

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2014 年 9 月 12 日(12.09.2014)



(10) 国際公開番号
WO 2014/136745 A1

- (51) 国際特許分類:
H05B 6/10 (2006.01) *H05B 6/04* (2006.01)
B22F 1/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/055383
- (22) 国際出願日: 2014 年 3 月 4 日(04.03.2014)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2013-041992 2013 年 3 月 4 日(04.03.2013) JP
特願 2013-041995 2013 年 3 月 4 日(04.03.2013) JP
- (71) 出願人: 宇部興産株式会社 (UBE INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒7558633 山口県宇部市大字小串 1 9 7 8 番地の 9 6 Yamaguchi (JP). 国立大学法人山口大学 (NATIONAL UNIVERSITY CORPORATION YAMAGUCHI UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒7538511 山口県山口市吉田 1 6 7 7 - 1 Yamaguchi (JP).
- (72) 発明者: 山田 幸治 (YAMADA, Yukiharu); 〒7558633 山口県宇部市大字小串 1 9 7 8 番地の 9 6 宇部興産株式会社内 Yamaguchi (JP). 三宅 泰弘 (MIYAKE, Yasuhiro); 〒7558633 山口県宇部市大字小串 1 9 7 8 番地の 9 6 宇部興産株式会社内 Yamaguchi (JP). 野田 勇二郎 (NODA, Yujiro);

〒7558633 山口県宇部市大字小串 1 9 7 8 番地の 9 6 宇部興産株式会社内 Yamaguchi (JP). 廣幡 大樹 (HIROHATA, Taiki); 〒7558633 山口県宇部市大字小串 1 9 7 8 番地の 9 6 宇部興産株式会社内 Yamaguchi (JP). 長尾 達也 (NAGAO, Tatsuya); 〒7558633 山口県宇部市大字小串 1 9 7 8 番地の 9 6 宇部興産株式会社内 Yamaguchi (JP). 田中 俊彦 (TANAKA, Toshihiko); 〒7558611 山口県宇部市常盤台 2 丁目 1 6 - 1 国立大学法人山口大学工学部内 Yamaguchi (JP). 平木 英治 (HIRAKI, Eiji); 〒7558611 山口県宇部市常盤台 2 丁目 1 6 - 1 国立大学法人山口大学工学部内 Yamaguchi (JP). 山本 直樹 (YAMAMOTO, Naoki); 〒7558611 山口県宇部市常盤台 2 丁目 1 6 - 1 国立大学法人山口大学工学部内 Yamaguchi (JP).

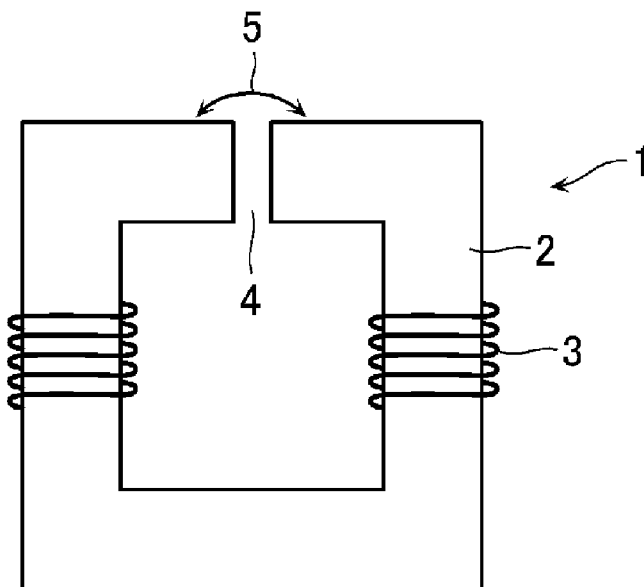
(74) 代理人: きさらぎ国際特許業務法人 (KISARAGI ASSOCIATES); 〒1020084 東京都千代田区二番町 5 番地 6 あいおいニッセイ同和損保二番町ビル 8 階 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR,

[続葉有]

(54) Title: METHOD FOR HEATING FINE METAL MATERIAL, AND METHOD AND DEVICE FOR DETECTING METAL

(54) 発明の名称: 微小金属材料の加熱方法及び金属の検出方法と検出装置



(57) Abstract: Provided are: a method for heating a metal material wherein it is possible to heat a metal material in a short time with a small energy loss; and a method and a device for detecting metal wherein it is possible to rapidly and accurately detect metal included in an inspection subject having an arbitrary shape and size. A method comprising arranging a metal material on the outside of a gap between the magnetic poles of an inductive heating means obtained by winding a coil around a frame-shaped yoke core having the gap, passing a high-frequency current through the coil, generating a curved magnetic field on the outside of the gap, applying the curved magnetic field to the metal material, and heating the metal material by electromagnetic inductance produced by the curved magnetic field. A method and a device for detecting the generation of heat in the metal included in a specimen using this heating method.

(57) 要約: 金属材料を短時間でかつ小さいエネルギーロスで加熱することを可能とする金属材料の加熱方法、任意の形状及び大きさの被検査体に含まれる金属を短時間で高精度に検出することを可能とする金属の検出方法及び検出装置を提供

する。磁極間のギャップを有する枠状ヨークコアにコイルを巻回してなる誘導加熱手段の前記ギャップの外側に金属材料を配置し、前記コイルに高周波を流し、前記ギャップの外側に湾曲磁界を発生させ、前記金属材料に湾曲磁界を作用させ、前記湾曲磁界により生じた電磁誘導によって前記金属材料を加熱する方法、この加熱方法を利用して検査体内に含まれる金属の発熱を検出する方法、及び検出装置。

WO 2014/136745 A1



LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

パ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーロ
シア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：

微小金属材料の加熱方法及び金属の検出方法と検出装置

技術分野

[0001] 本発明は、微小金属材料の加熱方法、金属の検出方法及び検出装置に係り、特に誘導加熱を用いた微小金属材料の加熱方法、及び誘導加熱を用いた非導電性材料中の金属の検出方法並びに検出装置に関する。

背景技術

[0002] 従来、誘導加熱を用いた金属材料の加熱方法は、半導体素子の溶着用金属ボール（バンプ球）の成型に採用されている。この加熱方法では、粒径 700 μm 程度の金属片を容器内に収容若しくは管内を通過させ、容器若しくは管を誘導加熱することにより、容器または管内の金属片を加熱し、バンプ球を成型している（例えば、特許文献 1 参照）。

[0003] しかし、これまで、粒径 3 mm 以下の金属材料を誘導加熱により直接加熱することは困難であった。その理由は、金属材料の熱容量が小さいため、エネルギーの吸収（蓄熱）と放熱がバランスし、温度の上昇が停止してしまうからである。また、小さい金属片に磁気エネルギーを投入するには困難である。

[0004] また、上記従来の加熱方法では、高周波電力発生電源の制約から 100 kHz 未満の高周波が用いられており、大型の装置が必要であり、磁束密度の高密度化に限界があった。

更に、加熱装置が目標としている加熱対象物よりも大きいため、加熱に要するエネルギーが分散し、加熱対象物である金属材料にエネルギーを集約することができず、エネルギーロスが大きいという問題があった。また、加熱装置には、高耐圧、高容量の半導体素子が必要となり、電源も大容量となり、省エネルギー化の傾向に反することになる。

[0005] 一方、磁性酸化物、セラミックス、樹脂（プラスチック）、フィルム状の

電気電子材料、その他種々の工業材料及び工業製品中に、その製造過程で微小な金属異物が混入する場合がある。金属異物が混入した工業材料及び製品は、不良品であり、工業材料及び製品自体を排除するか、工業材料及び製品から金属異物を除去しなければならないため、その前に工業材料及び工業製品を検査する必要がある。

