

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2020-143344

(P2020-143344A)

(43) 公開日 令和2年9月10日(2020.9.10)

(51) Int. Cl.	F 1	テーマコード (参考)
C 2 1 D 9/567 (2006.01)	C 2 1 D 9/567	4 K 0 4 3
C 2 1 D 9/56 (2006.01)	C 2 1 D 9/56 1 0 2	
C 2 1 D 9/573 (2006.01)	C 2 1 D 9/573 1 0 2	

審査請求 有 請求項の数 2 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2019-41137 (P2019-41137)
 (22) 出願日 平成31年3月7日(2019.3.7)

(71) 出願人 306030275
 山田 榮子
 兵庫県神戸市北区藤原台北町3-2-6
 (74) 代理人 393025334
 山田 勝彦
 (72) 発明者 山田 勝彦
 兵庫県神戸市北区藤原台北町3丁目2番6号
 Fターム(参考) 4K043 AA02 CA07 CB02 DA00 EA07
 FA03 FA12 FA13

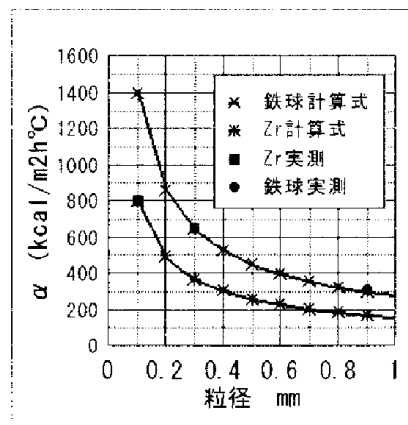
(54) 【発明の名称】 鋼線の加熱冷却用流動床炉

(57) 【要約】

【課題】 鋼線の加熱冷却に使用される流動床炉の伝熱性能を強化する。

【解決手段】 被加熱物(被冷却物)に対する対流伝熱性能(流体と被加熱物間の熱伝達率)は流体の流動条件(Re数)と流体の物性値に依存するという理論を、疑似流体である流動床においても適用可能との仮説に基づいて実験により検証した。流動床を構成する粒体の材質変更、気体の成分変更により、具体的には粒体の熱伝導率 ρ を現行ジルコンサンドの約10倍以上とすることにより、熱伝達率は約2倍が得られる。適切な物質として鉄球・炭化物・窒化物等が特定される。

【選択図】 図4



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

鋼線を直進通過させて加熱又は冷却する流動床炉であって、流動床を構成する砂状粒子の熱伝導率が 15 W/mK 以上であることを特徴とする流動床炉。

【請求項 2】

下記 5 条件、

- 1) 粒子の材質が、ステンレス鋼・耐熱鋼・鋳鉄・低炭素鋼・炭化珪素・窒化珪素・銅・ニッケルのどれか 1 種であること、
 - 2) 粒径が 0.05 mm 以上 0.2 mm 以下であること、
 - 3) 流動又は雰囲気制御のため炉内に供給される気体の種類が、空気・燃焼ガス・窒素・アンモニア・メタン・水素のどれか 1 種であること、
 - 4) 加熱に際して耐熱送風機又は自動車用ターボチャージャーのどちらかを使用して熱排ガスの一部を流動用送風へと循環させること、
 - 5) 冷却に際して流動床内に水冷管を設けること、
- のどれか一つ以上を組み込んだことを特徴とする第 1 発明に記載した流動床炉。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は直進する鋼線を急速に加熱又は冷却する際に用いられる流動床炉に関する。

【背景技術】

【0002】

鋼線を熱処理する際、しばしば急速加熱や急速冷却が適用される。種々の方法があるが、鉛浴炉や流動床炉も古くから多用されている。

鉛浴炉は外部に加熱装置を保有した単純な槽である。流動床炉は加熱装置又は冷却装置を保有した炉内の炉床に砂（粒径が約 0.1 mm のジルコンサンド又はアルミナ粒）を厚く堆積させ、床から通気・送風して砂層を流動化させたものである。

