

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 3 日現在

機関番号：17101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350393

研究課題名(和文) 伝統的溶解技法である甑炉操業法の科学的解明に関する研究

研究課題名(英文) Research on Scientific Explanation of Cupola Furnace Operating Method, Traditional Melting Technique

研究代表者

宮田 洋平 (MIYATA, YOUHEI)

福岡教育大学・教育学部・教授

研究者番号：20325434

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は甑炉について、過去に行われていた木炭燃焼操業における炉内雰囲気と銑鉄の溶解の特徴を明らかにした。

木炭燃焼甑炉による銑の溶解は、炉上部の温度を1300より高く維持し、炉底の温度を1150近傍にまで高めてから銑片を溶解することが重要である。そのためには送風が炉底の方に流れるよう上甑の開口部を煉瓦等で狭めることが有効である。炉上部の雰囲気は鉄が酸化する状態であり、これがリンや硫黄などの不純物の還元と溶銑への溶解を防止している。炉底の温度は溶銑により熱が供給されて昇温し、湯返しをすることにより鑄造に必要な1300近い温度が得られる。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research was to clarify the characteristics of the atmosphere in a furnace and those of melting pig iron by the charcoal combustion method previously performed with a cupola furnace.

For melting pig iron with a charcoal combustion cupola furnace, melting the pieces of pig iron after the temperature of the upper part of the furnace is higher than 1,300 degrees C and that of the lower part is close to 1,150 degrees C is important. Thus, it is effective to narrow the air-blowing opening with objects such as bricks so that the air flows to the bottom. The atmosphere in the upper part of the furnace can be oxidized, which prevents the reduction of impure substances such as phosphorus and sulfur from dissolving into hot metal. The temperature of the bottom of the furnace is risen by the heat supplied by the hot metal, and thus, a temperature close to 1,300 degrees C, which is required for casting, can be obtained by a returning operation for the remaining molten metal.

研究分野：鑄造技法研究

キーワード：送風効率 熱の排出抑制 ガスの排出 装入物混成比及び大きさ 送風量及び方法

1. 研究開始当初の背景

紀元 8 世紀頃から銑鉄を溶解して銑型に流し込み、梵鐘や灯籠、鉄仏、釜、鉄瓶などを銑造してきた。このための溶解炉を「甑(こしき)炉」と呼ぶ。大正初期までは、「たたら」で造った銑(ズク)を木炭燃焼の甑炉で溶解していた。一方、明治以後は工業の発展と共に銑鉄の需要が増し、高炉で造った銑造用銑鉄をコークス燃焼のキューポラで溶解した。少量溶解用の甑炉もコークス燃焼になった。

甑炉は木炭燃焼炉と現代のコークス燃焼炉を比較すると形が異なる。前者はビヤ樽のように炉体が太いが、後者は細長い。送風も前者は踏み鞆で行い、それほど炎は大きく上がっていない。後者はブローで強く送風し炎は高く上がっている。木炭燃焼の甑炉はたたら製鉄で製造した不純物濃度の小さい銑鉄である和銑(ワズク)を溶解した。現代は高炉で製造した銑鉄を溶解するが、コークスを用いるため硫黄濃度が銑鉄中に溶解するので、石灰石を用いる。

今回実験を行う木炭を熱源とする甑炉溶解は、国内では途絶えつつある技法である。実操業によって得られる科学的なデータは、今後の金属文化財研究に貴重な基礎資料を残すことになると思う。

2. 研究の目的

本研究では、木炭燃焼の甑炉を復元し、その炉内雰囲気と銑鉄の溶解の特徴を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 木炭燃焼甑炉の構築

下からル、甑、甑上部、上甑の4段からなっており分割してある。いずれも鉄皮の胴殻内にレンガとその内側に粘土が同心円に張っており、壁の厚さは約 11cm である。壁には鱗片状黒鉛粉が塗布してある。内径は、ルで 30cm、甑部で 41cm、上甑で 24cm である。ルの深さは高さは 25cm で高さは 35cm である。ルの鉄皮の底には穴が開けられており、レンガ小塊を敷き詰めてその上を粘土で内張りしてある。これは湿気を抜くためである。炉底の側面の角には直径約 3cm のノミ穴(出銑口)が 1 つある。その他、炉底側面にはノミ穴に対し約 60° の角度に通風穴が 2 個開いている。

甑の高さは 44cm で、中程には内径 6cm の粘土製の羽口が斜め下に約 10cm 炉内に突き出るようにノミ穴とは反対側に設置してある。甑の下部は直径を絞りルの径に合わせてある。

甑上部は高さ 20.5cm の円錐台で甑と上甑を繋いでいる。上甑の高さは 46cm で円筒で、その下部には湯返し口がある。湯返し口はコークスを用いた現代の甑炉にあるが、木炭燃焼甑炉にはない。

送風機と羽口の間に脈動送風装置がある。

(2) 酸素センサーと熱電対

酸素センサーは MgO 9 mol% を固溶した ZrO₂ セラミックスの一端閉管である。内径 8mm、外径 12mm 長さ 300mm である。このセラミックスは酸素の原子空孔が多数存在し、約 700 以上の高温で酸素イオンが可動なイオン伝導体の固体電解質である。

温度測定には R 型熱電対 (Pt-Pt・13%Rh) を用いた。酸素センサーと熱電対の保護にはアルミナ管を用い、外表面に黒鉛粉をまぶしてスラグによる侵食を出来るだけ防いだ。

