

バルクハウゼンノイズ解析による球状黒鉛鑄鉄の材料評価

古屋 泰文* 島田平八* 荒砥孝二**

J. Japan Inst. Metals, Vol.52, No.3(1988), pp.267-271

Material Evaluation of Spheroidal Graphite Cast Iron by Magnetic Barkhausen Noise Analysis

Yasubumi Furuya*, Heihachi Shimada* and Koji Arato**

Advanced magnetic non-destructive measurement technique, the "Barkhausen noise (BHN) analysis" method, is employed for the material evaluation of the spheroidal graphite cast iron. BHN signal is detected by a contact type sensor setted on the surface of plate specimen and analyzed by a digital spectrum analyzer. It is experimentally confirmed that (1) BHN generating power(PWA) depends on the graphite content (i.e.area fraction of graphite, FA) of the material and (2) average spheroidal graphite size (i.e.diameter \bar{r}) can be estimated by a parameter of normalized BHN spectrum peak height (H_p). Moreover, combining brinell hardness (HB) with BHN signal, some correlation can be obtained between mechanical tensile strength (σ_{UTS}) and a parameter $\phi = (PWA) \times (\text{hardness, HB})$.

In consequence, the BHN method is also applicable for the non-destructive material evaluation of graphite cast iron and useful information about material properties seems to be obtained by this method.

(Received August 3, 1987)

Keywords: spheroidal graphite cast iron, Barkhausen noise measurement, spectrum analysis, magnetic nondestructive testing, material evaluation

I. 緒 言

著者らは鉄鋼材料や Ni 合金などの強磁性体の材質と強度を非破壊評価するために磁気的性質を利用したバルクハウゼンノイズ解析法の可能性を検討してきた⁽¹⁾⁽²⁾。バルクハウゼンノイズ(BHN)は磁化過程で発生する磁気的雑音で金属組織に敏感な特徴を持っており、また、BHN法は迅速な計測が行える実用的にも有望な新しい材料評価法の一つである。そこで、本報告ではこのBHN法の特徴を踏まえて、黒鉛鑄鉄への材料評価の可能性を検討した。

II. 実験方法

1. バルクハウゼンノイズ(BHN)効果

強磁性体の磁化過程で発生するBHNの原因は、磁壁が不連続に移動(ジャンピング)することによる⁽³⁾。この雑音は結晶粒界、析出物、介在物などの冶金因子や転位などの内部構造の相違、応力状態(方向や大きさ)に敏感⁽⁴⁾⁽⁵⁾である。これらの特徴を踏まえてBHNは非破壊的材料評価の

一手法としての応用が考えられる。

2. 測定システム、センサーおよび解析

黒鉛鑄鉄の材料評価に用いたBHN測定装置の構成とセンサーをFig.1(a), Fig.1(b)に示す。パルスジェネレーターから発信された1Hzの三角波をパワーアンプで増幅

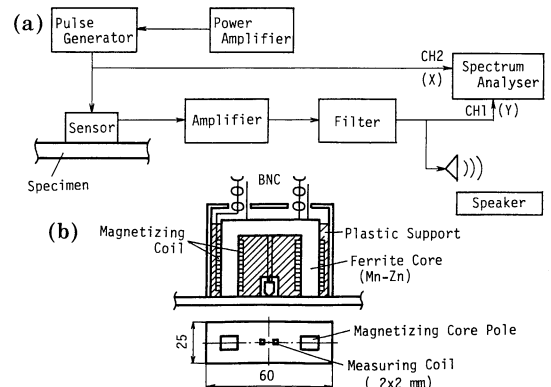


Fig.1 Block diagram of BHN measuring system (a) and sensor/specimen assembly (b).

* 東北大学工学部 (Materials Processing, Faculty of Engineering, Tohoku University, Sendai)
 ** 宮城県工業技術センター (Miyagi Institute of Technology, Sendai)

して、センサーに通電する。接触型センサーの構造は、Fig.1(b)に示されるように Mn-Zn フェライトコアに励磁用コイルが巻かれており、試料表面はこのフェライトコアを通して最大印加磁場 24 kA/m(300 Oe)で磁化させた。その際、試料内のバルクハウゼンノイズを含む磁化の変化

