

## 誘導加熱による偏オーステンパ球状黒鉛鑄鉄

勝負澤 善行\*、 茨島 明\*、 池 浩之\*、 高川 貫仁\*、 伊藤 光元\*\*

部分的に硬い、または肉厚的に硬さの勾配がある機能的なオーステンパ球状黒鉛鑄鉄(偏オーステンパ球状黒鉛鑄鉄)の開発ニーズが高い。これに対して、高周波誘導加熱により部分的にオーステナイト化を行い溶融金属錫浴でベイナイト化して、偏オーステンパ球状黒鉛鑄鉄の製造を試みた。その結果、次のことが明らかになった。

- (1)100秒程度の短時間誘導加熱により偏オーステンパ球状黒鉛鑄鉄が得られる。
- (2)120秒以上の誘導加熱では、加熱コイル内の試料全体が均一なベイナイトである偏オーステンパ球状黒鉛鑄鉄が得られる。
- (3)誘導加熱により得られたオーステンパ球状黒鉛鑄鉄は、引張強さが1650MPa、伸びが5%と優れた機械的性質を示す。

キーワード:オーステンパ球状黒鉛鑄鉄、部分硬さ、誘導加熱、金属錫浴

## Mechanical Properties of Partial Austempered Ductile Cast Iron on Quick Austempering by Induction Heating

SHOUBUZAWAYoshiyuki , BARAJIMA Akira , IKE Hiroyuki ,  
TAKAGAWATakahito and Itoh Mitumoto

*Partial Austempered Ductile Cast Iron is the cast iron with Functionally Graded Hardness for many needs. Partial Austempered Ductile Cast Iron has been examined by Induction Heating on quick Austempering heat treatment.*

*Mechanical Properties of Partial Austempered Ductile Cast Iron are summarized as follows:*

- (1) Partial Austempered Ductile Cast Iron is made under short heating by Induction.*
- (2) Under over 120sec heating, Austempered Ductile Cast Iron is made in induction heating region.*
- (3) Austempered Ductile Cast Iron by Induction Heating is excellent mechanical property, that high tensile strength of 1650MPa with 5% elongation.*

**key words : Austempered Ductile Cast Iron, Partial hardness, Induction Heating, Tin-Bath**

### 1 緒 言

オーステンパ熱処理は、被熱処理材をオーステナイト化(約1200K)後、580K ~ 700K に急冷しその温度で等温保持することにより行われる。この処理で基地組織をベ

イナイトとしたオーステンパ球状黒鉛鑄鉄(ADI)は、900 ~ 1500MPaの高い引張強さ、1 ~ 10%の伸び、30 ~ 48HRCの高い硬さが特徴である。また、ADI鑄物は鑄造加工により製造するので自由形状に対応できること、機械的性質

\* 金属材料部

\*\* 岩手鑄機工業株

の制御が容易であること及びリサイクル性が優れていることなどにより、特殊鋼や鍛造鋼に代わり今後の用途拡大が期待されている。現在の応用製品例は、歯車、カムシャフト、ブルドーザ用保護板など<sup>1)</sup>産業機械の耐磨耗部材であり、国内で約1万t/年<sup>2)</sup>生産されている。(米国約3万t/年、独国約1万t/年)

著者らは、オーステンパ処理のベイナイト化工程に、従来一般に使用されてきた溶融塩浴に代わり、溶融金属錫浴を用いた新しい熱処理技術を開発<sup>3)</sup>して、ADIの生産をより容易なものとした。この技術の優位点は、溶融金属錫浴の冷却能が良いので、溶融塩浴法に比べ良好な機械的性質のADIが得られること、無公害作業が可能なこと及び設備が安価なこと等である。

従来は均一な材質のADIが求められていたが、最近では必要部だけ硬く、他は一般の球状黒鉛鑄鉄と同様の硬さで切削加工が可能なこと等、機能性のあるADI { 偏オーステンパ球状黒鉛鑄鉄(P-ADI) } が必要とされている。例えばコンクリート破砕歯は、先端のみ硬く元部は機械接続部と同等の軟らかい硬さでよいとされている。

これに対して、被熱処理材のオーステナイト化加熱工程及びベイナイト化等温処理工程で、次の2つの試みが報告されている。

被熱処理材の一部分に高電流を直接通電して加熱してオーステナイト化し、その後等温処理してベイナイトとする方法<sup>4)</sup>である。この方法では、ベイナイト化したい箇所をある程度特定できること及び加熱時間が短いことが優位点であるが、温度コントロールが難しい。