[0006] そのような工業材料及び製品金属中の金属異物の有無を検査する方法として、誘導コイルの磁極間に配置された被検査体を誘導加熱し、赤外線カメラを用いて、加熱された被検査体の温度分布を測定することにより、金属異物を検出する方法が知られている（例えば、特許文献 2 参照）。

[0007] しかし、特許文献 2 に記載の方法では、被検査体を磁極間に挟むように配置する方式のため、被検査体の形状や大きさに制限があるという問題があった。即ち、磁極間に入らない形状やサイズの被検査体は検査することができなかった。この場合、磁極間を広く設計する必要があるが、エネルギー密度が小さくなるため、被検査体内に含まれる金属異物を誘導加熱することは困難であった。

[0008] また、被検査体を磁極間に存在する磁路に配置して誘導加熱するので、磁極間に被検査体を保持する必要がある、そのため保持機構を備えなければならなかった。被検査体の任意の部位を検査したい場合には、コアのサイズの範囲でしか被検査体を移動することが出来ない、被検査体の任意の部位を磁極間に発生する磁束と鎖交する位置に容易に移動することは不可能であった。

[0009] 更に、特許文献 2 に記載の方法によっても金属異物の誘導加熱はある程度可能ではあるものの、その金属の種類を特定することまでは難しく、単にサイズの小さな被検査体中の異物の有無を検出するのみであった。

先行技術文献

特許文献

[0010] 特許文献 1：特開 2001-181709 公報

特許文献 2：特開 2006-125937 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0011] 本発明の目的は、金属材料を短時間でかつ小さいエネルギーロスで加熱することを可能とする金属材料の加熱方法を提供することにある。

本発明の他の目的は、任意の形状及び大きさの被検査体に含まれる金属を短時間で高精度に検出することを可能とする金属の検出方法を提供することにある。

本発明の更に他の目的は、任意の形状及び大きさの被検査体に含まれる金属を短時間で高精度に検出することを可能とする金属の検出装置を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0012] 本発明の第1の態様によると、磁極間のギャップを有する枠状ヨークコアにコイルを巻回してなる誘導加熱手段の前記ギャップの外側に、金属材料を配置する工程、及び前記コイルに高周波を流し、前記ギャップの外側に湾曲磁界を発生させ、前記金属材料に湾曲磁界を作用させ、前記湾曲磁界により生じた電磁誘導によって前記金属材料を加熱する工程を具備する金属材料の加熱方法が提供される。

[0013] 本発明の第2の態様によると、磁極間のギャップを有する枠状ヨークコアにコイルを巻回してなる誘導加熱手段の前記ギャップの外側に、金属を含む被検査体を配置する工程、前記コイルに高周波を流し、前記ギャップの外側に湾曲磁界を発生させ、前記金属に湾曲磁界を作用させ、前記湾曲磁界による電磁誘導によって前記金属を加熱する工程、及び前記被検査体内に含まれる金属の発熱を検出する工程を具備する金属の検出方法が提供される。

[0014] 以上のように構成される本発明の第1及び第2の態様において、前記コイルに100kHz以上の高周波を流すことができる。

金属材料又は金属として、粒径20 μ m～3mmのものをを用いることができる。

金属材料又は金属として、鉄、鋼、ステンレス、真鍮、銅、アルミニウム

、及びこれらの１種以上を含む合金からなる群から選ばれた１種を用いることができる。

高周波の周波数として、特に、１００ｋＨｚ～１００ＭＨｚを用いることができる。

[0015] 本発明の第３の態様によると、磁極間のギャップを有する棒状ヨークコアにコイルを巻回してなり、前記ギャップ近傍に湾曲磁界を発生させ、前記ギャップ近傍に配置された金属を含む被検査体に前記湾曲磁界を作用させる誘導加熱手段、前記被検査体と前記湾曲磁界発生手段とを相対的に移動させ、前記被検査体の被検査部を前記誘導加熱手段により走査する手段、及び前記湾曲磁界による電磁誘導によって加熱された前記被検査体内に含まれる金属の発熱及び周囲への伝熱を検出する手段を具備する金属の検出装置が提供される。

[0016] 以上のように構成される本発明の第３の態様において、棒状ヨークコアの磁極の下面のギャップ間隙までを緩やかに傾斜させることで、磁束密度の向上を図ることができる。また、棒状ヨークコアの磁極の上面に、ヨークを設けることができる。

更には、金属の発熱を検出する手段を、金属から発生する赤外線を検出する赤外線センサーとすることができる。

[0017] この場合、赤外線センサーは、前記湾曲磁界発生手段に対し相対的に移動する前記被検査体の下流側に配置することができる。

あるいは、金属の発熱を検出する手段を、金属から発生した熱による金属材料近傍の被検査体の変色及び／又は変形を検知する手段とすることができる。更には、金属の発熱を検出する手段を、金属から発生した熱による金属近傍の被検査体に形成された空孔を検知する手段とすることができる。

[0018] また、金属の発熱を検出する手段を、前記金属の種類に対応する放射率の赤外線を検出する放射温度計とすることができる。

更に、誘導加熱手段は、前記金属の種類に適正な加熱周波数に応じて高周波が制御されるものとすることができる。

発明の効果

[0019] 本発明の第 1 の態様によれば、金属を短時間で急速加熱することが可能であり、また装置の小型化、省エネ化を達成することが可能な金属材料の加熱方法が提供される。

本発明の第 2 の態様によれば、任意の形状及び大きさの被検査体に含まれる金属を短時間で高精度に検出することを可能とする金属の検出方法が提供される。

本発明の第 3 の態様によれば、任意の形状及び大きさの被検査体に含まれる金属を短時間で高精度に検出することを可能とする金属の検出装置が提供される。

図面の簡単な説明

[0020] [図1]本発明の第 1 の実施形態に係る金属材料の加熱方法に用いられる誘導加熱コイルの模式図及び磁気回路図。

[図2]本発明の第 1 の実施形態に用いる誘導加熱装置を示す模式図。

[図3]本発明の第 2 及び第 3 の実施形態に用いられる誘導加熱コイルを示す図である。

[図4]本発明の第 2 及び第 3 の実施形態に用いられる誘導加熱コイルの他の例を示す図である。

[図5]本発明の第 2 の実施形態に係る金属の検出装置を示す図である。

[図6]本発明の第 3 の実施形態に係る金属の検出装置を示す図である。

[図7]本発明の第 1 の実施形態の実施例 2 における被加熱試料の位置を示す図である。

[図8]本発明の第 1 の実施形態の実施例 2 において、被加熱試料の位置を x 方向に移動して誘導加熱した結果を示すグラフである。

[図9]本発明の第 1 の実施形態の実施例 2 において、被加熱試料の位置を y 方向に移動して誘導加熱した結果を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0021] 以下、本発明の実施形態について説明する。

本発明の第1の実施形態に係る金属材料の加熱方法は、磁極間のギャップを有する棒状ヨークコアにコイルを巻回してなる誘導加熱手段の前記ギャップの外側に、金属材料を配置する工程、及び前記コイルに高周波を流し、前記ギャップの外側に湾曲磁界を発生させ、前記金属材料に湾曲磁界を作用させ、前記湾曲磁界により生じた電磁誘導によって前記金属材料を加熱する工程を具備することを特徴とする。

[0022] 本実施形態に係る金属材料の加熱方法は、どのような大きさ及び形状の金属材料をも対象とすることが出来る。粒径3 mm以下の微小な金属材料を加熱することが可能である。特に、粒径 $20\text{ }\mu\text{m}$ ～ $100\text{ }\mu\text{m}$ の極めて微小な金属材料を加熱することも可能である。また、微小金属がいびつな形状の場合は、平均粒径 $20\text{ }\mu\text{m}$ ～ $100\text{ }\mu\text{m}$ を考慮する。なお、この場合の平均粒径は、メジアン径 d_{50} である。

