

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7551261号
(P7551261)

(45)発行日 令和6年9月17日(2024.9.17)

(24)登録日 令和6年9月6日(2024.9.6)

(51)国際特許分類

F I

C 2 1 C 5/52 (2006.01)

C 2 1 C 5/52

請求項の数 1 (全19頁)

(21)出願番号	特願2021-208484(P2021-208484)	(73)特許権者	000001199
(22)出願日	令和3年12月22日(2021.12.22)		株式会社神戸製鋼所
(65)公開番号	特開2023-93078(P2023-93078A)		兵庫県神戸市中央区脇浜海岸通二丁目 2
(43)公開日	令和5年7月4日(2023.7.4)		番 4 号
審査請求日	令和5年9月1日(2023.9.1)	(74)代理人	110003041
			安田岡本弁理士法人
		(72)発明者	杉谷 崇
			兵庫県神戸市中央区脇浜海岸通二丁目 2
			番 4 号 株式会社神戸製鋼所内
		(72)発明者	櫻井 康平
			兵庫県神戸市中央区脇浜海岸通二丁目 2
			番 4 号 株式会社神戸製鋼所内
		(72)発明者	堀 俊輔
			兵庫県神戸市中央区脇浜海岸通二丁目 2
			番 4 号 株式会社神戸製鋼所内
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 電気炉における原料溶解方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

アーク式の電気炉で溶鋼を製造するに際して、炭素を含有する還元鉄を原料として用いて、加熱によって溶解させる電気炉における原料溶解方法において、
加熱によって生成される前記溶鋼の炭素濃度が0.80mass%より高い場合にオープンアーク加熱を行って前記原料を溶解し、
前記溶鋼の炭素濃度が0.80mass%以下となる前に前記オープンアーク加熱をサブマージドアーク加熱に切り替え、
前記溶鋼の炭素濃度が0.80mass%以下の状態で、サブマージドアーク加熱を行って前記原料を溶解する
ことを特徴とする電気炉における原料溶解方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、電気炉の操業に関する技術であって、還元鉄を溶解するにあたって溶鋼の窒素吸収を防止する技術に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、電気炉で鋼を製造するに際しては、スクラップや還元鉄などの鉄源をフラックスと一緒に炉内に装入し、アークにより鉄源を加熱し溶解している。その鉄源が十分に溶解

した後、ランスより酸素ガスを溶鋼に吹き込みながら脱りんを行っている。

近年では、省エネルギーやリサイクルの観点から電気炉による製鋼法の重要性が再認識されつつある。ところが、電気炉鋼は、窒素含有量が高いため用途範囲が限られている。このようなことから、鋼中に窒素が吸収されることを抑制する技術が存在する。

【0003】

特許文献1には、アーク炉でスクラップ、還元鉄及び銑鉄等の鉄源を原料とした時の低窒素鋼の溶製方法が開示されている。

具体的には、スクラップ等の原料溶解後、溶鉄に O_2 及びCを供給する。また、 O_2 の純度を99.5vol.%以上、送酸速度 Q_{O_2} 及び送酸時間 t^* を下記に限定することとされている。

$$0.55 \leq Q_{O_2} \leq 1.35 (\text{Nm}^3/\text{min}/\text{ton}),$$

$$t^* \leq 7.2Q_{O_2} + 15 (\text{min}).$$

10

【0004】

且つ、次式： $C_{add} = (12/11.2)Q_{O_2}t^*W - C_{MD}$ (kg)の右辺の値が正の値の場合には、上記式を満たすC添加量 C_{add} を溶鉄に供給する。その際、Cのキャリアーガス中N濃度を3vol.%以下とすることとされている。ただし、W：原料溶解終了時の溶鉄量(ton)、 C_{MD} ：原料溶解終了時の溶鉄に含まれる炭素重量(kg)である。

特許文献2には、電気炉内でスラグフォーミングの状態を排ガス中の NO_x 量測定で判定し、またスラグフォーミング状態を調整して、溶鋼と大気との接触を完全に断つことによる低窒素溶鋼の製造方法が開示されている。具体的には、 NO_x はアークスポットで発生し、 NO_x が発生していなければスラグがフォーミングしているとの考えに基づき、排ガス中 NO_x 濃度からフォーミング状態を判定する。またこの判定結果に基づき、精錬期および昇温期にスラグをフォーミングさせるような操業を行うこととされている。