を中央の小型磁気ヘッド(フェライト製, 100 kHz 付近まで透磁率の周波数減衰なし)で検出し、アンプで増幅している。試作センサーの寸法は図に示されているが、BHNの測定範囲は 3 mm×3 mm の領域である。なお、磁化コイルと検出ヘッドは樹脂で埋込み固定されており、センサー

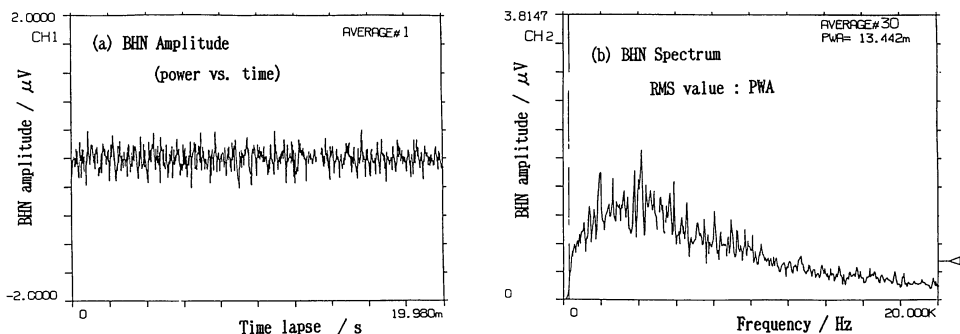


Fig.2 CRT display of FFT spectrum analyzer.
 (a) BHN voltage amplitude vs time relation.
 (b) BHN power spectrum.

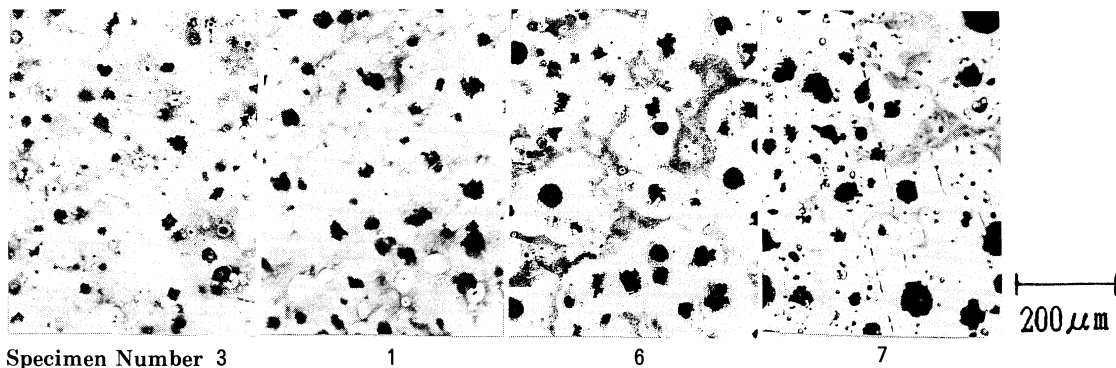
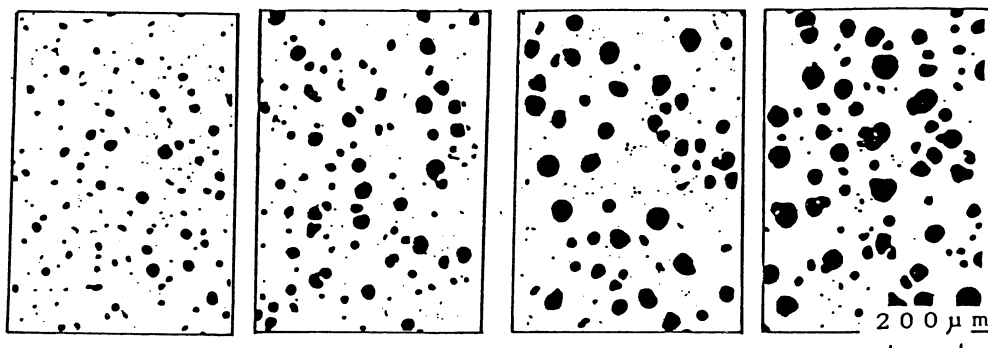


Fig.3 Several examples of the optical microstructures of graphite cast irons investigated in this study.



