

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4854567号  
(P4854567)

(45) 発行日 平成24年1月18日(2012.1.18)

(24) 登録日 平成23年11月4日(2011.11.4)

(51) Int. Cl.	F 1		
<b>H05B 6/06 (2006.01)</b>	H05B 6/06	301	
<b>H05B 6/10 (2006.01)</b>	H05B 6/10	341	
<b>H05B 6/44 (2006.01)</b>	H05B 6/06	393	
<b>H02M 7/48 (2007.01)</b>	H05B 6/44		
<b>H02M 7/5387 (2007.01)</b>	H02M 7/48		A
請求項の数 5 (全 14 頁) 最終頁に続く			

(21) 出願番号 特願2007-93495 (P2007-93495)  
 (22) 出願日 平成19年3月30日(2007.3.30)  
 (65) 公開番号 特開2008-251440 (P2008-251440A)  
 (43) 公開日 平成20年10月16日(2008.10.16)  
 審査請求日 平成21年3月10日(2009.3.10)

早期審査対象出願

(73) 特許権者 000005902  
 三井造船株式会社  
 東京都中央区築地5丁目6番4号  
 (74) 代理人 100091306  
 弁理士 村上 友一  
 (72) 発明者 内田 直喜  
 岡山県玉野市玉3丁目1番1号 三井造船  
 株式会社玉野事業所内  
 (72) 発明者 矢部 泰司  
 岡山県玉野市玉3丁目1番1号 三井造船  
 株式会社玉野事業所内  
 (72) 発明者 川中 啓二  
 岡山県玉野市玉3丁目1番1号 三井造船  
 株式会社玉野事業所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 誘導加熱方法および誘導加熱装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

隣接して配置された複数の誘導加熱コイルのそれぞれに対応させて設けられたインバータと、前記複数の誘導加熱コイル間に被加熱物を搬送する搬送手段とを有する誘導加熱装置による被加熱物の加熱方法であって、

前記インバータは前記搬送手段による被加熱物の搬送状態に応じて前記誘導加熱コイルに対する電力の供給方式を異ならせ、

前記被加熱物が定常搬送されている場合には、隣接して配置された各誘導加熱コイルに供給する電流の周波数をそれぞれ乖離させつつ、電流周波数の制御により前記電力の調整を行い、

前記被加熱物の搬送が停止、あるいは定常搬送よりも低速となった場合には、各誘導加熱コイルに供給する電流の周波数を一致させ、各誘導加熱コイルに供給される電流波形を同期、または予め定めた位相差を保つように制御しつつ、1周波間におけるデューティ比を調整して前記電力の調整を行い、

前記被加熱物を昇温させることを特徴とする誘導加熱方法。

【請求項2】

前記被加熱物の搬送が停止、あるいは定常搬送よりも低速となった場合における前記インバータの電力調整は、各誘導加熱コイルによる加熱領域に位置する被加熱物の温度分布を測定し、

測定された被加熱物の温度と昇温目標とする温度とを比較し、

供給電力の増減を図ることを特徴とする請求項 1 に記載の誘導加熱方法。

【請求項 3】

隣接して配置された複数の誘導加熱コイルのそれぞれに対応させて設けられたインバータと、前記複数の誘導加熱コイル間に被加熱物を搬送する搬送手段とを有する誘導加熱装置であって、

前記インバータには、隣接して配置された前記誘導加熱コイルに供給される電流の周波数をそれぞれ所定値以上乖離させつつ電流周波数の制御による電力調整を行う周波数制御と、複数の前記誘導加熱コイルのそれぞれに供給される電流の周波数を一致させた状態で各誘導加熱コイルに供給される電流波形の位相を同期または予め定めた位相差を保つように制御しつつ 1 周波間におけるデューティ比を調整して前記電力の調整を行うゾーンコントロール制御と、の切替制御運転を可能とする電力制御部が接続され、

前記電力制御部は、定常運転時における前記周波数制御と、保温運転時における前記ゾーンコントロール制御との切り替えを行う信号の入力に基づいて、前記切替制御運転を行うことを特徴とする誘導加熱装置。

【請求項 4】

前記搬送手段には、前記被加熱物の搬送速度を検出すると共に前記電力制御部に対して、検出した搬送速度を示す信号を出力する搬送速度検出手段が接続され、

前記電力制御部には、入力された前記搬送速度を示す信号に基づいて、前記周波数制御と前記ゾーンコントロール制御との間で制御モードを設定する判定手段を設けたことを特徴とする請求項 3 に記載の誘導加熱装置。

【請求項 5】

前記インバータをハーフブリッジ型とし、前記インバータと誘導加熱コイルとの間に変圧器を設けることなく両者を接続したことを特徴とする請求項 3 または請求項 4 に記載の誘導加熱装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は誘導加熱方法および装置に係り、特にビレットヒータ等、被加熱物を搬送、あるいは停止させながら誘導加熱する場合に好適な方法、および装置に関する。

【背景技術】

【0002】

ビレットヒータに代表される、被加熱物搬送型の誘導加熱装置では、後段に配置された熱間鍛造プレス等の加工装置の点検や故障に伴う搬送停止状態からの復帰時における被加熱物の温度制御が問題視されており、特許文献 1 から 3 に示すように、種々の解決策が提案されている。ここで、特許文献 1、2 は複数の誘導加熱コイルとこれに対応させた複数のインバータにより被加熱物の加熱制御を行う技術が提示されており、特許文献 3 には単一の誘導加熱コイルを有する装置にて被加熱物の温度制御を行う技術が提示されている。