これらの炉では熱媒体と鋼線との間の伝熱は主に熱媒体を流体と見なして対流伝熱として解析されている。従って処理される鋼線の加熱又は冷却の速度は線径 D に反比例し、熱伝達率 に比例する。

ちなみに鉛浴炉では は線径 ($1.5 \sim 2 \text{ mm}$) に対応して $2000 \sim 4000$ ($\text{W/m}^2\text{K}$)、流動床炉では $600 \sim 1400$ ($\text{W/m}^2\text{K}$) である。

熱伝達率 が大きいほど生産能率や設備スペースに有利であり、冶金的効果の誘発や性能向上にも都合が良い。

【0003】

例えば、ピアノ線を製造する場合、パテンティングと称される鉛浴焼入（約 500 ）した高炭素鋼線を伸線して加工硬化を付加し、所定の機械的性質を得ている。

鉛浴焼入は恒温変態を得る簡易方法であるが、実際には線径が大きいほど上述のように冷却速度が低下すること、線径が大きいほど熱伝達率 が低下すること、の二点により冷却能が低下し、恒温変態から乖離して、最良の金属組織を得ているわけではない。

【0004】

太径線に対して、鉛浴における熱伝達率 を大きくする試みは昔からよくなされている。それには鉛浴を強力に攪拌すればよい。問題は鉛浴の酸化が進み、金属ドロスの発生が増加し、作業上の問題が大きい。通常は自然対流に任せている。

【0005】

流動床炉は鉛浴のように重金属汚染が無いので鉛浴から移行しつつあるが、熱伝達率は鉛浴よりも低位であって、細径線のパテンティングには適用できても太径線には適用できないという問題がある。当該方法の熱伝達率 の強化策が期待される。

【0006】

特許文献 1 には、流動床炉によりパテンティングをより恒温変態に接近させる方法の開

10

20

30

40

50

示がある。それによると、流動床を常温に設定することにより鉛浴よりも大きな冷却能を確保して所定温度に急冷し、変態途中は間欠冷却によって恒温変態に誘導する。

恒温変態による品質の向上、鉛浴からの代替による重金属汚染問題の解決、コストの低減等が得られると記載されている。

【0007】

問題点として正確な冷却制御、特に正確なタイミングが不可欠であってこれがかなり煩雑である。冷却能が大きい分、初段冷却のタイミングがずれると所望の恒温変態から乖離するからである。

加熱冷却能の強化を熱伝達率の強化ではなく、被処理材と熱媒体との温度差の拡大に依存する場合、常に制御精度が問題となる。

10

【0008】

特許文献2には、特異な流動床であって、従来の送風式流動床と同様の熱伝達率が得られることが開示されている。それによると両端に流出防止機構を設けた鋼管内に流動砂を充填し、該鋼管を水平に自軸回りに転動させて砂を旋回流動させ、該鋼管を外部から加熱又は冷却し、鋼線を該流動化砂中を通過させて加熱又は冷却する。

以後、区別するため当該方法を転動式流動床、前記の流動方法を送風式流動床と称する。

転動式流動床では送風式流動床と同等の熱伝達率が得られること、回転数が増加すると熱伝達率が増加すると記載されている。

回転数をさらに増加させると鉛浴に接近することができるかについては何ら記述は無い。

20

【0009】

特許文献3には、流動床炉による加熱に際して、省エネルギー策として自動車用ターボチャージャーを流用して熱排ガスを送風用に循環させることが開示されている。流動床炉の性能向上に大いに参考になる技術である。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0010】

【特許文献1】特許第3914953

【特許文献2】特許第4293473

【特許文献3】特許第5580466

【非特許文献】

【0011】

【非特許文献1】吉田正彦、実用熱工学、栗田出版社、p. 898

【非特許文献2】吉田正彦、実用熱工学、栗田出版社、p. 1111

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

重金属汚染の問題がある鉛浴炉を廃止することを目的に、流動床炉の加熱冷却能即ち熱伝達率を現行よりも向上させること、望ましくは鉛浴炉と同等以上にすることを解決すべき課題とする。