[0023] このような微小な金属材料は、これまで誘導加熱により直接加熱することが困難であったものである。

鋼管を曲げたり、溶接したりする際に、大きなサイズの金属を誘導加熱により直接加熱することは、従来知られていたが、本発明において初めて、粒径3 mm以下の金属材料を誘導加熱により直接加熱することが可能となった。

[0024] 一方、誘導加熱コイルの中に加熱対象物である金属材料を配置し、コイルに高周波電流を流すと、コイル内に発生する磁界の作用により金属材料に渦電流が発生し、これにより金属材料が加熱されることは知られている。また、コアにギャップを設けてコイルを巻回した事例は今回のように稀にある。しかし、上述したように、このような方法では、ギャップに配置可能な小さいサイズの金属材料や、ギャップに配置可能な位置にある金属材料しか加熱することはできない。

[0025] 本実施形態では、誘導加熱コイルの磁極間のギャップを狭めた場合、ギャップの外側にも、ある程度磁束密度の高い漏洩磁界が発生する現象を利用し、ギャップの外側に金属材料を配置して加熱することを可能とした。その結

果、金属材料のサイズ、形状、位置を問わず、どのようなものでも加熱することが可能となり、加熱の自由度を大きくすることが可能となった。

[0026] 金属材料は、球形、円筒状、ウィスカ状等、その形態は問わない。金属材料の種類は特に限定されないが、通常、広範な用途に使用される、鉄、鋼、ステンレス、真鍮、銅、アルミニウム、及びこれらの1種以上を含む合金を用いることができる。

[0027] 図1は、本実施形態に係る加熱方法に用いる金属材料加熱装置の誘導加熱手段としての誘導加熱コイル1を示す図である。図1において、誘導加熱コイル1は、ヨークコア2と、このヨークコア2に巻回されたコイル3とからなる。ヨークコア2は、枠状体の一辺の中央部が除去されて、磁極間のギャップ4が設けられた形状を有し、その両側部に2つのコイル3が巻回されている。ヨークコア2は、軟磁性体、例えば純鉄からなる。

[0028] このような誘導加熱コイル1において、コイル3に高周波電流を流すと、磁極間のギャップ4に磁界が発生するが、ギャップ4だけでなく、ギャップ4の外側にも湾曲磁界5が発生する。従って、この誘導加熱コイル1のギャップ4の外側の湾曲磁界5が存在する領域に金属材料を配置した場合、湾曲磁界5の作用により金属材料に渦電流が流れ、それによって金属材料は発熱する。

[0029] なお、ヨークコア2の形状を工夫することにより、ギャップ4の外側に発生した湾曲磁界5の磁束密度を更に高めることができる。図2は、このような例を示す。図2(a)に示す例では、ヨークコア2aは、ギャップ4を形成する両磁極の下面（コアの内側の面）が傾斜面Tとなっており、ヨークコア2aをこのような形状とすることにより、高い磁束密度の湾曲磁界5aが発生する。

[0030] 図2(b)に示す例では、傾斜面Tを有するヨークコア2aのギャップ4を形成する磁極の外側（ギャップ4の近傍の両磁極の上面）に更に、ヨーク2bが追加されている。このような構成により、図2(a)に示す例よりも更に高い磁束密度の湾曲磁界5bを得ることができる。

[0031] 本実施形態に係る金属材料の加熱方法では、周波数100kHz以上の高周波による誘導加熱を用いることが望ましい。周波数100kHz以上の高周波を用いることにより、従来困難であった、粒径3mm以下の微小な金属材料を誘導加熱により直接加熱することが可能である。

[0032] 周波数100kHz未満の高周波を用いたのでは、例えば、粒径3mm以下の微小な金属材料を短時間で加熱することは困難な場合がある。例えば、粒径3mm以下の金属材料は熱容量が小さいため、100kHz未満の高周波による誘導加熱では、単位時間当たりの効率的なエネルギーの供与が出来ず、温度上昇の速度が低下し、更にはエネルギーの吸収（蓄熱）と放熱がバランスし、温度上昇が停止してしまう。

[0033] 高周波の周波数は、100kHz以上が好ましいが、更に有効な加熱を行う観点から、100kHz～100MHzがより好ましく、100kHz～10MHzがより更に好ましく、500kHz～2MHzが最も好ましい。

[0034] 加熱温度は、特に限定されず、加熱の用途に応じて、室温～1500℃の加熱が可能である。

以上のように、本実施形態に係る金属材料の加熱方法において、100kHz以上の、従来使用されていなかった高周波による誘導加熱を用いると、粒径3mm以下の金属材料を、急速に短時間で加熱することが可能である。

[0035] 通常、粒径3mm以下の金属材料では、磁束の表皮効果が期待できないが、100kHz以上の超高周波の交番磁束のため、磁束の表皮効果を期待することが出来、それを活用することで急昇温が可能となる。

また、100kHz以上の高周波を用いることにより、誘導加熱装置を従来使用されてきたものよりもはるかに小型化することが可能である。そのため、磁束密度の高密度化を図ることができ、エネルギーロスのない高効率の加熱が可能である。

[0036] 即ち、誘導加熱装置を小型化できるようになると、加熱対象物である微小金属材料に対する装置の加熱部分の比率が近づき、加熱対象物に対して磁束密度の集約化も可能となり、エネルギー損失を少なくすることが出来るので

ある。

以下、100kHz以上の高周波を用いることにより装置の小型化が可能となる理由について説明する。

[0037] 図3(a)は、本実施形態に係る金属材料の加熱方法に用いられる誘導加熱コイルの模式図を示し、図3(b)はその磁気の等価回路図を示す。図3(a)に示す誘導加熱コイル11は、コア12に巻数Nのコイル13を巻回してなり、コア12は、例えば、図示する寸法を有する棒状体の一辺にギャップ長 L_g のギャップ14が設けられた形状を有する。

[0038] 図3(b)は誘導加熱コイル11の磁気回路図である。図3(b)の磁気回路図において、 ϕ は磁束、 R_m 、 R'_m は、磁気抵抗を示す。

このような誘導加熱装置において、コイル13にI(A)の電流を流し、1MHz及び75kHzの高周波を発生させ、ギャップ14間に配置されたステンレス(SUS304)の金属材料(図示せず)を加熱する場合を考える。

[0039] (1) 磁束密度の算出

粒径1mmのステンレス(SUS304)の金属材料を5秒間に200℃昇温するのに必要な磁束密度を、磁束密度の公式により計算で求めると、次のようになる。

1MHzの高周波の場合 4.6mT

75kHzの高周波の場合 60.96mT

[0040] (2) コイルの巻数Nの算出

コイルの巻数Nは、下記式により表される。

$$N = BL_g / \mu_0 I$$

ここで、Bは上で求めた磁束密度であり、ギャップ長 L_g を5mm、真空の透磁率 μ_0 を $4\pi \cdot 10^{-7}$ 、電流実効値Iを8Aとすると、コイルの巻数Nは次のようになる。

1MHzの高周波の場合 $N = 2.4$

75kHzの高周波の場合 $N = 30.3$

[0041] (3) コア 1 のサイズの算出

コア 1 の窓面積 Q (mm^2) は、下記の式により表される。

$$Q = I N / p q \quad (p \text{ は電流密度、} q \text{ は占積率})$$

コア 1 の体積 V は、下記式により表される。

$$V = a \cdot b \cdot c$$

$$= (Q^{1/2} + 2 A_e^{1/2})^2 \cdot A_e^{1/2} \quad (A_e \text{ はコア断面積})$$

[0042] 電流密度 p を 3 A/mm^2 、占積率 q を 0.1 、コア断面積 A_e を 100 mm^2 とすると、 V は次のようになる。

$$1 \text{ MHz の高周波の場合} \quad V = 7734 \text{ mm}^3$$

$$75 \text{ kHz の高周波の場合} \quad V = 23445 \text{ mm}^3$$

[0043] 以上のように、 1 MHz の高周波を用いた場合に必要なコア 1 の体積は、 75 kHz の高周波を用いた場合に必要なコア 1 の体積の約 3 分の 1 でよいことがわかる。