Specimen number	3	1	6	7
Average radius of graphite (\bar{r} , μm)	16.1	19.5	27.5	27.2
Sphericity	88	94	93	92
Area ratio (FA, %)	9.8	11.7	16.2	25.0

(Chemical compositions(mass%))
 (C : 3.40-3.78, Si : 2.53-3.08, Mn : 0.24-0.45, Cu : 0-0.81)

Fig.4 Microstructural properties of the spheroidal graphite cast iron.

の外殻は漏れ磁束を防ぐためにパーマロイの板で覆われている。低周波成分(300 Hz以下)をフィルター処理した高周波側バルクハウゼンノイズ(最大 50 kHzまで)の周波数波形解析はデジタルスペクトラムアナライザーで行った。Fig.2にはその CRT 画面の一例を示す。Fig.2(a)には BHN 発生電圧-時間グラフ, Fig.2(b)には, その BHN 出力周波数特性(パワースペクトラム)が示されている。実験では, 平均化処理(100回)後の実効値(RMS Voltage)と周波数波形に着目して黒鉛鉄の材料評価を行った。

3. 実験材料

材料評価に用いた試料は Fig.3 に示されるような主に球状黒鉛, フェライト母相およびセメントタイト相からなる黒鉛鉄板(厚さ 16 mm, 幅 14 mm, 長さ 60 mm)で, その化学成分, 平均黒鉛粒径, 球状化率, 黒鉛面積比, 黒鉛の分散組織, ブリネル硬度との相関性は Fig.4, Fig.5 に示される。黒鉛組織の評価は画像解析装置(ルーゼックス)で行った。黒鉛粒度は Si, Cu 量の調整により変化させてある。試料表面はエメリー紙 # 500 まで研磨してあり, その上に接触型センサーを軽く当てて BHN 検出と解析を行った。

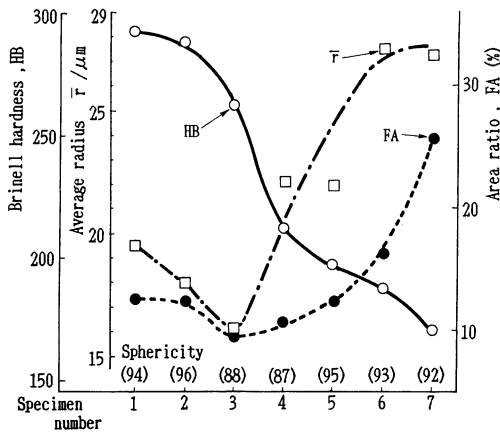


Fig.5 Material properties of the spheroidal graphite cast iron used in this study.

III. 実験結果と考察

1. 黒鉛含有量の評価

鉄の機械的性質は, 顕微鏡組織中にあらわれる黒鉛の量や形状, 基地組織のフェライトやパーライトの量によって変化する。黒鉛鉄において, 黒鉛に関する評価量としては, 黒鉛含有量と黒鉛粒の大きさ, 黒鉛の形状, 球状化率等が挙げられる。今回調べた試料の球状化率は Fig.5 の下方に示されるように 87 から 96 と大きな差はなかったので, 本研究では先ず黒鉛含有量と黒鉛粒の大きさ二つについて非破壊的材料評価が BHN 法により可能かどうか

を調べることにした。Fig.6 には鉄中の黒鉛面積比と BHN 出力との関係を示す。今回用いた黒鉛鉄試料の組織は Fig.3 に示されるようにフェライト母相と球状黒鉛そして部分的にパーライト相を若干含んでいる。それゆえに, 今回の測定で得られた黒鉛鉄からの BHN 出力にはフェライト粒界やパーライト相から生じた BHN もある程度含まれていることになる。しかし, 著者らの得た結果ではフェライトセンサーの場合, フェライトとパーライト 2 相よりなる炭素鋼から検出される BHN は, 本黒鉛鉄試料の場合よりも 1/5 から 1/10 位出力が小さいので, ここで示される BHN 出力特性は主に球状黒鉛鉄によるものと考えられる。両者には, ほぼ直線関係が成立しており, 図中にある周波数分布波形内の斜線部で示される BHN 実効値 PWA により球状黒鉛鉄内の黒鉛含有率が推定できることがわかった。

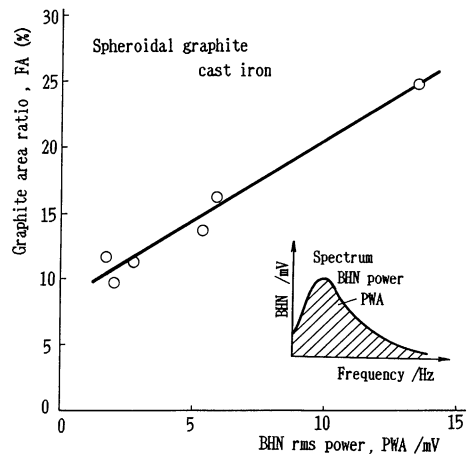


Fig.6 Relationship between graphite area ratio and BHN rms power.