(3) 測定位置

1 は炉底中心の温度、2 はル上部中心の温度、3 はル上部側壁近傍の酸素分圧と温度、他には羽口脇の酸素分圧と温度、および甑上部の酸素分圧と温度の測定を行った。



(図 1)

(4) 炉の組み立てと操業

早朝よりルの加熱・乾燥を行った。午前 8 時頃ル内部に長さ約 20cm の榎馬目備長炭を竿炭として縦に挿入し並べた(図 1 参照)。次に甑、甑上部、上甑の順に積み上げた。接続部分には「ねなわ」を置き隙間を閉じた。9 時 10 分に燃焼している松炭を 6kg 炉に装荷し火入れを行った。その上に榎の備長炭を 3 回に分け 6kg ずつ、火が炭の上部に到達したところで装荷した。これで上甑まで炭が充填された。木炭はいずれも約 5cm 程度の大きさに切ってある。送風を開始し、炉底の通風穴とノミ穴から炎が勢い良く出るように上甑にレンガを乗せ開口部を狭めた。これによりル上部と炉底が加熱され、温度が上昇した。ル上部の温度が 1250 に達し、炉底温度が 1150 を超えたところで、銑(ズク)片を 3kg 入れた。以下 10 分おきに銑片 3kg を入れた。溶銑がノミ穴から出たら通風穴とノミ穴を粘土で閉じた。一定量の銑鉄を溶解したところで、ノミ穴を開け溶銑を粘土で内張りした柄杓に汲み取り、湯返し口から炉に注ぎ込み炉に戻した。湯が 1300 になった所で、汲み取った柄杓を銑型に注ぎ込んだ。

(5) 実験結果

第 1 回の実験(2014 年 10 月 19 日)ではル上部は一時 1400 に達し、炉底温度が一時 1200 に達したがノミ穴を閉じると 800 に

まで下がってしまった。

第2回の実験(2015年3月29日)では甑部の内径を大きくした。その結果、ル上部の温度は1500に達したが、炉底温度は1000に達しなかった。

第3回の実験(2015年9月22日)では、上甑の開口部をレンガで狭くして熱が炉底に行くようにした結果、銑の溶解に成功し鑄型に鑄込むことが出来た。この時は測定位置1、3、及び羽口脇、甑上部で温度測定のみを行った。

第4回の実験(2016年3月20日)では、銑の溶解には成功したが、鑄型に鑄込むことが出来なかった。この時は酸素分圧と温度測定を行った。

(6) 考察

炉底の温度を上げる条件

大正期まで行われていた甑炉は最初、ノミ穴からの自然通風で炉底温度を1100以上に上げていたと思われる。しかし、今回の実験では1000以下であった。この温度では溶銑が炉底で固まってしまうので、通風を開始した後、上甑の開口部をレンガで狭め、送風機からの風が炉底に回るようにした。これにより炉底温度が1150近傍にまで上げることが出来た。

炉底には竿炭が縦に並べられている。竿炭は非常に硬い木炭で熱伝導が大きい。したがって、ル上部で発生した熱を炉底に伝達する役割をしている。

炉内の雰囲気と銑の溶解

第4回ではル上部の温度は1450を超えており、銑鉄は溶解してる。その雰囲気は酸化鉄が安定な状態であり、鉄は酸化し脱炭する状態にある。これは羽口からの空気中の酸素ガスの一部がル上部にまで達しているからである。そして、鉄と炭素の燃焼で発熱し温度を上げている。羽口脇の温度は、第3回ではル上部の温度と同じであったが、第4回では200弱高くなっている。甑上部の温度は1250近傍にあり、鉄は酸化されない雰囲気になっている。

羽口から吹き込まれた空気中の酸素ガスは、羽口前の木炭を燃焼して高温ガスを生成し、炉上部から装荷された銑片を溶解する。この酸素ガスの一部はルの上部に達し鉄を酸化する雰囲気を造るが、酸素ガスの量は非常に少なく銑片の歩留まりを下げるほどではない。木炭の燃焼は羽口前で起こり炭酸ガスを発生する。この炭酸ガスは羽口上の赤熱した木炭と反応して一酸化炭素ガスになる。この反応はブードワー反応と言い、吸熱反応である。羽口より上では木炭は燃焼せず発熱もしない。甑上部の温度が低いのはこのためである。

ル上部での雰囲気が鉄を酸化する条件にあることは、不純物であるシリカなどを還元せず溶銑を汚すことはない。特にリンや硫黄は溶銑に溶解しない。

4. 研究成果

木炭燃焼甑炉による銑の溶解は、ル上部の温度を1300より高く維持し、ルの底の温度を1150近傍にまで高めてから銑片を溶解することが重要である。そのためには送風がルの底の方に流れるよう上甑の開口部をレンガ等で狭めることが有効である。ル上部の雰囲気は鉄が酸化する状態であり、これがリンや硫黄などの不純物の還元と溶銑への溶解を防止している。ル底の温度は溶銑により熱が供給されて昇温し、湯返しをすることにより鑄造に必要な1300近い温度が得られる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計0件)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者
宮田 洋平(MIYATA, Youhei)
福岡教育大学・教育学部・教授
研究者番号：20325434

(2)研究分担者
()

研究者番号：

(3)連携研究者

()

研究者番号：

(4)研究協力者

永田 和宏 (NAGATA, Kazuhiro)

遠藤 喜代志 (ENDO, Kiyoshi)