20

【0005】

特許文献3には、アーク炉でスクラップ、還元鉄及び銑鉄等の鉄源を原料とした時の低窒素鋼の溶製方法が開示されている。具体的には、原料溶解後、溶鉄に純度99.0vol.%以上の純酸素を、送酸速度 Q_{O_2} で送酸時間 t^* の間吹錬することとされている。

ここで、 $Q_{O_2} = 0.55 \sim 1.35$ の範囲内、

$$t^* \leq 7.2Q_{O_2} + 15 (\text{min})$$

この吹錬中、式： $C_{add} = (12/11.2)Q_{O_2}t^*W - C_{MD}$

但し、W：原料溶解終了時の溶鉄量(ton)、 C_{MD} ：原料溶解終了時の溶鉄に含まれる炭素重量(kg)、で算出される炭素添加量 C_{add} を添加することとされている。

30

【0006】

特許文献4には、アーク炉で鉄鉱石や還元鉄、スクラップを溶解し、窒素・硫黄濃度の低い高純度溶鋼を製造する方法が開示されている。

具体的には、電気炉の電極を中空とし、そこから20Nm/秒以上の炭化水素ガスを供給しながら溶解させ、その後、酸素ガスを前記溶鉄に吹き付けて脱炭処理する。前記溶解時の溶鉄中の炭素濃度が1質量%以上とすることとされている。

特許文献5は、電気炉の排ガスを、併設されるシャフト炉の還元ガスに利用することを目的としている。

【0007】

40

具体的には、アーク式還元溶解炉に炭材を添加しながら電気アークにより還元鉄を還元溶解し、その後、必要に応じて酸素ガスを溶鉄に吹き付けて脱炭処理を行って溶鋼を製造するとともに、前記アーク式還元溶解炉で発生した排ガスを前記シャフト炉における還元ガスに利用し、前記シャフト炉で製造する還元鉄の還元率を50%以上とし、電気アークによる還元鉄の溶解時の溶鉄中の炭素濃度を1質量%以上とすることとされている。

【0008】

特許文献6は、溶解後の昇温効率向上のために、炭素粉をインジェクションしてスラグを形成させることを目的としている。具体的には、溶鋼表面のスラグ層または溶鋼内に炭素粉をキャリアーガスにより吹き込むことで、炭素粉による気泡をスラグ面上に形成させて溶鋼を覆い、効率よく溶鋼を昇温することとされている。

50

【先行技術文献】

【特許文献】

【0009】

【文献】特開平11-012634号公報

【文献】特許3743095号公報

【文献】特開平10-121123号公報

【文献】特許6413710号公報

【文献】特許6476940号公報

【文献】特開昭55-089414号公報

【発明の概要】

10

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

しかしながら、特許文献1～6には、アーク式の電気炉において鋼を製造する技術が開示されているが、原料を溶解するときに溶鋼への窒素吸収を抑制するには技術的懸念があると考えられる。

特許文献1は、溶鋼の炭素濃度に応じたアーク加熱方法に関する記載や示唆が無いため、状況によっては吸窒したり、不要な酸素や炭材を使用して原料コストが高くなったり、あるいはCO₂発生量が多くなる虞がある。また、同文献では、酸素が照射されることによる溶鋼の飛散や酸化により、歩留が低下する虞がある。

【0011】

20

特許文献2は、還元鉄を溶解原料に配合する場合、溶鋼の炭素濃度が高くなる虞があり、この炭素が高い状態では吸窒しないので、スラグフォーミング状態に関わらずNO_xも発生しない。従って、NO_xだけ見てもスラグフォーミング状態を判定することはできない。また、同文献では、COガスによるフォーミングを判定することもできない。従って、過剰にCOガスを発生させても検知できず、過剰フォーミングにより鉄歩留が低下する虞がある。

【0012】

特許文献3は、溶鋼の炭素濃度に応じたアーク加熱方法に関する記載や示唆が無いため、状況によっては吸窒したり、不要な酸素や炭材を使用して原料コストが高くなったり、あるいはCO₂発生量が多くなる虞がある。また、同文献では、酸素が照射されることによる溶鋼の飛散や酸化により、歩留が低下する虞がある。