40

【課題を解決するための手段】

【0013】

上記課題の解決のため、流動床に関する既存理論を整理し、各種操業データ、各種実験データを加味して理論の改良を進め、以下の発明をなした。

【0014】

第1の発明は、鋼線を直進通過させて加熱又は冷却する流動床炉であって、流動床を構成する砂状粒体の熱伝導率が15W/mK以上であることを特徴とする流動床炉である。

【0015】

第2の発明は、下記5条件、

50

- 1) 粒体の材質が、ステンレス鋼・耐熱鋼・鋳鉄・低炭素鋼・炭化珪素・窒化珪素・銅・ニッケルのどれか1種であること、
 - 2) 粒径が0.05mm以上0.2mm以下であること、
 - 3) 流動又は雰囲気制御のため炉内に供給される気体の種類が、空気・燃焼ガス・窒素・アンモニア・メタン・水素のどれか1種であること、
 - 4) 加熱に際して耐熱送風機又は自動車用ターボチャージャーのどちらかを使用して熱排ガスの一部を流動用送風へと循環させること、
 - 5) 冷却に際して流動床内に水冷管を設けること、
- のどれか一つ以上を組み込んだことを特徴とする第1発明に記載した流動床炉である。

【0016】

10

ここで述語の定義として、

『流動床』とは、通常の送風式流動床だけでなく、特許文献2に記された転動式流動床(図2)を含む。

『粒体』とは、砂状物体である。

【発明の効果】**【0017】**

本発明によると、流動床炉の伝熱性能が向上し、場合により鉛浴炉と代替させることができ鉛による重金属汚染の問題を軽減ないし解決することができる。

本発明を冷却に適用する場合、従来の流動床炉を超える恒温性変態を誘導することができる。即ちパテンティングの品質が向上する。

20

加熱に際して、鉛浴の場合、800以上ではPbの酸化・蒸発・ドロス形成等問題が増加して実用できていないが、本発明では適用される粒体の物質は非化学反応性であって高温域まで安定して使用することができる。

加熱に際して、熱排ガスが送風用に回帰する機構が組み込まれているので省エネルギー効果が得られる。

【図面の簡単な説明】**【0018】**

【図1】本発明を鋼線のパテンティングに適用した流動床炉の概略説明図である。

【図2】本発明を鋼線の焼入に適用した転動式流動床炉の概略説明図である。

【図3】本発明を鋼線の加熱に適用した流動床炉の概略説明図である。

30

【図4】線径12.5mmにおける熱伝達率と粒径との関係の実測値・計算値を示す。

【発明を実施するための形態】**【0019】**

図1は本発明が適用された鋼線のパテンティング用の送風式流動床炉であって、その構造は、炉体2と粒体層が通気によって流動化した流動床3と送風室5から該流動床3に送風する通気板4と該流動床3を所定温度に維持する水冷装置6と該流動床3を稼働初期において加熱するバーナー7と該流動床3から漏出する粒体を回収するダム8とから成る。

約900の加熱された鋼線1は約500に維持された流動床2内を直進通過して急冷され、約550の疑似恒温変態(通称パテンティング)に誘導される。

【0020】

40

上記の設備構造と作業方法は通常の流動床炉と全く同一であり、また鉛浴炉とも類似している。本発明では流動床3を構成する粒体の材質が異なる。従来はジルコン砂($ZrO \cdot SiO_2$)又はアルミナ砂(Al_2O_3)であるが、本発明ではそれぞれ球状・粒状の鋳鉄・ステンレス鋼・耐熱鋼・低炭素鋼・炭化珪素(SiC)・窒化珪素(Si_3N_4)・銅(Cu)・ニッケル(Ni)等のどれか1種が使用される。

【0021】

図2は本発明が適用された鋼線21の焼入用の転動式流動床炉であって引用文献2の方法と同一である。その構造は、鋼管製の転動管22と該転動管22を上置して水平軸回りに自転させる双子ローラー23と該転動管22を冷却するスプレイ25と転動により駆動された流動粒体から成る流動床20とから成る。