2. 球状黒鉛鉄の大きさの評価

つぎに, 鉄の中に存在している球状黒鉛の大きさの評価を試みる。著者らは, 音声(音色)で人の区別ができるように, BHN 周波数波形解析を重要視して鉄鋼材料の金属微視組織変化の非破壊評価の可能性を示してきた⁽¹⁾。そこで, フェライト母相中に分散している球状黒鉛組織の BHN 周波数波形解析を試みた。Fig.7 に実効出力のままの BHN スペクトラムを示す。これまで著者らが得た BHN 周波数解析からは微細な組織(粒径, 析出物)ほど高周波側まで減衰の小さい波形が得られる傾向があることがわかっているが⁽²⁾, Fig.7 からわかるように球状黒鉛鉄の場合も同様な結果が得られた。各材料を 20 kHz で規格化表示した相対的な周波数波形分布曲線を Fig.8 に示す。試料ごとに BHN 周波数波形分布は異なっており, 特に低周波成分に大きな相違が認められる。そこでここでは Fig.8 に示される規格化 BHN 周波数ピーク高さと黒鉛の大きさとの関係を調べた。Fig.9 には平均球状黒鉛半径(\bar{r})と規

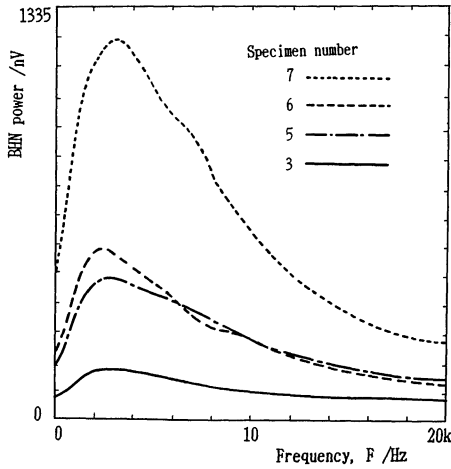


Fig.7 BHN power spectrum for several materials.

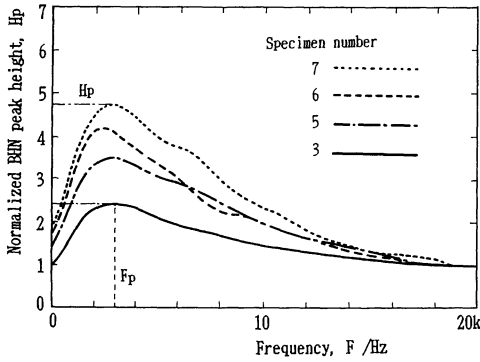


Fig.8 Normalized BHN spectrum for several materials.

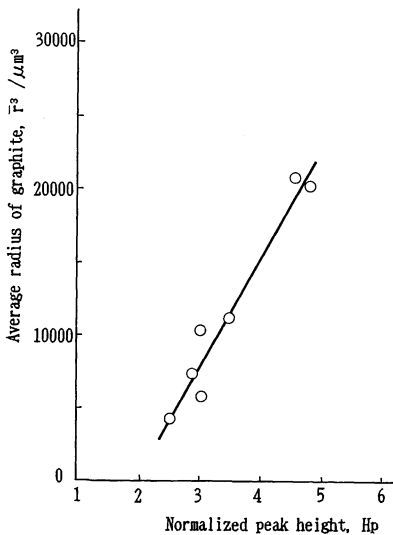


Fig.9 Relationship between average radius of spheroidal graphite \bar{r} and normalized spectrum peak height H_p .