このように、 100 kHz を超える高周波を用いた場合には、誘導加熱装置を従来使用されてきたものよりもはるかに小型化することが可能である。そのため、エネルギーロスのない高効率の加熱が可能である。

[0044] 本実施形態における実施例について説明する。

実施例 1

図 4 は、本実施形態において金属材料の加熱に用いた誘導加熱装置 21 の模式図を示す。図 4 に示す誘導加熱装置 21 は、図 3 (a) に示す誘導加熱コイル 11 と同様の構成を有し、コア 22 に巻数 N のコイル 23 を巻回してなる。コア 22 は、例えば、図示する寸法を有する枠状体の一辺にギャップ長 L_g (5 mm) のギャップ 24 が設けられた形状を有する。

コイル 23 は、電圧 50 V 、周波数 1 MHz のフルブリッジ高周波電源 (図示せず) に接続されている。

なお、図 3 (a) に示す誘導加熱コイル 11 ではなく、図 1 (a) に示す 2 つのコイルが巻回された誘導加熱コイル 1 を用いてもよい。

[0045] ギャップ 24 の外側の、湾曲磁界が存在する領域には被加熱試料 25 が配

置されており、被加熱試料 25 の上方には、被加熱試料 25 の温度分布を測定するためのサーモグラフィー 26 が設けられている。

コイル 23 に周波数 1 MHz、電流 8 A の高周波を 5 秒間流し、被加熱試料 25 の誘導加熱を行った。なお、被加熱試料 25 としては、平均粒径約 1 mm の鉄粒子を用いた。

被加熱試料 25 の上方に配置されたサーモグラフィー 26 により、被加熱試料 25 である鉄粒子の温度を測定したところ、鉄粒子は、室温 18℃ から 193.7℃ 上昇した。

[0046] 比較例

コイル 23 に周波数 75 kHz において、共振する回路定数を与え、エネルギーの投入条件を同等にして、電流 8 A の高周波を 5 秒間流し加熱したところ、鉄粒子は、室温 17.8℃ から 6.9℃ しか上昇しなかった。また、3 秒間加熱しても、16.0℃ しか上昇せず、5 分間加熱しても 16.8℃ しか上昇しなかった。

[0047] 参考例

図 4 に示す誘導加熱装置 21 のコア 22 にコイル 23 を 10 回巻き、周波数 1 MHz、電流 7 A の高周波を 5 秒間流し、被加熱試料 25 をギャップ 24 内の中心に配置して誘導加熱を行った。なお、被加熱試料 25 としては、木製の支持棒に固定した 300 μm の鋼球 (SUS304) を用いた。コア 22 の正面に配置したサーモグラフィー (図示せず) により、被加熱試料 25 である鋼球の温度を測定したところ、鋼球は室温 17.3℃ から 9.8℃ 上昇した。さらに、鋼球から指示棒に熱伝導が行われ、サーモグラフィー上では加熱された鋼球が 5～30 倍の大きさに拡大されて観察された。

[0048] 実施例 2

図 4 に示す誘導加熱装置 21 のコア 22 にコイル 23 を 8 回巻き、周波数 1 MHz、電流 8 A の高周波を 5 秒間流し、被加熱試料 25 をギャップ 24 の中心から 8.0 mm 上方に配置して誘導加熱を行った。なお、被加熱試料 25 としては、木製の支持棒に固定した 1.0 mm の鋼球 (SUJ-2) を用

いた。コア 22 の正面に配置したサーモグラフィー（図示せず）により、被加熱試料 25 である鋼球の温度を測定した。

[0049] 同様の実験を、図 7 のようにギャップ 24 の中心から 8.0 mm 上方を原点とし、被加熱試料 25 の位置を原点から側面方向（x 方向とする）に 1.0 mm ずつ移動して誘導加熱した結果を図 8 に、正面方向（y 方向とする）に 1.0 mm ずつ移動して誘導加熱した結果を図 9 にそれぞれ示す。なお、図 8 及び図 9 の横軸はそれぞれ x（原点から側面方向の距離）、y（原点から正面方向の距離）であり、縦軸はいずれも室温 21.1℃ から上昇した温度を示す。

[0050] 図 8 及び図 9 から、ギャップ 24 の直上のみでなく、ギャップ 24 の直上から水平方向に、前後左右に移動した位置においても、鋼球の温度上昇が観測され、本加熱方法の有効な範囲が広範囲に渡ることが確認できた。

以上のように、周波数 1 MHz の高周波を用いて誘導加熱を行うことにより、平均粒径 1 mm という微小の鉄粒子を、5 秒間という短期間に約 200℃ の昇温という急速加熱を行うことが可能であることがわかる。

以上説明した本発明の第 1 の実施形態は、金属材料の様々な加熱に適用することが出来る。例えば、金属材料の溶融、半溶融、若しくは、金属材料と他素材の接合、溶着、更には、金属材料性を加熱し、その金属の発熱を利用して、非磁性で絶縁体素材の微細加工への応用などが考えられる。

[0051] 次に、本発明の第 2 の実施形態について説明する。

誘導加熱コイルの中に金属を配置し、コイルに高周波電流を流すと、コイルに発生する磁界の作用により金属に渦電流が発生し、これにより金属が加熱されることはよく知られている。更にこの応用技術として、コアを入れギャップを設けることにより、この現象を利用して、ギャップに被検査体を配置し、被検査体に含まれる金属を検出することが出来る。

しかし、上述したように、このような方法では、被検査体としてギャップに配置可能な小さいサイズのものしか用いることはできない。

[0052] 本実施形態では、磁極間のギャップだけでなくギャップの外側にも、磁束

密度の高い漏洩磁界（湾曲磁界）が発生する現象に着目し、ギャップの外側に被検査体を配置して、その中に含まれる金属を検出することを可能とした。なお、このような湾曲磁界は、特に誘導加熱コイルの磁極間のギャップを狭めた場合に発生する。

その結果、長尺な被検査体と誘導加熱コイルとを相対的に被検査体の長手方向に移動させつつ、被検査体を検査し、その中に含まれる金属を連続的に検出することが可能となった。

[0053] 被検査体としては、特に限定されないが、例えば、異物である金属の混入を検査するための樹脂シートや樹脂ペレットに応用ができる。

本実施形態は、このような知見に基づきなされたものである。

[0054] 図5は、本実施形態に係る金属検出装置の概略を示す図である。図5に示す金属検出装置では、図1に示す誘導加熱コイル1の上に近接して、被検査体としての、例えば樹脂シート36が配置されている。樹脂シート36の右側上方には、赤外線検出器39が配置されている。

[0055] まず、誘導加熱コイル31のコイルに高周波電源（図示せず）から高周波電流を流すとともに、誘導加熱コイル31を樹脂シート36の上面に対し走査する。コイル33に高周波電流が流れると、ギャップ34の近傍に湾曲磁界35が発生し、この湾曲磁界内の樹脂シート36の部分に金属37が存在すると、金属37に渦電流が生じ、加熱される。金属37が加熱されると、樹脂シート36の金属37の周辺部38も昇温する。これら金属37及び周辺部38から発する赤外線40を赤外線検出器39により検出することにより、樹脂シート36に含まれる金属37の存在を検出することが容易にできる。金属の発熱が周囲の非金属に伝熱することによる熱拡大も検出の一助となる。