30

特許文献4は、電極を中空にする必要があり、電極の製造および管理が困難である。また、同文献は、COガスによる脱窒に必要な溶落時の炭素濃度が規定されているが、脱炭が進行した後のスラグ制御に関する記載や示唆が無いため、状況によっては吸窒する虞がある。

【0013】

特許文献5は、アーク炉での還元鉄溶落時の炭素濃度を、COガスによる脱窒のために1質量%以上としているが、吸窒が生じてしまう1質量%以下の領域でのスラグ制御方法等の記載や示唆が無いため、状況によっては窒素濃度が高まってしまう虞がある。また、同文献は、シャフト炉と電気炉を近傍に設置しなければならないため、技術的に非常に困難である。

40

【0014】

特許文献6は、そもそも低N化に関する記載が無いため、状況によってはN濃度が高くなる虞がある。つまり、溶鋼の窒素吸収を防止するには適さない。

そこで、本発明は、上記問題点に鑑み、炭素を含有する還元鉄を原料として用いて、アーク式の電気炉で溶解して溶鋼を製造するに際して、溶鋼中炭素濃度が低濃度領域では、サブマージドアーク加熱を行ってスラグを生成して溶鋼を覆うことで、溶鋼の窒素吸収を防止することができる電気炉における原料溶解方法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】

【0015】

50

上記の目的を達成するため、本発明においては以下の技術的手段を講じた。

本発明にかかる電気炉における原料溶解方法は、アーク式の電気炉で溶鋼を製造するに際して、炭素を含有する還元鉄を原料として用いて、加熱によって溶解させる電気炉における原料溶解方法において、加熱によって生成される前記溶鋼の炭素濃度が0.80mass%より高い場合にオープンアーク加熱を行って前記原料を溶解し、前記溶鋼の炭素濃度が0.80mass%以下となる前に前記オープンアーク加熱をサブマージドアーク加熱に切り替え、前記溶鋼の炭素濃度が0.80mass%以下の状態で、サブマージドアーク加熱を行って前記原料を溶解することを特徴とする。

【発明の効果】

【0016】

10

本発明によれば、炭素を含有する還元鉄を原料として用いて、アーク式の電気炉で溶解して溶鋼を製造するに際して、溶鋼中炭素濃度が低濃度領域では、サブマージドアーク加熱を行ってスラグを生成して溶鋼を覆うことで、溶鋼の窒素吸収を防止することができる。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】本発明の電気炉における原料溶解方法の概略を模式的に示した図である。

【図2】窒素上吹き終了時の溶鋼中[C]濃度(mass%)と、転炉吹錬後～次工程開始時の溶鋼中[N]濃度との変化量(ppm)の関係を示した図である。

【図3】取鍋精錬中の吸窒量を示した図である。

【図4】電気炉におけるサブマージ加熱の切り替え時の溶鋼中[C]濃度(mass%)と、電炉出鋼時の溶鋼中[N]濃度(mass%)との関係を示した図である。

20

【発明を実施するための形態】

【0018】

以下、本発明にかかる電気炉における原料溶解方法の実施形態を、図を参照して説明する。なお、以下に説明する実施形態は、本発明を具体化した一例であって、その具体例をもって本発明の構成を限定するものではない。

まず、本発明にかかる原料の溶解方法が行われる電気炉1について説明する。ただし、本発明の原料の溶解方法は、以下に例示する電気炉1以外の型式のものであってもよい。

【0019】

図1に、本発明の電気炉1における原料（還元鉄R）の溶解方法の概略の模式図を示す。

30

図1に示すように、電気炉1は、上下に分割可能となっている。つまり、電気炉1は、上部が開口され且つ還元鉄R（冷鉄源）などが装入可能な本体2と、その本体2の開口を覆う蓋体3と、を有している。本体2と蓋体3の内部は、耐火レンガなどが施工されている。

電気炉1の側面には、排滓口4が形成されている。また、電気炉1には、排滓口4と反対側の側面に溶鋼Mを出鋼する出鋼口5が形成されている。電気炉1は、開蓋状態で装入された還元鉄R等の原料及びフラックスなどを本体2内部で溶解して溶湯M（溶鋼M）として収容可能となっている。

