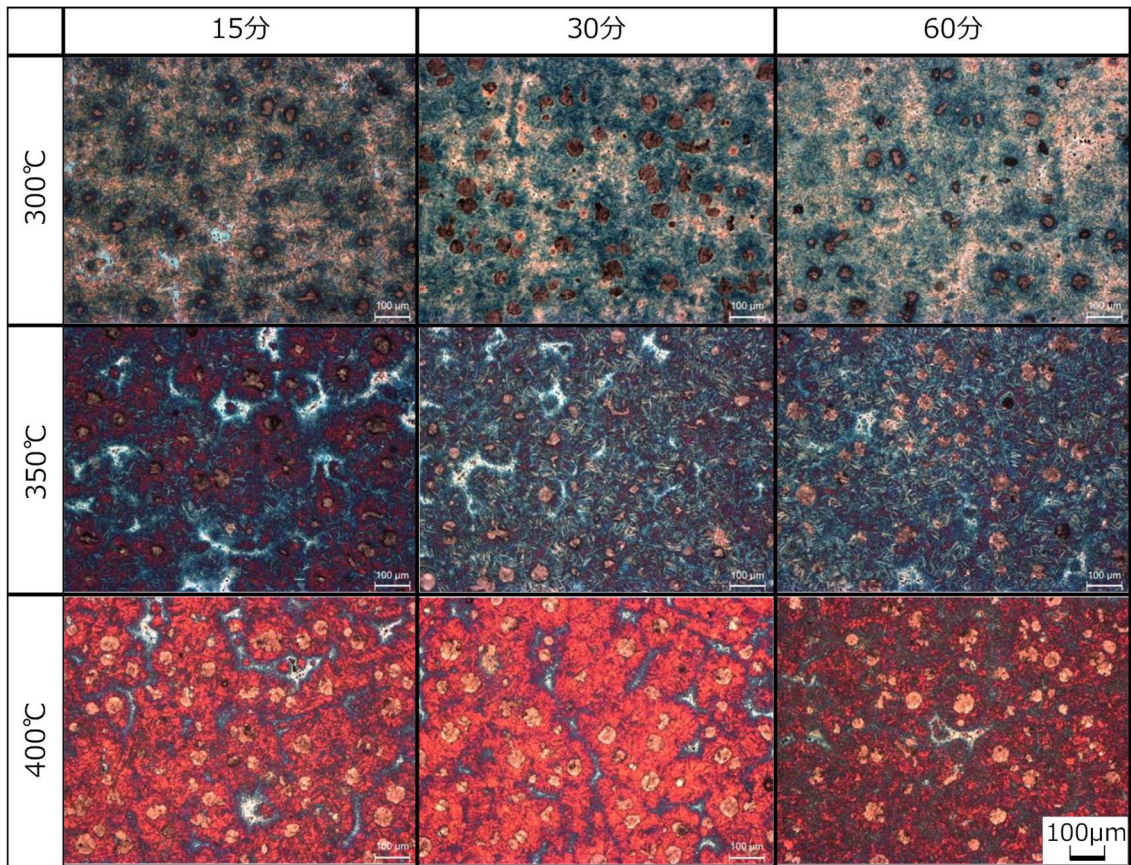


図3 各条件でベイナイト化処理を行なった衝撃試験片の代表的な組織写真（酸化着色）

は上部ベイナイトとなっていた。またベイナイト組織は、いずれの処理温度においても、ベイナイト化保持時間(以下、保持時間と記す)の経過に伴い長く太く粗大に成長した。またいずれの条件においても、共晶セル境界には塊状の残留オーステナイトが観察された。

図3に酸化着色させた組織写真を示す。処理温度300℃では、黒鉛周辺は青色に着色されたが、基地全体では白色部分が目立つため、黒鉛周辺は低炭素のオーステナイトから成るベイナイト組織であるが、全体ではマルテンサイト組織が多いことが分かる。そのため、保持時間60分においてもベイナイト化の反応が十分でないことが分かる。処理温度350℃では、黒鉛周辺は赤色と青色が混在した状態で着色され全体は青色に着色された。処理温度400℃では全体が赤色に着色され、処理温度が高くなるに従いベイナイト内のオーステナイトの炭素含有量が高くなり、よりマルテンサイト変態しにくい安定したオーステナイトになっていることが分かる。また処理温度350℃及び400℃のいずれにおいても、共晶セル境界には青色に着色された網目状及び塊状の残留オーステナイトが観察された。そして網目状及び塊状の残留オーステナイトは、保持時間が長くなるに従い減少し分断され、そのサイズも小さくなった。

図4に処理温度350℃及び400℃における保持時間

の経過に伴う共晶セル境界の残留オーステナイト面積率の変化を示す。なお、処理温度300℃の場合は、未着色部分があり二値化できず測定できなかったため、図示していない。共晶セル境界の残留オーステナイト面積率は、保持時間15分では5~7%であり、時間の経過に伴い直線的に減少し、60分では2~4%に減少した。また処理温度が高い方が、僅かに面積率は低かった。