[0056] この場合、誘導加熱コイル31を樹脂シート36の全面に対し走査することにより、樹脂シート36の全体に対し金属の存在の有無を検査することができる。あるいは、樹脂シート36の任意の領域を走査し、検査することも可能である。

本実施形態に係る金属検出装置において、誘導加熱コイル 31 に流す高周波としては、既に記述したが高い周波数であることが好ましく、 $100\text{kHz} \sim 100\text{MHz}$ が好ましい。このように 100kHz 以上の高周波を用いることにより、粒径 3mm 以下の微小金属を短時間で検出することが可能である。

[0057] 被検査体である樹脂シート 36 に含まれる金属 37 及び周辺部 38 から発する赤外線 40 を赤外線検出器 39 により精度よく検出するためには、金属が所定の発熱量を有することが必要である。この場合、発熱量は、金属 37 に生ずる渦電流量に依存し、渦電流量は磁束密度に依存する。磁束密度はコイル 33 の巻数 N 及び高周波の電流 I に依存するので、コイル 33 の巻数 N 及び高周波の電流 I を制御することにより、赤外線検出器 39 により精度よく検出可能な金属 37 の発熱量とすることが可能である。

[0058] 以上の説明では、誘導加熱コイル 31 を移動して樹脂シート 36 の全面を走査したが、誘導加熱コイル 31 を固定し、樹脂シート 36 を移動することも可能である。

なお、誘導加熱コイル 31 のギャップの直上に赤外線検出器 39 を配置し、垂直な位置から発熱部を検出した場合には、ギャップ近傍全体が発熱として検出されてしまい、金属 37 の発熱を正確に検出することが困難な場合がある。このような場合、図 5 に示すように、赤外線検出器 39 を樹脂シート 36 の移動方向下流側に配置し、斜め方向から赤外線を検出することが望ましい。

以上説明した本発明の第 2 の実施形態に係る金属材料検出装置によると、被検査体に含まれる金属を、高周波を用いた誘導加熱により短時間で加熱することにより、その発熱を赤外線センサーにより高精度に検出することが可能である。また、その金属と被検査体に伝導した発熱を含めて検出できるため、更に容易に、また、簡便に検出が可能である。

[0059] 図 6 は、本発明の第 3 の実施形態に係る金属検出装置を示す図である。図 5 に示す金属検出装置では、金属 37 及び周辺部 38 から発する赤外線 40

を赤外線検出器 39 により検出したが、図 6 に示す金属検出装置では、被検査体が非耐熱性樹脂シート 42 である場合に、それに含まれる金属 43 の発熱によりその周囲の非耐熱性樹脂を溶融して空孔化し、その空孔 46 を検出するものである。

即ち、図 6 において、図 5 に示す誘導加熱コイル 31 と同様の構成の誘導加熱装置 41 が配置され、この誘導加熱装置 41 に隣接して光源 45 が配置されており、光源 45 の上方に CCD カメラ 48 が設置されている。

[0060] 右方向に走行する非耐熱性樹脂シート 42 に含まれる金属 43 が、誘導加熱装置 41 により加熱されると発熱し、周囲の非耐熱性樹脂 44 が溶融する。溶融した非耐熱性樹脂 44 の部分は更に微細な空孔 46 となり、光源 45 からの光 47 を透過して、光の拡散により拡大して CCD カメラ 48 に撮像される。撮像された画像は、モニター 49 により画像 50 として映し出される。

なお、図 6 に示す例では、非耐熱性樹脂シート 42 を走行させて誘導加熱装置 41 に対し走査したが、非耐熱性樹脂シート 42 を固定して、誘導加熱装置 41、光源 45 及び CCD カメラ 48 を移動してもよい。

[0061] また、図 6 に示す例では、空孔 46 からの透過光が拡散され拡大した光を CCD カメラ 48 により撮像し、金属 43 の存在を検出したが、電極を設けて空孔 46 内の導通や電気容量の変化を測定し、それによって金属 43 の存在を検出することも可能である。

以上説明した本発明の第 3 の実施形態に係る金属検出装置によると、被検査体に含まれる金属を、短時間で加熱し、その周囲を溶融・空孔化することにより、その微細な空孔を CCD カメラにより高精度に検出することが可能である。

[0062] 以上の本発明の第 3 の実施形態では、被検査体として非耐熱性樹脂シートを用い、金属の周辺を溶融・空孔化したが、空孔化に至らない、変色、変形化し、視覚的に検出可能としてもよい。即ち、金属の周辺の表層部を焦がして褐色化または黒色化してもよく、また、金属の周辺の表層部を隆起や陥没

させてもよい。このような金属の周辺の変色、変形化することにより、金属の存在を誇張し、検出し易くすることができる。

[0063] 次に、本発明の第4の実施形態について説明する。第2及び第3の実施形態では、被検査体に含まれる金属の存在の有無を検査したが、本実施形態では、被検査体に含まれる金属の種類を検出する。

即ち、上述の第2の実施形態において、樹脂シート36に含まれる金属37及び周辺部38から発する赤外線40を赤外線検出器39により検出しているが、発熱した金属37からの赤外線の放射率は、金属の種類により相違する。従って、金属37からの赤外線の放射率を検出すれば、金属37の種類を特定することができる。

[0064] 金属の種類と赤外線の放射率は、例えば、波長1 μm に対する放射率として下記の通りである。

鉄の場合：非酸化面 0.35、酸化面 0.85

真鍮の場合：酸化面 0.7

銅の場合：0.06

アルミニウムの場合：非酸化面 0.13、酸化面 0.4

例えば、鉄を検出したい場合、赤外線センサー39の代わりに放射温度計を設置し、放射温度計の放射率を0.85に設定しておく、鉄以外の金属は放射率が0.85ではないため検出できないが、鉄を検出することができる。

[0065] また、異なる放射率に設定した放射温度計を複数個、設置しておけば、複数種の金属の種類を特定することが可能である。

また、金属の種類の特特定は、高周波の周波数の制御によっても行うことができる。即ち、高周波により金属を誘導加熱する場合、金属の種類に応じて適正加熱周波数が存在する。従って、検出の対象となる金属の適正加熱周波数により被検査体に含まれる金属を誘導加熱すれば、他の金属を加熱することなく目的の金属を加熱することができるので、目的金属を検出することが可能である。

[0066] この場合、適正加熱周波数は大きな金属（数cm以上）の金属では形状、サイズ、昇温速度、電源等により異なるが、例えば、下記の通りである。

鋼（1200℃）：500Hz～1kHz

ステンレス／18-8（1200℃）：1kHz

真鍮（1800℃）：500Hz～3kHz

銅（850℃）：50Hz～10kHz

アルミニウム（500℃）：50Hz～10kHz

しかし、今回のように100kHz以上の高い周波数で微小金属の加熱を行う場合でも、本発明の第4の実施形態によれば100kHz以上での適正周波数と温度上昇率から、被検査体に含まれる金属の存在の有無の検出にとどまらず、金属の種類を特定することが可能である。

産業上の利用可能性

[0067] このように微小金属の加熱技術は、ピンポイントで金属の一部を短時間で加熱することにより、微細金属加工であったり、微細な金属同士の溶着、金属微小ヘッドを持つ樹脂の熱加工機、さらには、がん細胞に金属片を挿入し焼損させる加熱ヘッドなどに応用分野を広げることが可能である。

符号の説明

[0068] 1, 11, 31…誘導加熱コイル
2, 2a, 12, 22, 32…ヨークコア
2b…ヨーク
3, 13, 23, 33…コイル
4, 14, 24, 34…ギャップ
5, 5a, 5b, 35…湾曲磁界
21, 41…誘導加熱装置
25…被加熱試料
26…サーモグラフィー
36…樹脂シート
37, 43…金属