50

該転動管 2 2 の両端には粒体の漏出を防止するタービン状のガイド 2 4 が管の前後で逆向きに設けられていて、流出しようとする粒体が正転時には押し戻されて漏出防止、逆転時には放出がなされる。回転数の増加につれ熱伝達率 h が増加することが開示されている。

約 900 に加熱された鋼線 2 1 は 100 以下に維持された流動床内を通過して焼入される。本発明においても使用される粒体の材質は上記と同等である。

【0022】

図 3 は本発明が適用された鋼線 3 1 の加熱用の送風式流動床炉である。その構造は、主に炉体 3 2 と粒体層が通気によって流動化した流動床 3 3 と送風室 3 7 から該流動床 3 3 に送風する通気板と該流動床 3 3 を所定温度に加熱・維持するバーナー 3 4 と排気管 3 5 から熱排ガスの一部を吸引して加圧し、送風室 3 7 に供給する耐熱送風機 3 6 とから成る。

10

常温の鋼線 3 1 は約 900 に維持された流動床 3 3 内を通過して加熱される。加熱において主たる問題は送風による冷却に起因して、エネルギー効率は極めて低いことである。熱排ガスを循環させることにより省エネルギーが得られる。先行例にあるように耐熱送風機や自動車用ターボチャージャーが効果的に適用することができる。

本発明においても使用される粒体の材質は上記と同等である。

【0023】

従来方法と本発明の本質的な差異は粒体自体の熱伝導率 ρ だけである。新材質の熱伝導率の値はいずれも従来材質（ジルコンサンド）の約 10 倍以上である。

20

図 1 と図 2 において流動化の方法は異なるが、本願発明において解決すべき課題とした流動床の伝熱性能の向上は、使用される粒体の熱伝導率 ρ の増大により流体の熱伝導率が増強され、流体である流動床の熱伝達率 h が増強されることにより達成される。

粒体の熱伝導率 ρ （注；流動床の熱伝導率 ρ_f ではない）が増大すると流動床の熱伝達率 h が向上するという先行研究事例は見当たらないが、そうなるはずだと合理的に推測することができる。予備的な実験によりこれを実証することができた。以下上記仮説について説明する。

【0024】

非特許文献 1 には円柱物体に対する対流伝熱の解析が記述されている。

無次元数であるヌセルト数 Nu ・レイノルズ数 Re ・プラントル数 Pr の定義から、

30

$$Nu = h \cdot D / k_f \quad \text{--- (1)}$$

$$Re = V \cdot D \cdot \rho / \mu \quad \text{--- (2)}$$

$$Pr = c \cdot \mu / k_f \quad \text{--- (3)}$$

ヌセルト数・レイノルズ数・プラントル数の関係を表す Zukauskas の式から

$$Nu = 0.75 Re^{0.4} \cdot Pr^{0.37} (Pr / Pr_w)^{0.25} \quad \text{--- (4)}$$

上記 4 式から熱伝達率 h を誘導することができる。

$$h = 0.4 \cdot D^{-0.6} \cdot c^{0.37} \cdot \rho^{0.4} \cdot \mu^{-0.6} \cdot k_f^{0.03} \quad \text{--- (5)}$$

ここで、 D ；線径、 V ；流速、 ρ ；密度、 μ ；粘性係数、 c ；比熱、 k_f ；流体の熱伝導率
熱伝達率 h は (5) 式から流体の熱伝導率 k_f の 0.6 乗に比例することが解る。

【0025】

40

流動床は粒体と気体との混合物であって厳密には均一流体ではないが概ね流体と見なすことができる。該流体の物性値と流動条件 (Re 数) が解れば熱伝達率 h は明らかになる。

問題は粒体の熱伝導率 ρ の増大が流動床の熱伝達率 h の増加に作用するかどうかである。流動床自体の熱伝導率 ρ_f は伝熱資料に見当たらない。実測は可能だが概算はそれほど困難ではない。