被熱処理材をオーステナイト化後、ベイナイト化工程で一部分のみを溶融金属錫浴に浸せき<sup>5)</sup>する方法である。この方法では、ベイナイト化部の特定が難しく、被熱処理材の形状を定めるのが難しいが、装置が単純であり、作業も容易であること等が優位点である。

また、被熱処理材のオーステナイト化加熱の他の方法として、鋼表面の熱処理に高周波誘導加熱が一般的に使用されている。これは誘導電流により被熱処理材表面にジュール熱を発生させるもので、表面から加熱できる。その他の優位点として、短時間の急速加熱が可能であり、表面の脱炭も防止できる等があげられる。

本報告では、高周波誘導加熱と溶融金属錫浴の両者の特徴を組み合わせた方法を用いて、部分的に表面が硬いP-ADIの製造を試みたので報告する。

## 2. 実験方法

### 2-1 試料の溶製

ADI用球状黒鉛鑄鉄は、岩手鑄機工業(株)で500Hz-600KW

-500Kgの高周波溶解炉を用いてFCD450相当品を溶製した。使用した溶解材料は、球状黒鉛鑄鉄用銑鉄(4.21%C,1.81%Si,0.18%Mn,0.068%P,0.016%S)やFe-Si(75%Si)、自社戻り材等である。これらの溶解材料を配合して、溶解量300kgを最高溶解温度1780Kとし1730Kでサンドイッチ法によりFe-Si-Mg合金(45%Si,6.6%Mg,残Fe)1.2%を用いて球状化処理を行い、除滓後接種しノックオフタイプの熱硬化鑄型に注湯して30 × 150mmの引張試験用試片を得た。各試験用試料はこの試験片から切り出し加工した。

表1、表2に溶製した球状黒鉛鑄鉄の化学組成と機械的性質を示す。

表1 化学組成(mass%)

C	Si	Mn	P	S	Mg
3.65	2.79	0.26	0.022	0.008	0.043

表2 機械的性質

引張強さ MPa	伸び %	硬さ HRB
528	16	81.6

### 2-2 オーステンパ熱処理

溶製した球状黒鉛鑄鉄は、22 × 145mmに加工して熱処理試料とした。オーステンパ熱処理のオーステナイト化は高周波電源を用いて、図1に示した実験装置で加熱し、図2のパターンで熱処理を行った。

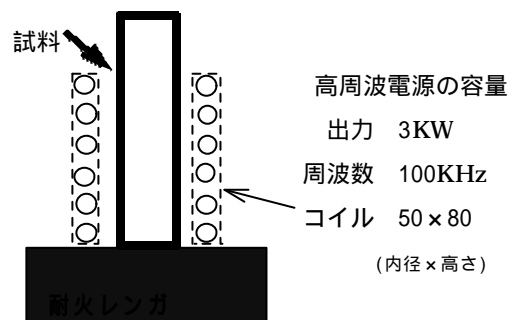


図1 高周波誘導加熱

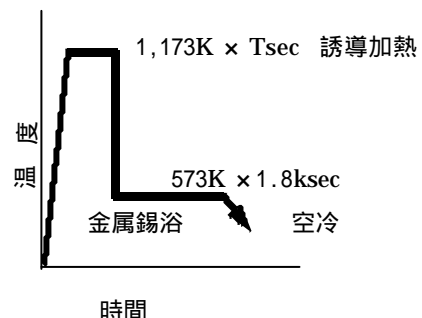


図2 オーステンパ熱処理の過程

2 - 3 誘導加熱の検討

本装置による誘導加熱で、試料がオーステナイト化する条件を定めるために、試料底面から11, 25, 46mm の位置に K 熱電対を設置(1.3 × 深さ2mm)して、1173K までの昇温状況を調べた。その結果を図3に示すが、最大容量による加熱でコイル中心付近と端部とでは80sec 程度の差が生じることが分かった。この結果、オーステンパ熱処理や制御等の誤差を含め加熱開始後750sec の時点をオーステナイト化開始点と定めて検討を行うこととした。これを基準にオーステナイト化加熱は、開始点から30sec、60sec、120sec として行った。

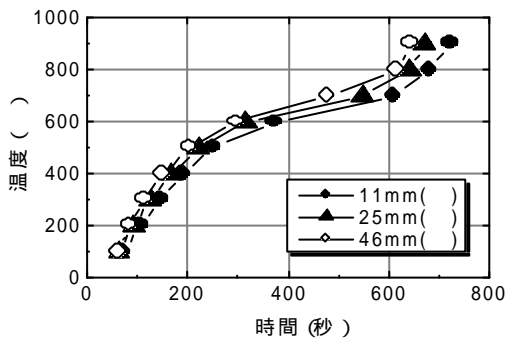


図3 試料各部の昇温状況

2 - 4 評価

誘導加熱によりオーステンパ処理した試料は、表面と中心部(11mm 面)で硬さの測定及び顕微鏡観察を行い評価した。また、コイルの長さに合わせて JIS 4号試験片の35サイズの引張試験片を作成し、オーステンパ処理して全体を ADI として引張試験を行い値を求めた。