【0003】

このような技術指向の違いは、加熱装置を製造するためのコスト面を重視する場合、制御温度の精度面を重視する場合といった観点から分別することができる。すなわち、特許文献 3 に開示されているような単一の誘導加熱コイル、単一のインバータにより被加熱物の温度制御を行う装置は、コスト面での優位性があるといえる。しかし、工業的に被加熱物を加熱制御するという精度の面では、特許文献 1、2 に開示されている技術の方が優れているといえる。誘導加熱コイルの分割数を増やすほど、停止あるいは低速運転時における昇温パターンを定常運転時の昇温パターンに近づけて加熱制御することができるからである。

【特許文献 1】特開平 7 - 249478 号公報

【特許文献 2】特開平 10 - 144462 号公報

【特許文献 3】特開 2002 - 151246 号公報

【発明の開示】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0004】

上記特許文献1、2に開示されているような誘導加熱装置によれば確かに、停止あるいは低速運転時における昇温パターンから定常運転時における昇温パターンへの復帰時間を短くすることができると考えられる。しかし、特許文献1、2に開示されているような誘導加熱装置では、各加熱ブロックを構成する誘導加熱コイルを近接配置した場合には近接する誘導加熱コイル間において相互誘導が生ずることとなり、電力制御が困難となる可能性がある。また、相互誘導の影響を受けないほどに隣り合う誘導加熱コイル間に隙間をあけた場合には、コイル間に位置する被加熱物の温度は低下してしまうこととなる。また、相互誘導の影響を回避するために、近接配置する誘導加熱コイルに供給する電流の周波数を乖離させるという手段を採る方法も考えられるが、この場合であっても、誘導加熱コイル間の加熱効率は低下するため、搬送停止時に2つの誘導加熱コイルの境界部分に位置した被加熱物、あるいはその被加熱物の一部は、前後の被加熱物に比べて低温状態のままビレットヒータから排出される可能性がある。

10

## 【0005】

そこで本発明では、停止時あるいは低速運転時における被加熱物の温度分布制御を高精度に行い、従来よりもさらに捨て材を減らすことができる誘導加熱方法、およびこれらを比較的安価に、かつコンパクトに実現することのできる装置を提供することを目的とする。

## 【課題を解決するための手段】

20

## 【0006】

上記目的を達成するための、本発明に係る誘導加熱方法は、隣接して配置された複数の誘導加熱コイルのそれぞれに対応させて設けられたインバータと、前記複数の誘導加熱コイル間に被加熱物を搬送する搬送手段とを有する誘導加熱装置による被加熱物の加熱方法であって、前記インバータは前記搬送手段による被加熱物の搬送状態に応じて前記誘導加熱コイルに対する電力の供給方式を異ならせ、前記被加熱物が定常搬送されている場合には、隣接して配置された各誘導加熱コイルに供給する電流の周波数をそれぞれ乖離させつつ、電流周波数の制御により前記電力の調整を行い、前記被加熱物の搬送が停止、あるいは定常搬送よりも低速となった場合には、各誘導加熱コイルに供給する電流の周波数を一致させ、各誘導加熱コイルに供給される電流波形を同期、または予め定めた位相差を保つように制御しつつ、1周波間におけるデューティ比を調整して前記電力の調整を行い、前記被加熱物を昇温させることを特徴とする。

30

## 【0007】

また、上記のような特徴を有する誘導加熱方法では、前記被加熱物の搬送が停止、あるいは定常搬送よりも低速となった場合における前記インバータの電力調整は、各誘導加熱コイルによる加熱領域に位置する被加熱物の温度分布を測定し、測定された被加熱物の温度と昇温目標とする温度とを比較し、供給電力の増減を図るようにすると良い。

## 【0008】

また、上記目的を達成するための本発明に係る誘導加熱装置は、隣接して配置された複数の誘導加熱コイルのそれぞれに対応させて設けられたインバータと、前記複数の誘導加熱コイル間に被加熱物を搬送する搬送手段とを有する誘導加熱装置であって、前記インバータには、隣接して配置された前記誘導加熱コイルに供給される電流の周波数をそれぞれ所定値以上乖離させつつ電流周波数の制御による電力調整を行う周波数制御または位相角制御と、複数の前記誘導加熱コイルのそれぞれに供給される電流の周波数を一致させた状態で各誘導加熱コイルに供給される電流波形の位相を同期、または予め定めた位相差を保つように制御しつつ、1周波間におけるデューティ比を調整して前記電力の調整を行うゾーンコントロール制御と、の切替制御運転を可能とする電力制御部が接続され、前記電力制御部は、定常運転時における前記周波数制御と、保温運転時における前記ゾーンコントロール制御との切り替えを行う信号の入力に基づいて、前記切替制御運転を行うことを特徴とする。

40

50

## 【0009】

また、上記のような構成の誘導加熱装置では、前記搬送手段には、前記被加熱物の搬送速度を検出すると共に前記電力制御部に対して、検出した搬送速度を示す信号を出力する搬送速度検出手段が接続され、前記電力制御部には、入力された前記搬送速度を示す信号に基づいて、前記周波数制御と前記ゾーンコントロール制御との間で制御モードを設定する判定手段を設けるようにすると良い。

## 【0010】

さらに、上記のような構成の誘導加熱装置では、前記インバータをハーフブリッジ型とし、前記インバータと誘導加熱コイルとの間に変圧器を設けることなく両者を接続することが望ましい。