【0026】

流動床の熱伝達率 h を概算する。空気とジルコンサンドの混合状態が、

1) 気体中に粒体が互いに分離して均一分布すると仮定した場合；

固体熱伝導率 ρ_s は気体の約 30 倍以上であるから固体中の伝熱抵抗は無視され、混合

50

体の熱伝導率 λ は気体熱伝導率 a を気体膜厚比 (0.15、実測から) で除した値になる。

$$\lambda = a / 0.15 \quad (6)$$

2) 一体化した固体中に気泡が均等分散分布すると仮定した場合；

混合体の熱伝導率 λ は固体熱伝導率 p と気泡率 (0.5、実測から) の積になる。

$$\lambda = 0.5 p + 0.5 a \quad (7)$$

実態は両状態の間にあると推測されるので対数平均値を採ると、

$$\lambda = (15 - 7) / \ln(15/7) \times a \quad (8)$$

式から流動床の熱伝導率 λ は気体熱伝導率 a の約 10 倍と推測される。

【0027】

固体熱伝導率 p がジルコンサンドの 10 倍になった場合の混合体 (流動床) の熱伝導率 λ は、

$$\lambda = (15 \times 10 - 7) / \ln(15 \times 10 / 7) \times a \quad (9)$$

熱伝導率の増加比 r は

$$r = 4.7 / 1.0 = 4.7 \quad (10)$$

熱伝達率 h の増加比 s は以下となる。

$$s = 4.7 \times 0.7 = 3.3 \quad (11)$$

即ち、粒子の熱伝導率 p を従来の約 10 倍に増強すると流動床の熱伝導率 λ は約 7 倍に、熱伝達率 h は約 2 倍強に増加すると推測される。

【0028】

上記の仮説・結論を部分的実験と理論によって検証する。まず実験においてジルコンサンドと同一粒径の鉄球が得られず、粒径補正の計算方法を示す。

非特許文献 2 には、流動床における粒径と管壁間との熱伝達率の関係式が示されている。

管壁を鋼線と見なして、

$$Nu = \frac{h dp}{\lambda} = 2.3 Re p^{0.3} \quad (4 \cdot 2 \cdot 15)$$

$$Nu; \text{ヌセルト数}; \quad h; \text{熱伝達率}; \quad dp; \text{粒径}; \quad \lambda; \text{気体熱伝導率}$$

$$Re; \text{レイノズル数} (= \text{粒径 } dp \times \text{流速 } u / \text{気体動粘性率})$$

上記式から鋼線の加熱冷却における熱伝達率 h は粒径 dp と以下の式に関係づけられる。

$$h = \frac{2.3 \lambda dp^{0.3}}{dp} \quad (12)$$

即ち、熱伝達率 h は粒径の 0.7 乗に反比例する。

【0029】

図 4 は回転数が中程度の転動式流動床において熱伝達率 h と粒径との関係を調査実験した結果を示す。図中のデータの説明枠において、 Z_r は粒子を通常のジルコン砂とした場合である。

実測した h 値を基に伝熱理論式 (12) を適用して粒径 dp と h 値との関係を図示した。粒子が鉄球の場合、1 粒径 (0.9 mm 径) の h 実測値から他の粒径 (0.3 mm 径) の h 値を計算した値は後者の実測値とほぼ一致した。逆に後者の実測値から前者の h 値を計算した値は同様に実測値とほぼ一致した。

ここから本計算式は実用に耐えるということと 2 つの実測値の範囲外にもある程度外挿性があると言える。

【0030】

ジルコンサンドの場合、粒径は 1 種 (0.1 mm 径) だけが実測されたが、計算式から約 1 mm 径まで推測することができる。

熱伝達率 h についてジルコンサンドと鉄球を比較すると明らかに鉄球の方が h 値が大きくなることを示している。

10

20

30

40

50

鉄球 0.1 mm 径においては 2 倍弱になる。増加比は計算値 (11) 式ほどではないが、
 粒子の熱伝導率の強化が最大要因と考えられる。

【0031】

以上から流動床の伝熱性能の強化策として粒子の熱伝導率が常用のジルコンサンドの 1
 0 倍以上を目安として、15 W/mK 以上と特定した。

ジルコンやアルミナの高純度単結晶の熱伝導率はかなり大きい、常用されているジル
 コンサンドや耐火物用アルミナでは熱伝導率の値は産地や純度によりかなりバラツキがあ
 り、1.0 ~ 2.0 (W/mK) の範囲にあるので平均 1.5 と見なした。