3 実験結果

3 - 1 硬さの分布

オーステナイト化開始後30sec 誘導加熱し、1.8ksec 間ベイナイト化処理を行った試料(A-1)の各点の硬さを図4に示す。コイル中央部に位置する部分の試料表面はベイナイト化され30HRC 以上の硬さが得られた。試料中心面ではコイル中央約30mm 間で硬さが20HRC 程度の値となり、試料の長さ方向と深さ方向で硬さに勾配が生じる。

この試料表面部と中心部の顕微鏡組織を図5に示す。表面部と中心部ともオーステナイト化時間が短いいため、ベイナイト化が不十分でパーライトの析出が認められる。

次に、オーステナイト化開始後60sec 誘導加熱を行いその後1.8ksec 間ベイナイト化処理を行った試料(A-2)各点の硬さを図6に示す。オーステナイト化時間をわずが30sec 長くしただけで、表面部では硬さの高いベイナ

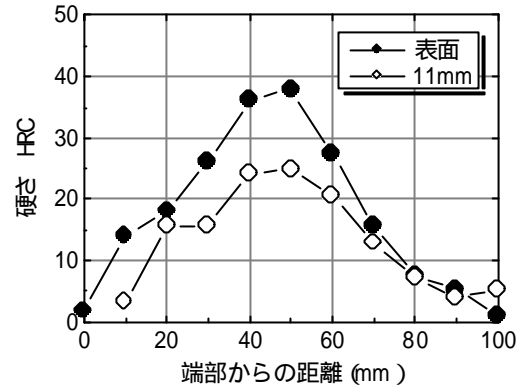


図4 試料A-1の各部の硬さ分布

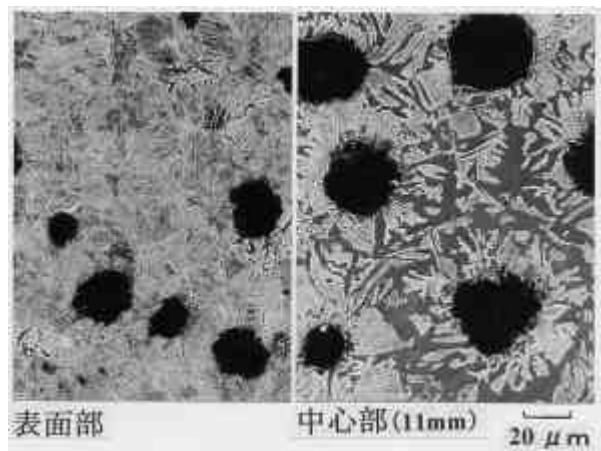


図5 試料A-1の顕微鏡組織

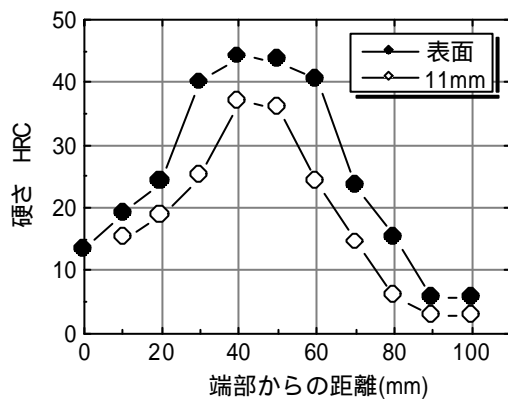


図6 試料A-2の各部の硬さ分布

イト域が40mm と広くなり、硬さも41~45HRC と573K 処理の一般的な硬さと同じレベルとなる。中心面では25~38HRC の硬さとなっている。この条件下でも長さ方向と深さ方向に硬さの勾配が生じる。