- 3 8 …金属材料周辺部
- 3 9 …赤外線検出器
- 4 0 …赤外線
- 4 2 …非耐熱性樹脂シート
- 4 4 …熔融樹脂
- 4 5 …光源
- 4 6 …空孔
- 4 7 …光
- 4 8 …C C D カメラ
- 4 9 …モニター
- 5 0 …画像

請求の範囲

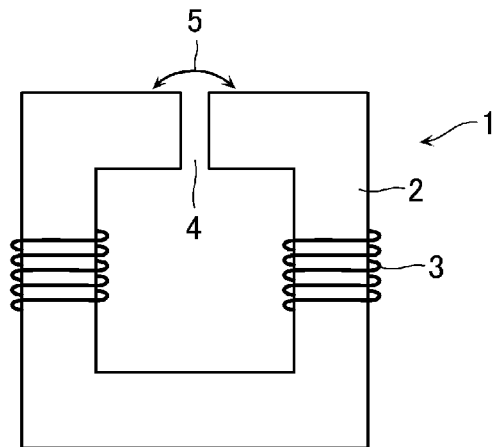
- [請求項1] 磁極間のギャップを有する枠状ヨークコアにコイルを巻回してなる誘導加熱手段を前記ギャップの外側に、金属材料を配置する工程、及び 前記コイルに高周波を流し、前記ギャップの外側に湾曲磁界を発生させ、前記金属材料に湾曲磁界を作用させ、前記湾曲磁界により生じた電磁誘導によって前記金属材料を加熱する工程を具備する金属材料の加熱方法。
- [請求項2] 前記コイルに100kHz以上の高周波を流す請求項1に記載の金属材料の加熱方法。
- [請求項3] 前記金属材料の粒径は、 $20\mu\text{m}$ ～3mmである請求項1に記載の金属材料の加熱方法。
- [請求項4] 前記金属材料は、鉄、鋼、ステンレス、真鍮、銅、アルミニウム、及びこれらの1種以上を含む合金からなる群から選ばれた1種である請求項1に記載の金属材料の加熱方法。
- [請求項5] 磁極間のギャップを有する枠状ヨークコアにコイルを巻回してなる誘導加熱手段の前記ギャップの外側に、金属を含む被検査体を配置する工程、
前記コイルに高周波を流し、前記ギャップの外側に湾曲磁界を発生させ、前記金属に湾曲磁界を作用させ、前記湾曲磁界による電磁誘導によって前記金属を加熱する工程、及び
前記被検査体内に含まれる金属の発熱を検出する工程を具備する金属の検出方法。
- [請求項6] 前記コイルに100kHz以上の高周波を流す請求項5に記載の材料の検出方法。
- [請求項7] 前記金属の粒径は、 $20\mu\text{m}$ ～3mmである請求項5に記載の材料の検出方法。
- [請求項8] 前記金属は、鉄、鋼、ステンレス、真鍮、銅、アルミニウム、及びこれらの1種以上を含む合金からなる群から選ばれた1種である請求

項5に記載の金属の検出方法。

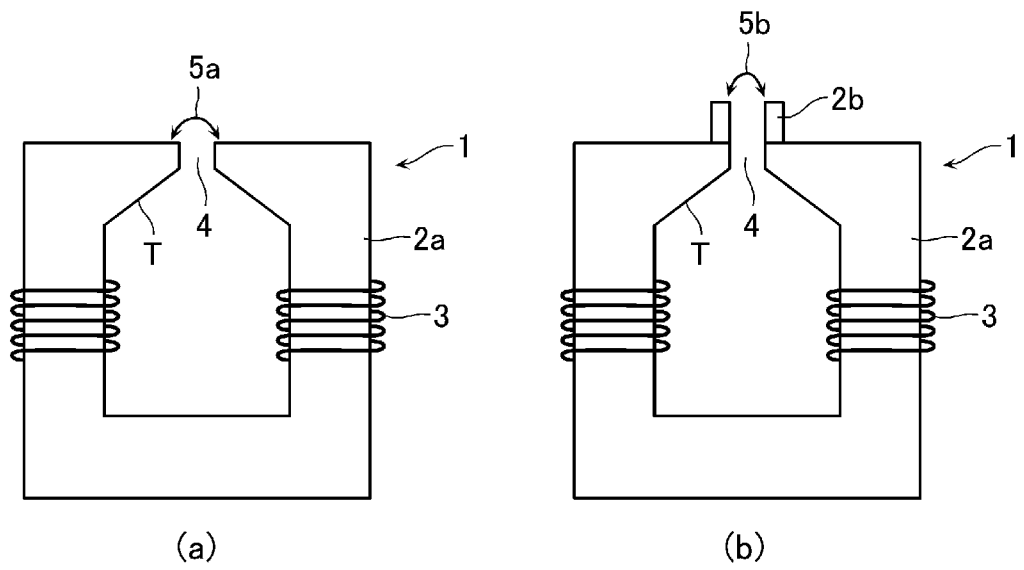
- [請求項9] 磁極間のギャップを有する枠状ヨークコアにコイルを巻回してなり、前記ギャップ近傍に湾曲磁界を発生させ、前記ギャップ近傍に配置された被検査体に前記湾曲磁界を作用させる誘導加熱手段、
前記被検査体と前記湾曲磁界発生手段とを相対的に移動させ、前記被検査体の被検査部を前記誘導加熱手段により走査する手段、及び
前記湾曲磁界による電磁誘導によって加熱された前記被検査体内に含まれる金属の発熱及び周囲への伝熱を検出する手段
を具備する金属の検出装置。
- [請求項10] 前記枠状ヨークコアの磁極の下面のギャップ間隙までが緩やかに傾斜していることを特徴とする請求項9に記載の金属の検出装置。
- [請求項11] 前記枠状ヨークコアの磁極の上面には、ヨークが設けられていることを特徴とする請求項9に記載の金属の検出装置。
- [請求項12] 前記金属の発熱を検出する手段は、金属から発生する赤外線を検出する赤外線センサーである請求項9に記載の金属の検出装置。
- [請求項13] 前記赤外線センサーは、前記湾曲磁界発生手段に対し相対的に移動する前記被検査体の下流側に配置されることを特徴とする請求項12に記載の金属の検出装置。
- [請求項14] 前記金属の発熱を検出する手段は、前記金属から発生した熱による金属近傍の被検査体の変色及び／又は変形を検知する手段であることを特徴とする請求項9に記載の金属の検出装置。
- [請求項15] 前記金属の発熱を検出する手段は、前記金属から発生した熱による金属近傍の被検査体に形成された空孔を検知する手段であることを特徴とする請求項9に記載の金属の検出装置。
- [請求項16] 前記金属の発熱を検出する手段は、前記金属の種類に対応する放射率の赤外線を検出する放射温度計であることを特徴とする請求項9に記載の金属の検出装置。
- [請求項17] 前記誘導加熱手段は、前記金属の種類に適正な加熱周波数に応じて