【0020】

電気炉1には、上方から内部に向かって挿し込まれる複数の電極6が設けられている。本実施形態では、電極6が3本挿入されている。この電極6は、黒鉛電極であって三相交流が供給されており、電極6と内部に装入された還元鉄Rとの間にアークを発生して還元鉄Rが溶解して溶湯Mを形成可能となっている。

40

電気炉1の排滓口4からは、酸素ランス7が挿し込み可能となっている。酸素ランス7から溶湯Mに対して酸素ガスを吹き込むことで、滓化を促進して脱りん処理や脱炭処理ができるようになっている。

【0021】

なお、電気炉1には姿勢を傾動させる炉傾動装置（図示略）が設けられている。この炉傾動装置を作動させて排滓口4が低くなるように電気炉1を傾動させることで、スラグSが排滓口4から排滓がされる。また、炉傾動装置を作動させて出鋼口5が低くなるように

50

電気炉 1 を傾動させることで、溶鋼 M が出鋼口 5 から出鋼される。

図 1 に、本発明の電気炉 1 における原料の溶解方法の概略の模式図を示す。

図 1 に示すように、本発明の電気炉 1 における原料の溶解方法は、アーク式の電気炉 1 で溶鋼 M を製造するに際して、炭素を含有する還元鉄 R を原料（溶解原料）として用いて、加熱によって溶解させる電気炉 1 における原料溶解方法において、加熱によって生成される溶鋼 M の炭素濃度が 0.80mass% 以下の状態で、溶鋼 M に対してサブマージドアーク加熱を行って還元鉄 R を溶解することを特徴とする。

【 0 0 2 2 】

次いで、本発明の電気炉 1 における原料（還元鉄 R）の溶解方法を具体的に説明する。

アーク式の電気炉 1 にて、溶解原料を用いて溶鋼 M を製造するに際しては、その電気炉 1 の操業では、一般的にスクラップが溶解原料として用いられている。なお、電気炉 1 を電炉 1 とも呼称することもある。

スクラップの炭素濃度は、基本的に 1mass% 以下であることから（例えば、参考文献（富浦梓, 鉄鋼界 11(1996)p25.）などを参照）、スクラップのみを溶解原料とした場合については溶鋼 M の炭素濃度が 1mass% を上回ることは無い。

【 0 0 2 3 】

一方、還元鉄 R は 1mass% を上回る炭素を含有している。その炭素を含有する還元鉄 R を溶解原料として用いる場合もある。

本発明は、アーク式の電気炉 1 で炭素を含有する還元鉄 R を溶解原料として用いて溶鋼 M を製造する場合に適用可能な技術である。

表 1 に、炭素を含有する還元鉄 R の組成の一例として、HBI(Hot Briquetted Iron)の組成を示す。なお、表 1 については、詳しくは(田中英年, 神鋼 R&D Vol.64(2014), No.1, p2-7.)や、(田中英年ら, 鉄と鋼 92(2006), p1022-1028.)などの参考文献を参照するとよい。また、表 1 は、あくまでも一例であって、還元鉄 R としては HBI に限定しない。

HBI の定義は、「650 以上の温度でブリケットにした、5g/cm³ 以上の見掛密度をもつ還元鉄（JIS M 8700：2013 より）」を基にしている。

【 0 0 2 4 】

【表 1】

成分	濃度
T-Fe (mass%)	90 ～ 94
M-Fe (mass%)	83 ～ 89
T-C (mass%)	1.0 ～ 3.5
Gangue (mass%)	2.8 ～ 6.0

【 0 0 2 5 】

表 1 に示すように、HBI（還元鉄 R）は、1mass% 超の C を含んでいる。また、表 1 については、その他不可避免的混入成分を含むものとしている。

なお例えば、スクラップと、炭素を含有する還元鉄 R と、を組み合わせることで溶解原料としても良く、その溶解原料の組み合わせについては特に限定しない。例えば、炭素を含有する材料と還元鉄 R とスクラップを併用したとしても、本発明の対象とする。

【 0 0 2 6 】

さて、電気炉 1 の操業では、アーク加熱などにより鉄源を溶解する工程と、フラックスの添加および酸素ガスを供給することにより酸化精錬（脱りんと脱炭）を行う工程と、に大別される。