## 【発明の効果】

## 【0011】

上記のような特徴を有する誘導加熱方法および装置によれば、停止時あるいは低速運転時における被加熱物の温度分布制御を高精度に行うことができ、定常運転復帰時における被加熱物に温度ムラが生ずる虞が無い。また、各誘導加熱コイルに対する任意の電力供給により搬送停止時においても所望する昇温勾配を被加熱物に与えることができる。このため、従来よりもさらに捨て材を減らすことができるようになる。

## 【0012】

また、インバータをハーフブリッジ型とし、インバータと誘導加熱コイルとの間に変圧器を設けることなく両者を接続することによれば、上記効果を奏しつつ低コストで設置スペースの縮小化を図ることのできる誘導加熱装置とすることができる。

## 【発明を実施するための最良の形態】

## 【0013】

以下、本発明の誘導加熱方法、および誘導加熱装置に係る実施の形態について図面を参照しつつ詳細に説明する。

まず、図1を参照して本実施形態に係る誘導加熱装置10が適用される製品としてピレットヒータ100を例に挙げて説明する。ピレットヒータ100は少なくとも、被加熱物であるピレット130を加熱するための加熱炉110と、ピレット130を搬送するためのピンチローラ120、122、およびピレット130の搬送軌道を定める図示しないスキッドレールを有する。

## 【0014】

前記加熱炉110には、加熱源であって本実施形態に係る誘導加熱装置10を構成する複数(図1に示す形態では3つ)の誘導加熱コイル20(20a, 20b, 20c)が配置されている。本実施形態の場合、誘導加熱コイル20はソレノイド型であり、誘導加熱コイル20には、電力供給ユニット80が接続されている。また、各誘導加熱コイル20による加熱領域にはそれぞれ、ピレット130の温度を測定する温度測定手段(不図示)を設けるようにすると良い。測定温度に基づいてピレット130の温度分布制御を行うことにより、高精度な温度制御が可能となるからである。

## 【0015】

電力供給ユニット80は、各誘導加熱コイル20に対応して設けられた逆変換部(インバータ)30(30a, 30b, 30c)と、各インバータ30を総括して設けられた単一の、若しくは各インバータに対応して設けられた複数の順変換部(コンバータ)40と(図1に示す形態ではコンバータは単一としている)、各インバータ30から各誘導加熱コイル20に供給する電力を制御する電力制御部50とを有する。そして、前記コンバータ40は、商用電源(三相交流電源)70に接続されており、コンバータ40と三相交流電源70との間には変圧器(トランス)60が設けられている。

## 【0016】

本実施形態におけるインバータ30は、図2に示すように、いわゆるハーフブリッジ型の直列共振インバータである。ブリッジを構成するアームには、スイッチング素子36a1, 36a2(図2には、誘導加熱コイル20aに接続されたインバータ30a等の構成

10

20

30

40

50

を代表的に示す)と、これに対応させた電解コンデンサ34a1, 34a2が備えられている。ここで、スイッチング素子36a1, 36a2としては、I G B T (Insulated Gate Bipolar Transistor)、M O S F E T (Metal-Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)、S I T (Static Induction Transistor)等を採用することができる。このような構成のインバータ30aは、全ブリッジ型のインバータに比べてスイッチング素子の数を1/2とすることができ、製造コストを抑えることができる。また、ハーフブリッジ型のインバータを採用することにより、インバータ30aからの出力電圧をインバータ30aに対する入力電圧の1/2程度とすることができる。

【0017】

このような作用により、誘導加熱コイル20aにおける端子間電圧とインバータ30aからの出力電圧との電圧差を小さくすることができ、電流電圧のマッチングのために必要としていた高周波トランスを不要とし、両者を直接接続することができる。高周波トランスは誘導加熱装置を構成する上でその占有面積が大きく、高価であることより、各誘導加熱コイル20と各インバータ30との間に必要とされていた高周波トランスを不要とすることは、誘導加熱装置の製造コストおよび設置スペースの低減に大きく貢献することとなる。

【0018】

さらに、ビレット130の材質や大きさ、およびインバータ30からの出力電流の周波数設定値等により、共振先鋭度Qを低く抑えられる場合であれば、共振コンデンサ32(32a, 32b, 32c)も不要とすることができる。共振コンデンサ32は誘導加熱コイル20の端子間電圧として発生する無効電力分の電力を補うために必要とされているが、Q値が低くなれば、数式1

【数1】

$$\text{共振コンデンサの一次側電圧} = \frac{\text{誘導加熱コイルの端子間電圧}}{Q}$$

で示すことができる共振コンデンサの一次側電圧、すなわちインバータ30からの出力電圧に対する誘導加熱コイル20の端子間電圧を下げる可以降低。これは、無効電力を補う必要性が低くなるからである。すなわち、Q値の低下により無効電力分の電力を抑えることが可能となり、共振コンデンサ32が無い場合、すなわち通常のインバータ(共振型でないインバータ)であっても供給電力を補うことが可能となるということである。なおこの場合、高周波帯においてもスイッチングによる電力損失の少ないZVS(Zero Voltage Switching)運転を行うことが望ましい。ここで、ZVS運転を行う場合には、隣接して配置する誘導加熱コイルをそれぞれ、加極性となるように配置し、電流が電圧に対して遅れ位相となるようにして運転すると良い。このように、高周波トランスに加えて共振コンデンサを排除することにより、誘導加熱装置の製造コスト、および設置スペースをさらに低減することが可能となる。このような構成のインバータでは、詳細を後述するコンバータから出力された直流電流を交流電流へと変換すると共に、誘導加熱コイルに供給する電力の電流調整と、電流周波数の調整・同期制御が成される。