高周波が制御されることを特徴とする請求項 9 に記載の金属の検出装置。

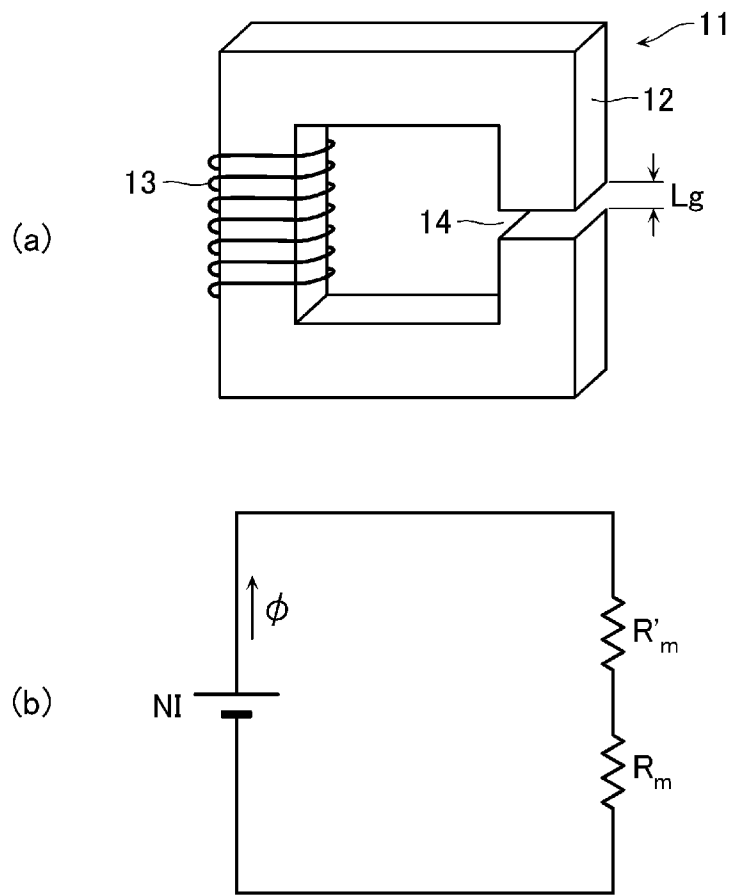
[図1]



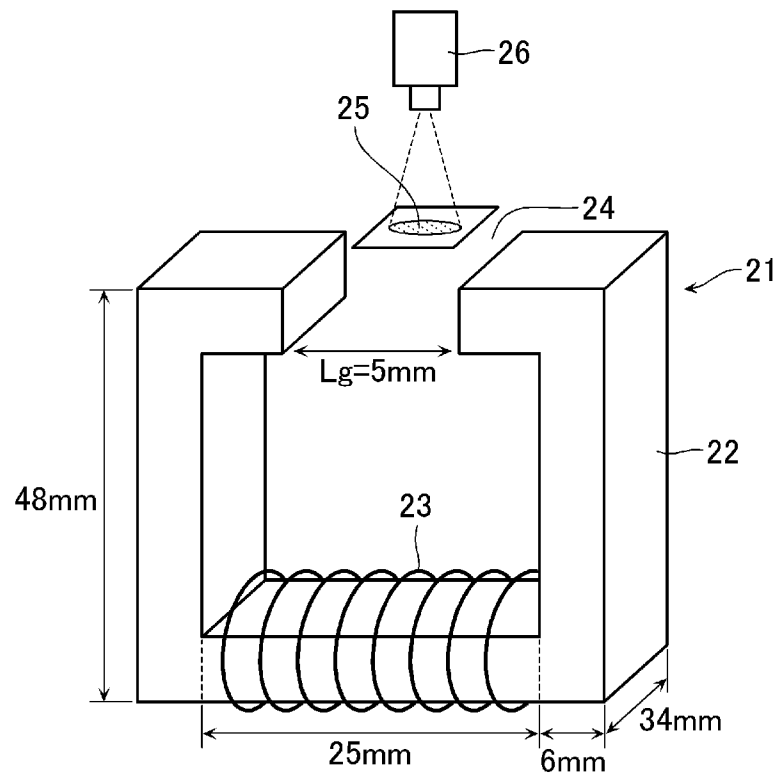
[図2]



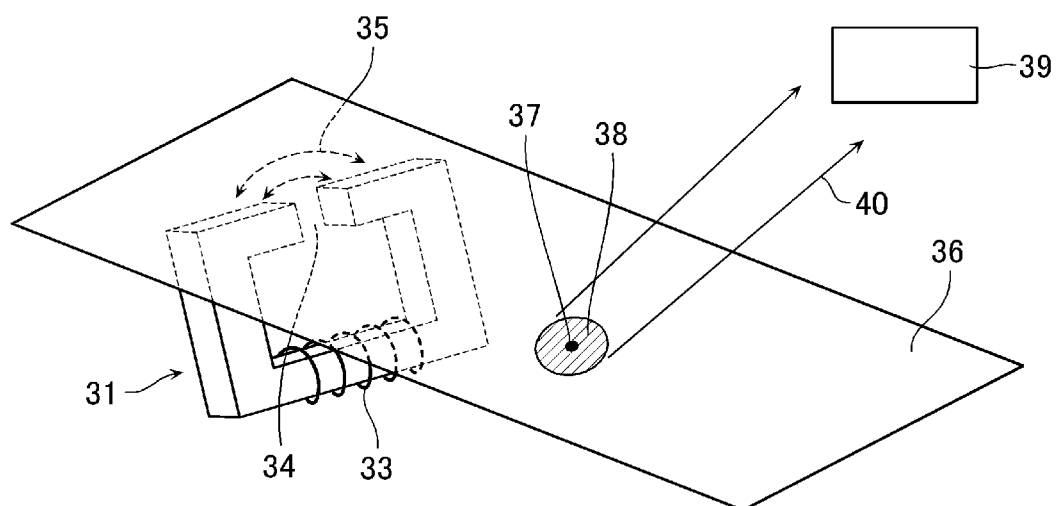
[図3]



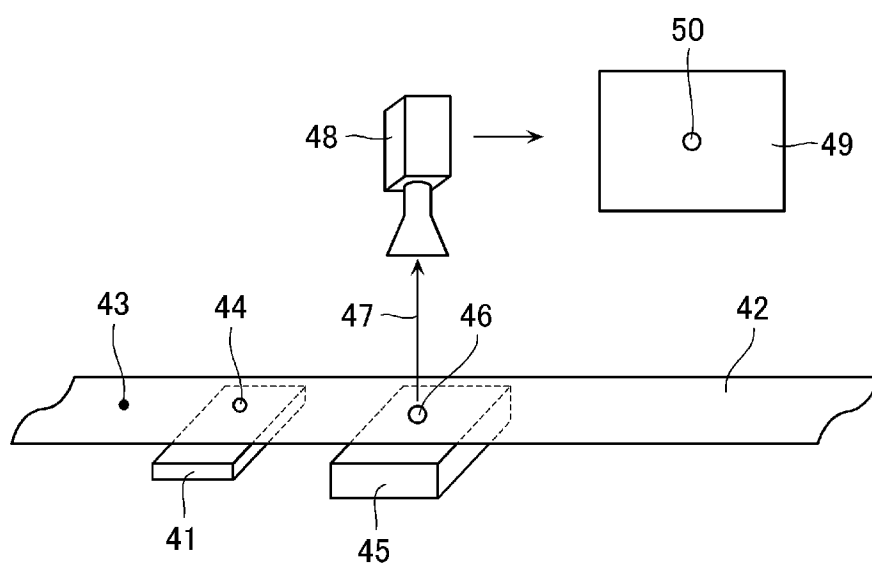
[図4]