流動床に使用可能な熱伝導率が相対的に大きい物質として、鑄鉄・ステンレス鋼・耐熱
 鋼・球状鉄粉・炭化珪素 (SiC)・窒化珪素 (Si3N4)・銅 (Cu)・ニッケル (Ni) その他
 が挙げられるが、以上は比較的安価で入手し易いことから本発明において特定した。

10

【0032】

粒径は、通常 0.1 ~ 0.2 mm 径が使用されている。上記結果から小さいほど伝熱能
 は向上するが、飛散の問題がある。粒子の密度が大きい (例; 鉄球) と飛散問題は軽減し
 従来よりも細粒が使用可能になる。従って、粒径として 0.05 mm 以上、0.2 mm 以
 下と特定した。

【0033】

送風又は雰囲気制御として使用される気体には、空気・燃焼ガス・窒素・アンモニア・
 メタン・水素等が挙げられる。

流動床の熱伝導率は気体の熱伝導率 a に比例的に関係するので、水素ガスを使用す
 ると熱伝導率 a は空気の約 7 倍に増加し、伝熱性能の強化が期待される。

20

窒素・アルゴン・アンモニア・メタン等の非酸化性ガスを使用すると鋼線の酸化・脱炭
 を抑制することができる。鋼球の耐久性にも好都合である。

これら特殊なガスは高価故に送風式流動床ではコスト問題が生ずるが、転動式流動床な
 ら使用量が極めて少なく問題なく使用することができる。

【実施例 1】

【0034】

本発明の流動床炉に使用可能な粒子の物質の物性値を現行と比較して表 1 に示す。

【0035】

【表 1】

30

物性	単位	本発明					比較例	
		鋼・鑄鉄	Cu	Ni	炭化珪素	窒化珪素	ジルコン	アルミナ
密度	g/cm ³	7.6~7.8	8.9	9.0	3.2	3.4	3.8~4.5	4.0~4.1
熱伝導率	W/mK	20~40	300~400	90	100~300	20~90	1.0~3.0	1.5~3.0

表においてジルコンサンドやアルミナ粒の熱伝導率の値は純度により大きく異なるが
 常用はそれぞれ約 1.5 W/mK である。

表から、適用可能物質の熱伝導率はいずれも常用のジルコンサンドと比較して 10 倍以
 上である。密度の大きい粒子を使用すると従来よりも微細化効果又は流動化風速の増加効
 果のどちらかが得られ、さらに熱伝達率の向上が期待される。

40

【産業上の利用可能性】

【0036】

本発明の流動床炉は伝熱性能が大きく、既存の流動床炉から容易に転換可能である。

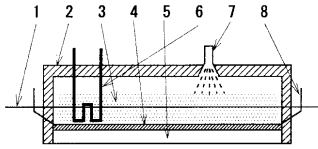
【符号の説明】

【0037】

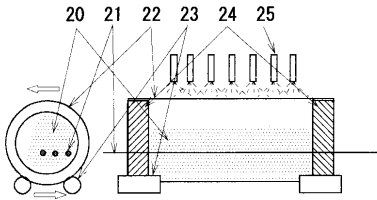
1 ; 鋼線 2 ; 炉体 3 ; 流動床 4 ; 通気板 5 ; 送風室 6 ; 水冷装置
 7 ; パーナー 8 ; ダム 20 ; 転動流動床 21 ; 鋼線 22 ; 転動管
 23 ; 双子ローラー 24 ; ガイド 25 ; スプレイ装置 31 ; 鋼線 32 ;
 炉体 33 ; 流動床 34 ; パーナー 35 ; 排気管 36 ; 耐熱送風機
 37 ; 送風室

50

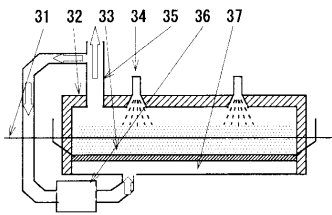
【 図 1 】



【 図 2 】



【 図 3 】



【 図 4 】