【0019】

また、前記コンバータ40は、詳細を図示しないが、サイリスタによってブリッジ回路を構成した整流回路である。このような構成とされるコンバータ40は、三相交流電源70から供給される三相交流電流を直流電流へと変換し、上記構成のインバータ30へと供給する。そして、このような構成のインバータ30とコンバータ40の間には、平滑コンデンサ42とインダクタンス44によって構成されるフィルタが配されている。

【0020】

また、前記電力制御部50は、各インバータ30から各誘導加熱コイル20に供給される電流の周波数の調整を行うと共に、各誘導加熱コイル20に供給する電流値の調整を行う作用を担う。上記インバータ30による電力制御は、電圧一定状態における電流周波数

10

20

30

40

50

の制御または電圧一定状態におけるパルス幅変調（PWM：Pulse Width Modulation）制御等で行われる。

【0021】

そして、本実施形態におけるインバータ30は、ピレットヒータ100の定常運転時と、停止あるいは低速運転時とにおいて、その電力制御方式の切替が成される。具体的には、ピレットヒータ100が定常運転している時、すなわちピンチローラ120、122が定常速度で回転している時は、電流周波数の制御（周波数制御）により電力制御を行い、ピンチローラ120、122の回転が停止、あるいは低速となった場合には、各インバータ30からの出力電流の周波数を一致させ、電流波形の位相を同期、または所定の位相差を保持させた状態、あるいはこれらに漸近させた状態において、PWM制御により電力制御を行う。このため、電力制御部50は、各運転時に設定された電力制御方式に合致するように、インバータ30に対して所定の制御信号を出力するように構成されている。

10

【0022】

具体的な制御信号の出力タイミングについては、次のように示すことができる。まず、定常運転時における制御信号の出力について説明する。本実施形態の場合、加熱炉110内に配置した3つの誘導加熱コイル20に対する供給電流の周波数をそれぞれ乖離させて運転しつつ、各誘導加熱コイル20に対して周波数制御による電流値調整を実施する。誘導加熱コイル20に供給する電流（回路内を流れる電流*i*）は、数式2、3および図3に示すように、電圧*V*を一定とした場合であっても、周波数を変えることにより、その値を変えることができる（等価回路として例えば図7参照）。

20

【数2】

$$i = \frac{V}{\left| R + j\omega L - j\frac{1}{\omega C} \right|}$$

【数3】

$$\omega = 2\pi fL$$

このため、電圧×電流で示される電力も、変化させることができる。ここで一般に、電力損失の少ないZVS運転をする場合には、上述したように、電圧波形に対して電流波形が遅れ位相となるように制御される。また、周波数の使用帯域は、共振周波数よりも高い周波数帯を使用する（図3参照）。

30

【0023】

また、本実施形態に係るピレットヒータ100では、加熱炉110の入口側に位置する誘導加熱コイル20aから、出口側に位置する誘導加熱コイル20cまで、それぞれ入力電流の周波数を1.5倍以上乖離させることにより、近接して配置した誘導加熱コイル間における相互誘導の影響を回避している。なお、周波数制御による電力調整時の周波数変化率は、一般的に全体の周波数の10%程度である。また、供給する電流の周波数は、入口側の誘導加熱コイル20aから出口側の誘導加熱コイル20cへ向けて段階的に向上させてゆくことが望ましい。

40

【0024】

そして、定常運転時の加熱炉110内環境は、空の状態、加熱状態のピレット130が収容されている状態、冷却状態（加熱されていない状態）のピレット130が収容されている状態等、様々な状態に遷移していく。誘導加熱コイル20はピレット130を囲繞するように配置しているため、ピレット130の流れにより加熱炉110内の内部環境が変化すると、そのインピーダンス（特に抵抗成分*R*とインダクタンス成分*L*）、及び固有共振周波数が変化する。この変化に対して周波数制御による運転では、各インバータ30a～30cからの出力電流の周波数を変化させることで、設定された電流値を確保することが可能となるのである（図4参照）。

ここで、周波数の調整は、例えばインバータ30aに備えられた2つのスイッチング素

50

子 3 6 a 1 , 3 6 a 2 に対する制御信号の入力切替によって行う。

【 0 0 2 5 】

次に、停止、あるいは低速運転時における制御信号の出力について説明する。停止、低速運転時におけるインバータ 3 0 a の制御は、定常運転時におけるインバータ 3 0 a の制御に比べて複雑となり、インバータ 3 0 a からの出力電流の周波数、電流波形の位相を考慮して行われることとなる。ここで、各インバータ 3 0 から各誘導加熱コイル 2 0 へ出力される電流は、図示しない変流器等を介して検出され、これに基づいて出力電流の周波数、電流波形の位相差等が検出あるいは算出されるように構成されている。電流波形の位相差は、3 つのインバータ 3 0 a , 3 0 b , 3 0 c からの各出力電流におけるゼロクロス間の差や、各出力電流におけるゼロクロスと基準波形のゼロクロスとの差、各出力電流にお