酸化精錬工程では、溶落後の溶湯 M に対して電炉 1 内下部にあるガスパイプ、若しくは、電炉 1 内に挿入されるランス 7 から酸素などの所定のガスを吹き込んで溶鋼 M を攪拌しつつ酸素ガスによる脱炭を行うとともに、フラックスの添加によって形成させたスラグ S とメタル（溶鋼 M）との反応による脱りんを行う。

【 0 0 2 7 】

なお、上記の 2 つの工程については、明確に分かれているものではなく、溶解しながら酸素の吹き込み(injection)を行ったりもする。

すなわち、上記工程の区別に関し一概には言えない上に、溶解工程と酸化精錬工程の両工程の境目を明確に切り分けることは難しいが、一例としては、電気炉 1 の操業の全工程に要する時間は 1 ～ 2 時間程度である。その内訳としては、前半の鉄源溶解工程に要する時間が全体のおおよそ 6 ～ 8 割の時間であり、残り（ 4 割 ～ 2 割 ）の時間が酸化精錬工程の時間である。

【 0 0 2 8 】

さて、炭素を含有する溶鋼 M は、溶鋼 M に対してインジェクションされる酸素との反応により脱炭する。この酸素インジェクション量により、溶鋼 M 中の炭素濃度を制御することができる。

10

逆に言えば、酸素インジェクション量から、任意のタイミングでの溶鋼中炭素濃度を推算（予測）することができる。あるいは、測定用の治具等を用いて採取した溶鋼 M のサンプルを分析して実測することでも、溶鋼中炭素濃度を把握することができる。

【 0 0 2 9 】

アーク式の電気炉 1 で溶鋼 M を得る操業においては、サブマージドアーク加熱を行う方が、着熱効率が高いことが知られている。サブマージドアーク加熱とは、原料（還元鉄 R）が全て溶落して溶湯 M がフラットバスとなった後に、スラグフォーミングして溶鋼 M 表面をスラグ S で覆い、そのスラグ S に電極 6 を浸漬させて加熱する方法である。なお、サブマージ加熱やサブマージド加熱と記載することもある。

20

【 0 0 3 0 】

一方で、原料の一部が固体の状態で残存している間に、スラグフォーミングを開始させると、そのスラグ S が固体の原料を覆ってしまい、原料を覆うスラグ S が原料の溶解を阻害する。

そのため、固体原料（還元鉄 R）を溶落させて早期に溶湯 M をフラットバス化するためには、スラグ S を生成させずに、固体原料（還元鉄 R）に直接アークを照射して溶解するオープンアーク加熱を行う方が良い。

【 0 0 3 1 】

特に、還元鉄 R を原料として用いる場合では、還元鉄 R は脈石成分や空隙がスクラップと比較して多く溶解効率が低いことから、積極的にオープンアーク加熱を行って効率よく溶解することが有効である。なお、未溶解の原料 R が存在する状態でスラグフォーミングさせると、原料の溶解が難しくなるという記述が（参考文献：森井 簾, 電気炉製鋼法, 2000, P155.）にある。

30

【 0 0 3 2 】

ただし、オープンアーク加熱を行う場合は、溶鋼 M と大気が接触するため、溶鋼 M が大気から N を吸収（吸窒）する可能性がある。その鋼材中の [N] 濃度は、低濃度の方が望ましい。

溶鋼 M 中に固溶する窒素は、後工程における圧延工程または鍛造工程のときにおいて、鋼材表面に皺（しわ）や割れなどの欠陥をもたらすことが一般的に課題として知られている。そのため、電気炉 1 の操業中における溶鋼 M の吸窒を抑制し、電気炉 1 での処理後の窒素濃度を 50 ppm 未満にすることが、欠陥の抑制（鋼材品質の向上）には必要となってくる。

40

【 0 0 3 3 】

従って、効率よく原料（還元鉄 R）の溶解を行うためには、可能な限りオープンアーク加熱を志向しながらも、溶鋼 M の吸窒を起こさないことが重要となってくる。

ところで、溶鋼中炭素濃度は、溶鋼 M の吸窒（窒素吸収）挙動に影響する。その理由を以下に述べる。

まず、溶鋼 M の平衡窒素濃度 $[\%N]_e$ は、以下の式（ 1 ）で算出することが可能である（参考文献：（鍋島ら, 鉄と鋼 101 (2015), p627-635.）などを参照）。