この顕微鏡組織を図7に示すが、表面部は均一なベイナイト組織が得られ、中心部はパーライトが観察されべ

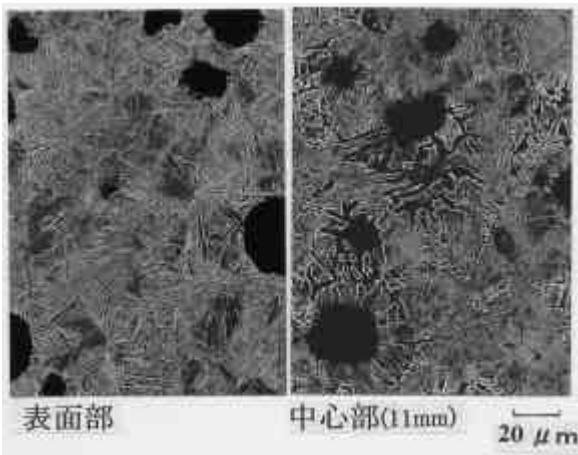


図7 試料A-2の顕微鏡組織

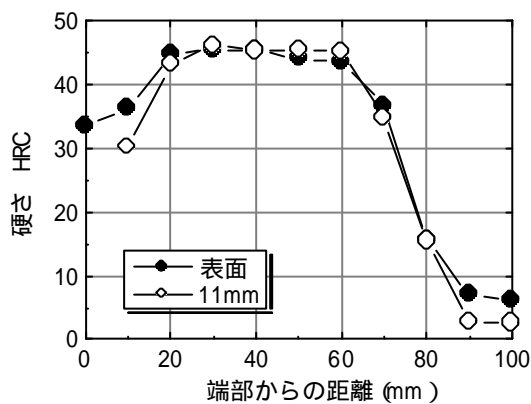


図8 試料A-3の各部の硬さ分布

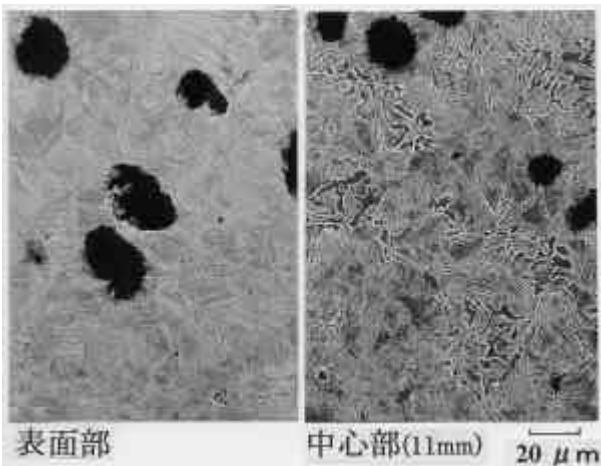


図9 試料A-3の顕微鏡組織

イナイト化が不十分であり、このことにより硬さに勾配が生じたことが分かる。

更にオーステナイト化開始後120sec と誘導加熱時間を長くした試料(A-3)各点の硬さを図8に示す。コイル内試料中央部約50mm は表面部・中心部とも45HRC 程度の同一硬さとなっている。この場合は、深さ方向の硬さ勾配は無く、コイル中央部付近では中心部まで十分な

オーステナイト化が行われたものと思われる。

同様にその顕微鏡組織を図9に示す。中心部でもほぼ均一なベイナイト組織が得られており、オーステナイト化開始より120sec の短時間で、炭素の拡散が急速に行われればほぼ均一なオーステナイトとなったと推察される。

### 3 - 2 誘導加熱によるADIの引張さ

短時間の誘導加熱により均一なベイナイト組織が得られたので、この方法による ADI の引張試験を行った結果を表3に示す。従来、電気炉や重油炉でオーステナイト化を施した(1,173K ×1.8~3.6ksec)ADI は、引張強さ1,400~1,500MPa、伸び1~2%の値であるが、誘導加熱による ADI では1650~1780MP、伸び5%と良好な機械的性質となる。このような現象は直接通電加熱法<sup>4)</sup>においても報告されており、メリットが大きいので今後更に検討を重ねたい。

なお、誘導加熱を使用してオーステンパ処理を施したADI では、短時間のオーステナイト化加熱により試料表面の酸化や脱炭は非常に少なかった。

表3 高周波誘導加熱によるADIの機械的性質

項目 No	引張強さ MPa	伸び %	硬さ HRC
1	1650	5	45
2	1785	標点外破断	46

## 4 結 言

高周波誘導加熱と熔融金属錫浴とを用いてオーステンパ処理を行い、部分的に硬いIP-ADIの製造を試み、次の結果を得た。

- (1) オーステナイト化開始後短時間の高周波誘導加熱により、長さ方向と深さ方向で硬さに勾配のあるP-ADIが得られる。
- (2) オーステナイト化開始後120sec 以上ではコイル部の試料全体がほぼ均質な ADI となる。
- (3) 高周波誘導加熱により、短時間のオーステナイト化加熱により得られるADIは、約1700MPa - 5%の高い引張強さと伸びが得られる。

## 文 献

- 1) 第3回 ADI 国際会議報告
- 2) 勝負澤ほか：鑄造工学 Vol.71 (1999) 7484
- 3) 多田ほか：鑄造工学 Vol.69(1997)9725
- 4) 勝負澤ほか：平成12年度集積事業報告