10

【 0 0 2 6 】

停止、低速運転時における各インバータ 3 0 からの出力電流の周波数は、それぞれ一致するようにスイッチング素子 3 6 a 1 , 3 6 a 2 への制御信号の出力タイミングが調整される。このようなインバータ制御を行った上で、上記のようにして検出した出力電流間に位相差が生じた場合には、この位相差を零、または予め定められた位相差、あるいはそれらに漸近するように、インバータ 3 0 に対する制御信号の出力タイミングを調整する。具体的には、電流波形の位相を進める際には制御信号の出力切替のタイミングを瞬時的に速め、瞬時的に電流周波数を上昇させれば良く、位相を遅らせる場合には瞬時的に電流周波

20

【 0 0 2 7 】

そして、誘導加熱コイル 2 0 a に供給する電流値の調整は、各誘導加熱コイル 2 0 に対応して配置した図示しない温度測定手段によって測定されたピレット 1 3 0 の温度と、目標とする昇温勾配における温度測定手段配置位置の温度とを比較し、電流値を上昇、あるいは下降させるための制御信号を出力すれば良い。具体的には、電流波形の半波長を形成する各スイッチング素子 3 6 a 1 , 3 6 a 2 毎の出力信号の入力時間 ( オン・オフ ) 制御による通流率の調整、すなわち 1 周期あたりにおけるデューティ比の調整によって行えば良い ( 図 5 参照 ) 。

【 0 0 2 8 】

なお、本実施形態のような誘導加熱装置 1 0 では、高温部となる位置に配置された誘導加熱コイル 2 0 c に対して電力を供給するインバータ 3 0 c からの出力電流の周波数を基準として電流ゼロクロスの位相差を制御するようにする。これは、誘導加熱コイル 2 0 c が配置された高温部は、被加熱物であるピレット 1 3 0 からの放射熱が大きいことに起因する。被加熱物からの放射熱が大きい箇所では、加熱温度を維持するために必要とされるエネルギーも大きく、このためにインバータ 3 0 c からの出力電力も大きくなる。これに対し、誘導加熱コイル 2 0 a , 2 0 b が配置された部分での放射熱は少なく、また、昇温の際に要するエネルギーを他の誘導加熱コイルからのエネルギーと分担されるため、これらの誘導加熱コイル 2 0 a , 2 0 b に接続されたインバータ 3 0 a , 3 0 b の消費電力は極めて小さい。したがって、最も消費電力の大きなインバータ 3 0 c を基準として周波数

30

40

【 0 0 2 9 】

前記ピンチローラ 1 2 0 , 1 2 2 には、図示しない駆動用モータと、この駆動用モータを制御する図示しない制御手段が接続されており、前記駆動用モータの制御と前記電力供給ユニット 8 0 の電力制御部 5 0 とは、上述したような連動を図るようにしている。例えば、駆動用モータを制御する制御手段には前記ピンチローラ 1 2 0 , 1 2 2 の回転速度、

50

すなわちピレット130の搬送速度を検出する速度検出手段と、この検出した速度を信号としてインバータ30に接続された電力制御部50に出力する手段を備えるようにすれば良い。そして、前記電力制御部50には、入力された速度信号に基づいて、後述する周波数制御と、同じく後述するゾーンコントロール制御との制御モードの選択切替を行う判定手段を備えるようにすれば良い。

【0030】

ここで、各インバータ30からの出力電流の周波数を乖離させた状態での周波数制御（以下、単に周波数制御という）と各インバータ30からの出力電流を一致させ、電流を同期させた上で電流値調整を行う制御（以下、ゾーンコントロール制御という）とは、それぞれ以下のような特徴がある。

10

【0031】

まず、周波数制御は、相互誘導の影響が生じ無いために皮相電力が低いという特徴がある。また、周波数制御は、近接する誘導加熱コイル20間における相互誘導の影響がないために、加熱領域の境界における磁界の干渉も少ないため、誘導加熱コイル20の境界部分に低温部が生ずるといった特徴がある。

【0032】

次に、ゾーンコントロール制御は、相互誘導によって誘導加熱コイル20内に生ずる相互誘導電圧を抑制して運転するために、周波数制御による運転に比べて皮相電力が高くなる一方で、誘導加熱コイル20の境界部分における低温部の発生を防ぐことができるという特徴がある。

20

【0033】

以下、上記のような特徴が生ずる理由について、図7～図9、および数式4を参照して説明する。

まず、皮相電力については、

【数4】

$$\text{皮相電力}(VA) = \text{電圧の実効値}(V) \times \text{電流の実効値}(A)$$

で表すことができる。ここで、電圧の実効値、すなわちインバータからの出力電圧 $V_{Iv}$ について検討するため、図7に2ゾーンの誘導加熱装置に関する等価回路を示す。

【0034】

30

図7において、 $IV_1$ はゾーン1のインバータを示し、 $i_1$ はゾーン1を流れる電流、 $R_1$ はゾーン1回路の抵抗、 $L_1$ はゾーン1のインダクタンス、 $C_1$ はゾーン1のキャパシタンス、 $V_{m_{21}}$ はゾーン2からゾーン1への相互誘導によって生じた相互誘導電圧を示す。また、 $IV_2$ 、 $i_2$ 、 $R_2$ 、 $L_2$ 、 $C_2$ および $V_{m_{12}}$ は、それぞれゾーン2の各要素を示す。このような構成の等価回路において、ゾーン1のインバータ $IV_1$ からの出力電圧は $V_{Iv1}$ で示すことができ、抵抗の電圧は $i_1 \cdot R_1$ 、インダクタンスの電圧は $i_1 \cdot j \omega L_1$ 、キャパシタンスの抵抗は $i_1 \cdot (-j \omega / C_1)$ でそれぞれ示すことができる。