図5に各処理温度における衝撃吸収エネルギーに及ぼす保持時間の影響を示す。処理温度300℃の場合、保持

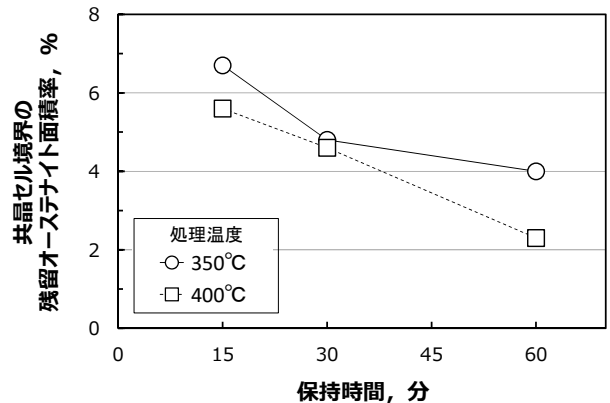


図4 保持時間経過に伴う共晶セル境界の残留オーステナイト面積率の変化

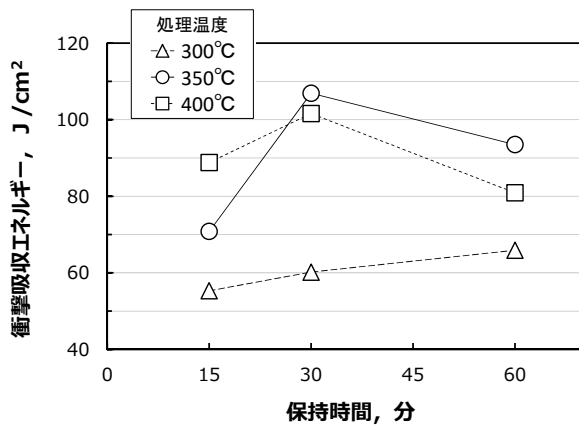


図5 各処理温度における衝撃吸収エネルギーに及ぼす保持時間の影響

時間の経過に伴い衝撃吸収エネルギーは高くなった。ただし最大で66 J/cm²と値は低く、保持時間経過に伴う増加幅も10 J/cm²と小さかった。処理温度350℃の場合、衝撃吸収エネルギーは、保持時間15分から30分にかけて71 J/cm²から107 J/cm²まで大きく増加したが、60分になると低下した。処理温度400℃の場合も、保持時間15分から30分にかけて89 J/cm²から102 J/cm²まで増加したが、60分になると保持時間15分の値を下回った。

処理温度300℃の場合は、組織観察結果より、共晶セル境界に塊状の残留オーステナイトが存在するだけでなく、硬くて脆いマルテンサイト組織が網目状に多く存在しているため、き裂が伝播しやすい状況であり、衝撃吸収エネルギーは低かったものと考えられる。

処理温度350℃及び400℃の場合は、保持時間経過に伴い共晶セル境界に網目状に存在した残留オーステナイトが分断し細分化され、さらに残留オーステナイト面積率も減少したため衝撃吸収エネルギーは増加したと考

えられる。一方、保持時間60分では、いずれの処理温度とも、衝撃吸収エネルギーが減少し、処理温度がより高い400℃の方が減少傾向は大きい。これは、保持時間の経過に伴いベイナイト化反応が進む一方で、基地組織であるベイナイト組織の粗大化が進行したためと考えられる。

4 結 言

低合金の球状黒鉛鋳鉄を種々のベイナイト化処理条件でオーステンパ熱処理し、金属組織及び衝撃吸収エネルギーを求め、衝撃特性に及ぼすオーステンパ熱処理条件の影響について調べた。結果は以下のとおりである。

- (1) 処理温度300℃では、保持時間60分においてもベイナイト化反応が十分に進まず、マルテンサイト組織が観察され、衝撃吸収エネルギーは最大で66 J/cm²と低かった。
- (2) 処理温度350℃及び400℃では、共晶セル境界に網目状の残留オーステナイトが観察されたが、保持時間の経過に伴い残留オーステナイトは細かく分断され、面積率も減少した。
- (3) 処理温度350℃及び400℃では、衝撃吸収エネルギーは保持時間の経過に伴い向上したが、30分を超えると低下した。これは、保持時間の経過に伴いベイナイト組織の粗大化が進行したためと考えられた。
- (4) 衝撃吸収エネルギーは、処理温度350℃、保持時間30分の条件において、最大値107 J/cm²を示した。

文 献

- 1) 青山正治、小林敏郎、松尾國彦：鋳物62(1990)7、517
- 2) 矢島善次郎、岸陽一、清水謙一、望月栄治、吉田敏樹：鋳造工学77(2005)7、445