規格化 BHN 周波数ピーク高さ (H_p) の関係を示す。 H_p は \bar{r}^3 に比例していることが明らかになった。以上、球状黒鉛鑄鉄の組織と BHN 解析結果を関連付けて検討したところ、BHN 実効出力から黒鉛含有率、規格化 BHN 周波数ピーク高さから平均黒鉛半径が非破壊的に評価できることがわかった。

3. BHN 解析による黒鉛鑄鉄の材料(材質, 強度)評価

一般に、フェライト母相中に存在する黒鉛の形態も鑄鉄の材質と強度に密接に関係している。 Fig.10 には実験に用いた各試料の硬度および引張強さと BHN 実効値との関係を示す。 BHN 出力が大きいものほど硬度と引張強さが低下する傾向が認められる。大出ら⁽⁶⁾は超音波伝播速度の測定による結果から、鑄鉄の引張り強さを黒鉛量と黒鉛形状とによって支配される音速と、黒鉛量と基地組織によ

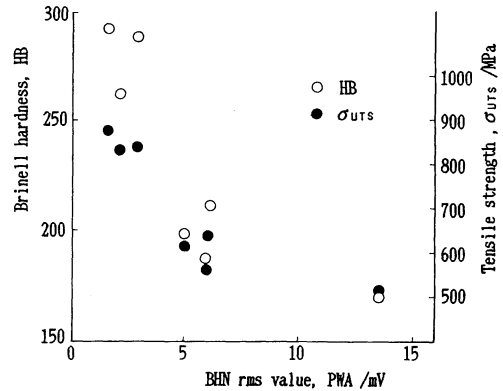


Fig.10 Correlation between BHN power, hardness(HB) and tensile strength (σ_{URS}).

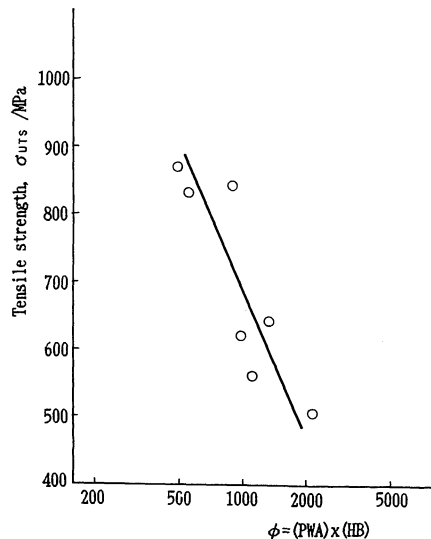


Fig.11 Relationship between tensile strength (σ_{URS}) and a parameter of $\phi = (\text{BHN power}) \times (\text{hardness})$.

て支配されるブリネル硬さとの積で評価できることを報告している。そこで、同様な立場から引張り強さを BHN 出力(PWA)と硬度(HB)の積によって整理してみた。Fig.11 に示されるように両者には相関性が認められ、非破壊的な強度評価にも応用できることがわかる。今後、さらに金属組織学的な検討とこれらの BHN 測定結果を組み合わせることで、バルクハウゼン(BHN)法は鑄鉄の非破壊的材料評価にも有効な一手法になり得ることが予想される。

IV. 結 論

本研究では強磁性体の材質に敏感な特徴を持つバルクハウゼンノイズ(BHN)法を球状黒鉛鑄鉄に適用し、非破壊的材料評価の可能性を検討した。その結果、BHN 出力(PWA)により黒鉛含有率、BHN 周波数ピーク高さ(H_p)により黒鉛の大きさが推定できることがわかった。また、BHN 出力特性と鑄鉄の硬度、引張強度との相関性も認めら

れ、バルクハウゼンノイズ(BHN)法は鑄鉄にも適用できる非破壊的材料評価手法になりうることがわかった。

本研究成果の一部は昭和 61 年度科学研究費補助金(課題番号 61850122)によるものであることを付記し、謝意を表します。また、実験に協力していただいた、東北大学大学院生 伊藤勇一君に感謝いたします。

文 献

- (1) 古屋泰文, 島田平八: 非破壊検査, 35(1986), 532.
- (2) 古屋泰文, 島田平八: 非破壊検査, 35(1986), 811.
- (3) R. L. Pasley: Material Evaluation, 28(1970), 157.
- (4) 増井 進, 杉本 諭, 岡田益男, 本間基文: 日本金属学会講演概要, (1985・10月), 497.
- (5) 古屋泰文, 島田平八, 伊藤勇一: 第 19 回応力・ひずみ測定シンポジウム, (1987・1月), 45.
- (6) 大出 卓, 御田潤一, 井川克也: 鑄物, 58(1986), 261.