【0035】

$V_{Iv1}$ についてベクトルで表すと、実数成分を横軸、虚数成分を縦軸にとった場合、図8(A)のように示すことができる。ここで、周波数制御を行った場合には $V_{m_{21}}$ で示す相互誘導電圧が生じ無いため、 $V_{Iv1}$ についてのベクトルは図8(B)のように示すことができる。図8からも読みとれるように $V_{Iv1}$ は $V_{Iv}$ よりも小さくなるため、周波数制御を行った場合におけるインバータの出力電圧 $V_{Iv1}$ は、ゾーンコントロール制御を行った場合におけるインバータの出力電圧 $V_{Iv}$ よりも小さくなるということができる。

40

【0036】

そして皮相電力は、数式2で求められるため、両者の電流の実効値（電流値）を同一とした場合、周波数制御による運転の方が皮相電力が小さくなるということができる。

【0037】

50



一方、誘導加熱コイルの境界部分における被加熱物に対する磁界の強度については、周波数制御の場合はベクトル和（数式 5）で示すことができ、ゾーンコントロール制御の場合はスカラー和（数式 6）で表すことができる。なお、 は隣接して配置された誘導加熱コイルからの磁界の強度の割合を示すものとする。

【数 5】

$$\text{境界部分の磁界強度} = \sqrt{\alpha^2 + \alpha^2}$$

【数 6】

$$\text{境界部分の磁界強度} = \alpha + \alpha$$

ここで、 について 0.5 を代入した場合、ベクトル和では約 0.7 となるのに対し、スカラー和では 1 とすることができる。このことより、ゾーンコントロール制御による運転では、周波数制御による運転よりも誘導加熱コイルの境界部分での加熱効率が良いということができる。なお、誘導加熱コイルと磁界との関係を模式的に示すと図 9 のようになる。ここで、図 9 (A) は誘導加熱コイルとビレット、および磁界の関係を示すブロック図であり、図 9 (B) はビレットの長手方向における磁界の強さを示すグラフである。

【0038】

そして、ビレットヒータ 100 では、停止時あるいは低速時における加熱制御は、定常運転時よりも低い電力で運転することができる。また、ビレットヒータ 100 では、定常運転時には被加熱物であるビレット 130 の移動量が多いため、誘導加熱コイル 20 間の境界部における著しい温度低下は無く、ほとんど無視することができる。

【0039】

このため、定常運転時に周波数制御による運転をすることで誘導加熱コイル 20 の境界部分における温度低下を避けることができ、皮相電力も低く保つことができる。また、停止時において、ビレットのヒートパターンを定常運転時と同じに保つ、いわゆる保温運転時に必要とされる電力は、定常運転時の 1/10 以下程度で良い。このため、停止あるいは低速運転時にゾーンコントロール制御による運転をすることで、誘導加熱コイル 20 の境界部分における温度分布を良好に保つことができ、低電力運転とすることができる。よってゾーンコントロール制御を行った場合であっても、皮相電力を低く抑えることができる。したがって、誘導加熱装置 10 に使用するインバータ 30 について、皮相電力の容量の小さいものを使用しつつ、被加熱物であるビレット 130 の加熱精度を高く保つことができる。

【0040】

なお、上記実施形態では、誘導加熱コイルはソレノイド型としているが、被加熱物が平板状等である場合には、渦巻き型に配した誘導加熱コイルにより被加熱物を上方または下方、あるいは両方から誘導加熱するようにしても良い。また、実施形態におけるインバータはハーフブリッジ型としたが、電力制御方式の切替による運転全体の皮相電力の低減を目的とした場合には、インバータを全ブリッジ型としても良い。なおこの場合は、誘導加熱コイルとインバータの出力との間に高周波トランスを配置することが望ましい。

【0041】

また、上記実施形態に係る誘導加熱装置をビレットヒータに適用する場合、図 10、に示すように、誘導加熱コイル、および電力供給ユニット（インバータ 30 d ~ 30 f、および共振コンデンサ 32 d ~ 32 f）を増設し、試打材 140 用の加熱コイル 20 d ~ 20 f とすることもできる。

【0042】

試打材 140 は部材単位で長さが異なり、停止状態で加熱されるため長手方向における

10

20

30

40

50

温度ムラが生ずる場合がある。これに対し、上述したゾーンコントロール制御による電流制御を行えば、電力を供給する誘導加熱コイルを任意に選択することができる他、試打材 140 の端部に位置する誘導加熱コイルに供給する電力を任意に上昇させることも可能となる。このため、試打材 140 の大きさ、長さに関わり無く、ムラの無い加熱を行うことができる。また、試打材 140 は停止状態で加熱されるため、指定温度までの昇温時間を比較的長くとることができる。よって、ゾーンコントロール制御を行った場合であっても、皮相電力を低く抑えることができる。

【0043】

また、コンバータ 40 に対してインバータ 30 a ~ 30 f を並列に配置していることより、試打材 140 用の誘導加熱コイル 20 d ~ 20 f に接続されたインバータ 30 d ~ 30 f と、ピレットヒータ本体に配置された誘導加熱コイル 20 a ~ 20 c に接続されたインバータ 30 a ~ 30 c との間に、図示しない開閉器を配置するようにしても良い。このような構成とすることにより、試打材 140 の加熱を行わない場合には誘導加熱コイル 20 d ~ 20 f に接続されたインバータ 30 d ~ 30 f に対する電力の供給を遮断し、消費電力の抑制を図ることが可能となるからである。