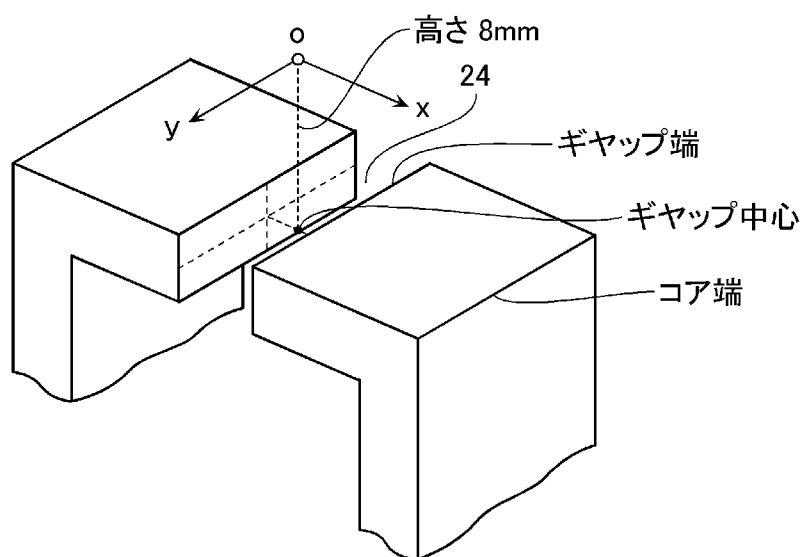
[図5]



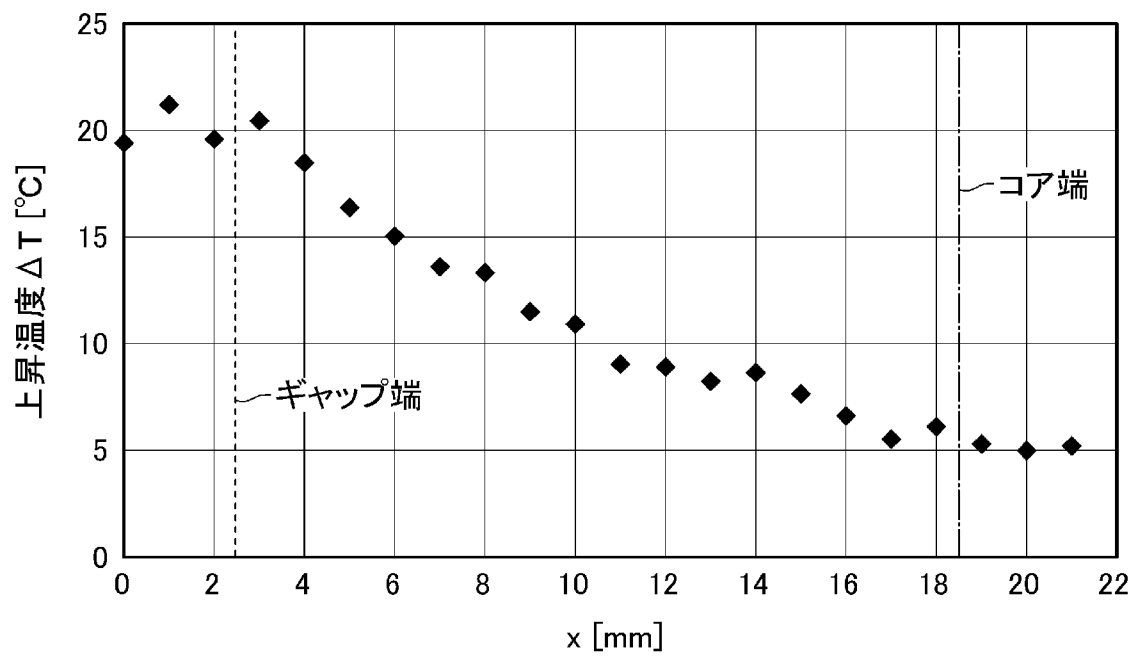
[図6]



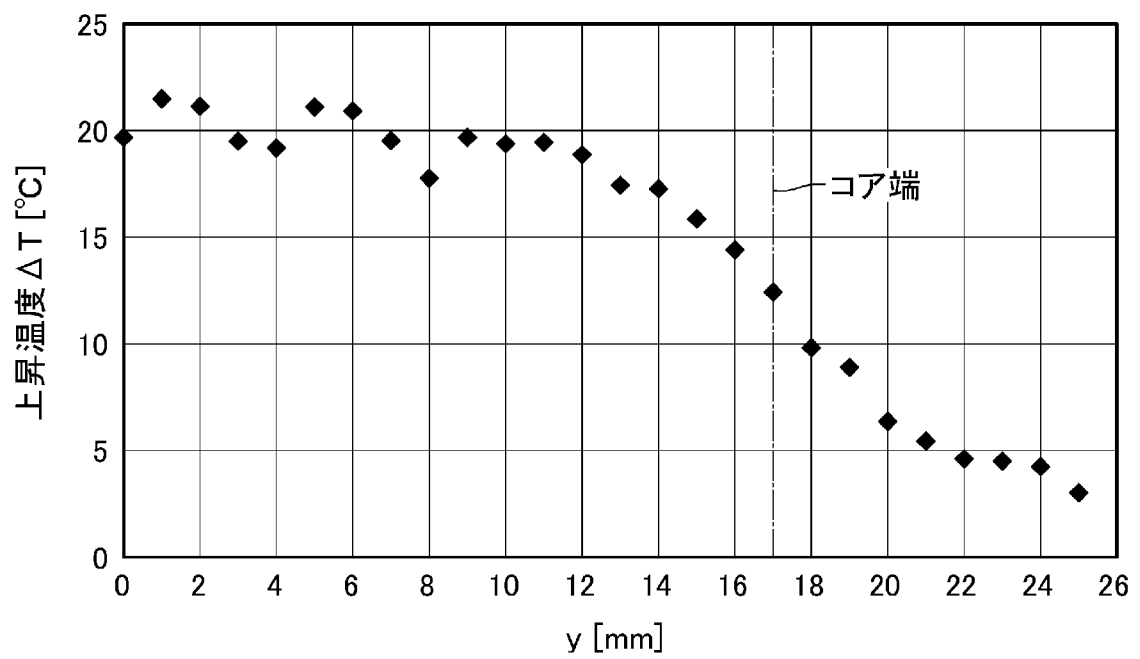
[図7]



[図8]



[図9]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/055383

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H05B6/10(2006.01)i, B22F1/00(2006.01)i, H05B6/04(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H05B6/10, B22F1/00, H05B6/04

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2006-125937 A (Nitto Denko Corp.), 18 May 2006 (18.05.2006), entire text; all drawings (Family: none)	1-12, 14-17 13
Y	JP 2004-525824 A (Tetra Laval Holdings & Finance S.A.), 26 August 2004 (26.08.2004), paragraphs [0012], [0015], [0019]; fig. 1, 2 & US 2004/0060928 A1 & EP 1360114 A & WO 2002/060759 A1	1-12, 14-17
Y	JP 11-170271 A (Kobe Steel, Ltd.), 29 August 1999 (29.08.1999), paragraph [0015]; fig. 1, 2 (Family: none)	11

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
08 May, 2014 (08.05.14)

Date of mailing of the international search report
20 May, 2014 (20.05.14)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H05B6/10(2006.01)i, B22F1/00(2006.01)i, H05B6/04(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H05B6/10, B22F1/00, H05B6/04

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 4 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 4 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 4 年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y A	JP 2006-125937 A（日東電工株式会社）2006.05.18, 全文, 全図（ファミリーなし）	1-12, 14-17 13
Y	JP 2004-525824 A（テトラ ラバル ホールディングス エ フィナンス ソシエテ アノニム）2004.08.26, 段落【0012】、【0015】、【0019】、図1、図2 & US 2004/0060928 A1 & EP 1360114 A & WO 2002/060759 A1	1-12, 14-17
Y	JP 11-170271 A（株式会社神戸製鋼所）1999.08.29,	11

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

0 8 . 0 5 . 2 0 1 4

国際調査報告の発送日

2 0 . 0 5 . 2 0 1 4

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

土屋 正志

3 L

3 7 3 9

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 3 3 7

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
	【0015】，図1，図2（ファミリーなし）	