10

【0044】

さらに、上記実施形態では、定常運転時の電力制御方式として、各インバータ 30 a ~ 30 c からの出力電流の周波数を乖離させた状態での周波数制御により電力調整を行うことについて詳細を説明した。しかしながら、定常時の電力制御方式として、周波数制御に替えて、周波数を乖離させた状態での電圧波形と電流波形の位相角制御による電力調整を行うようにしても良い。インバータからの出力電圧の波形と出力電流の波形の位相角を変えて（互いのパルス位置を変えて）制御することにより、インバータの運転周波数を変化させることができ、出力電流の値を調整することができるからである。

20

【図面の簡単な説明】

【0045】

【図 1】実施形態に係る誘導加熱装置を適用したピレットヒータを示す図である。

【図 2】電力供給ユニットの構成を示す図である。

【図 3】PFM制御時における周波数と電流との関係を示す図である。

【図 4】PFM制御による電流調整の例を示す図である。

【図 5】PWM制御による電流調整の例を示す図である。

30

【図 6】複数パルス制御によるPWM制御の例を示す図である。

【図 7】隣接して配置された2つの誘導加熱コイルユニットの等価回路図である。

【図 8】ゾーンコントロール制御による消費電圧と周波数変調制御による消費電圧との差を示す図である。

【図 9】誘導加熱コイルとピレット、および磁界との関係を示す図である。

【図 10】実施形態に係る誘導加熱装置の応用例を説明する図である。

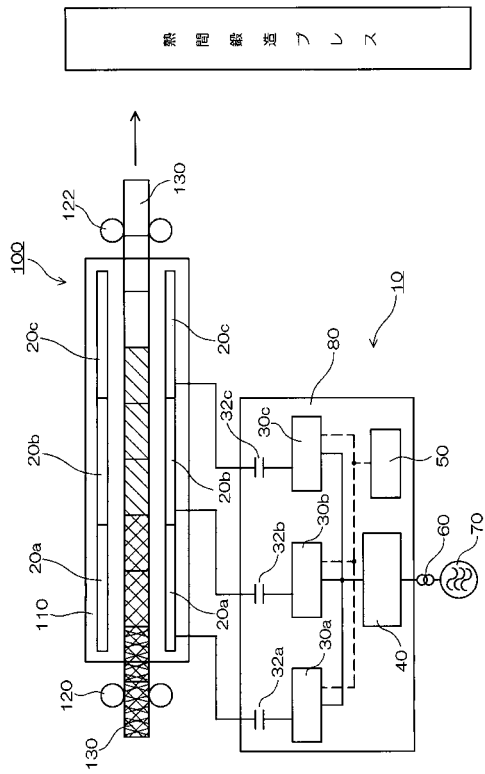
【符号の説明】

【0046】

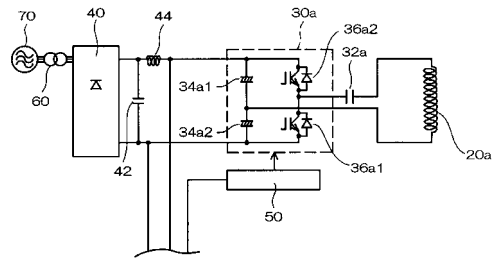
10 ..... 誘導加熱装置、20 (20 a ~ 20 f) ..... 誘導加熱コイル、30 (30 a ~ 30 f) ..... インバータ、32 (32 a ~ 32 f) ..... 共振コンデンサ、40 ..... コンバータ、50 ..... 電力制御部、60 ..... トランス、70 ..... 三相交流電源

40

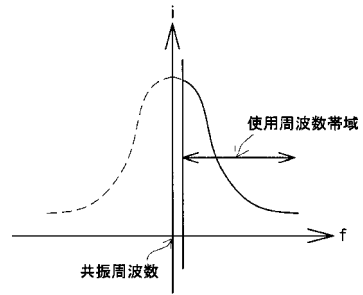
【図1】



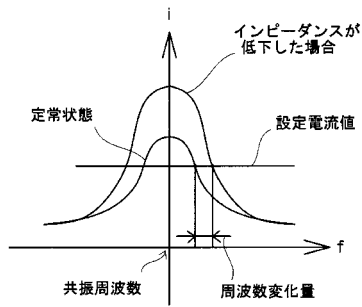
【図2】



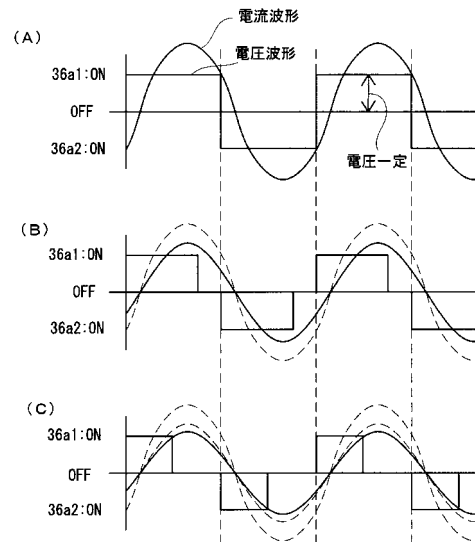
【図3】



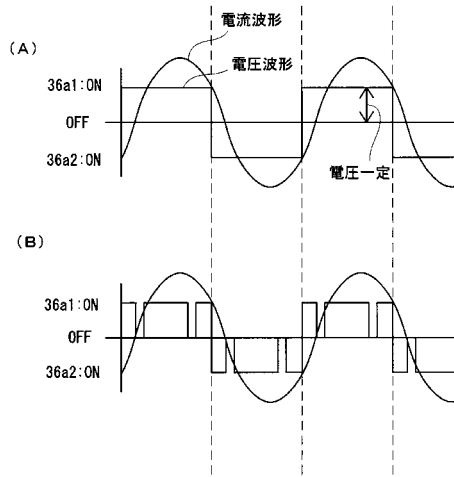
【図4】



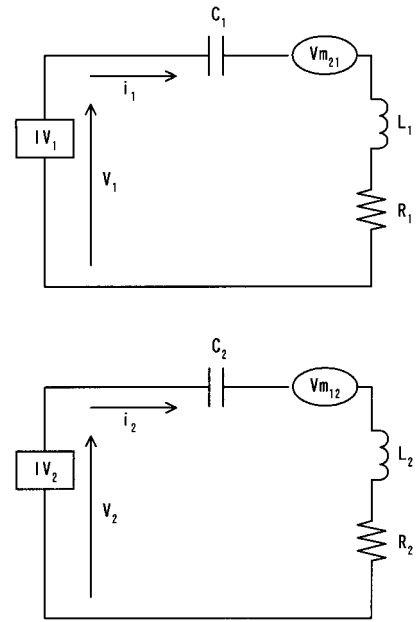
【図5】



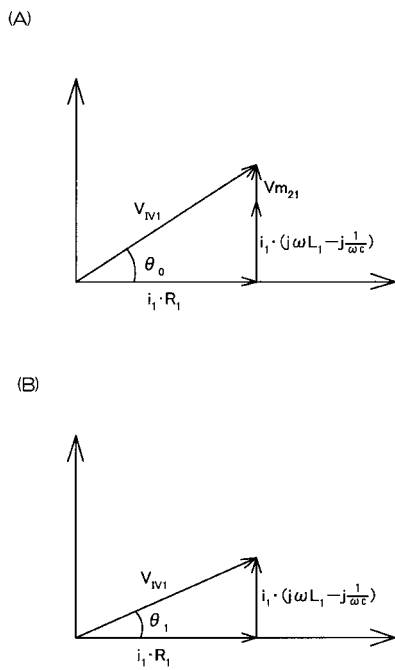
【図6】



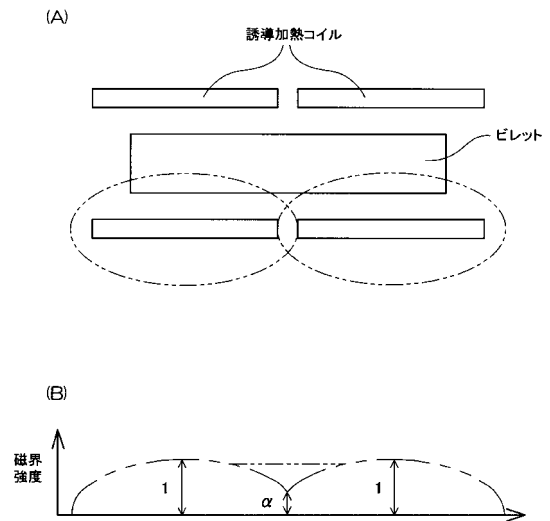
【図7】



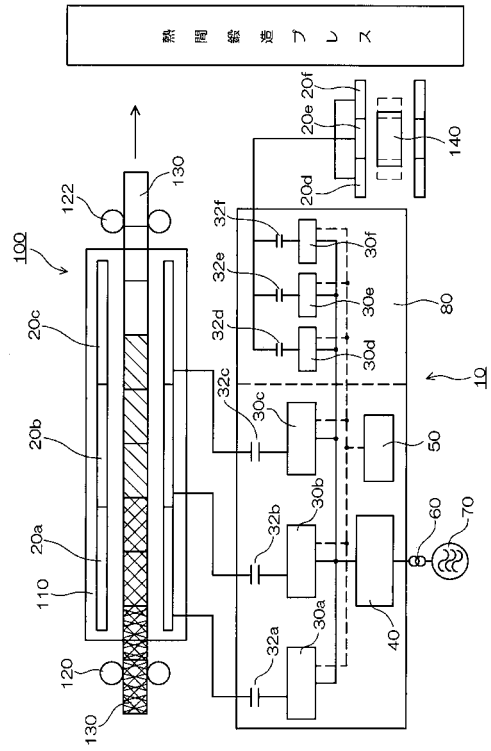
【図8】



【図9】



【図10】



---

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I  
H 0 2 M 7/5387 A

(72)発明者 片山 秀樹  
岡山県玉野市玉3丁目1番1号 三井造船株式会社玉野事業所内

審査官 結城 健太郎

(56)参考文献 特開平11-121154(JP,A)  
特開平11-222622(JP,A)  
特開平06-132071(JP,A)  
特開平01-194283(JP,A)  
特開2007-026750(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H 0 5 B 6 / 0 6  
H 0 2 M 7 / 4 8  
H 0 2 M 7 / 5 3 8 7  
H 0 5 B 6 / 1 0  
H 0 5 B 6 / 4 4