50

【 0 0 3 4 】

【数 1】

$$[N]_e = \frac{\sqrt{P_{N_2}}}{f_N} \cdot \exp\left(-\frac{9916 + 20.17T}{RT}\right) \quad \dots (1)$$

【 0 0 3 5 】

ただし、 $[N]_e$ ：溶鋼の平衡窒素濃度(mass%) P_{N_2} ：溶鋼と接触する気体の窒素分圧

T：絶対温度(K)

R：気体定数

式(1)の f_N は、窒素の活量係数であり、以下の式(2)で算出することが可能である

。

【 0 0 3 6 】

【数 2】

$$\log f_N = \sum_j e_N^j \cdot [\%j] \quad \dots (2)$$

10

20

【 0 0 3 7 】

ただし、 $[\%j]$ ：溶鋼中の溶質成分(mass%)

式(2)の e_N^j は、同じメタル中の各成分の窒素に対する相互作用助係数であり、 $e_N^C = 0.13$ である(参考文献：(製鋼反応の推奨値 日本学術振興会19委員会編,(1984).)などを参照)。

また、 e_N^C がゼロ(0)より大きい数値であるため、溶鋼中[C]濃度の増加に伴い f_N は大きくなる。

【 0 0 3 8 】

従って、溶鋼中[C]濃度の増加で f_N が大きくなることで、平衡窒素濃度 $[N]_e$ が小さくなる、すなわち溶鋼M中に溶解可能な窒素濃度が低くなる。

30

また、溶鋼M側の物質移動が律速する場合の溶鋼Mの脱窒・吸窒速度は、以下の式(3)で算出することが可能である(参考文献：(鍋島ら,鉄と鋼101(2015),p627-635.)などを参照)。

【 0 0 3 9 】

【数 3】

$$-d[N]/dt = \frac{A}{V} k_{Nm} ([N] - [N]_e) \quad \dots (3)$$

【 0 0 4 0 】

ただし、 $[N]$ ：溶鋼中窒素濃度(mass%) $[N]_e$ ：溶鋼の平衡窒素濃度(mass%)A：気体と接触する溶鋼の面積(m^2)V：溶鋼体積(m^3) k_{Nm} ：物質移動係数(m/min)

40

【 0 0 4 1 】

上記の通り、溶鋼中[C]濃度の増加に伴って、平衡窒素濃度 $[N]_e$ が小さくなる。

また、平衡窒素濃度 $[N]_e$ が低くなるということは、到達する溶鋼中[N]濃度が低くなることに加え、溶鋼Mの吸窒速度も遅くなることである。

以上述べたことが、溶鋼中[C]濃度が高い場合においては、溶鋼Mの吸窒が生じにくくな

50

る理由である。

従って、溶鋼中[C]濃度が高いときは、溶鋼Mは大気と触れても吸窒しないことから、積極的にオープンアーク加熱を実施しても良い。

【 0 0 4 2 】

一方で、低炭素濃度領域では溶鋼Mの吸窒（窒素吸収）が進行することから、所定の炭素濃度以下の領域では、溶鋼Mの窒素吸収を抑制するため、スラグSで覆うサブマージ加熱を行わなければならない。

溶鋼Mの吸窒が生じるか否かの溶鋼中[C]濃度の閾値については、転炉にて行ったテストにより導出した。

【 0 0 4 3 】

[実施例 1]

以下に、転炉にて行ったテストの実施例及び比較例について、説明する。なお、本実施例に記載した内容は本発明の例示であって、これに限定されるものではない。

[実施条件（転炉）]

本実施例における転炉の実施条件については、以下の通りである。

表 2 に、転炉の実施条件について示す。

【 0 0 4 4 】

【表 2】

項 目	内 容	
転炉の仕様	容量	250ton
	型式	上底吹き
	上吹酸素流量	400～900Nm ³ /min
窒素供給方法	方法	上吹き
	供給流量	20Nm ³ /min
転炉吹錬前の主成分	(mass%C)	3.3～4.2
	(mass%Si)	0.01～0.09
	(mass%Mn)	0.04～0.19
	(mass%P)	0.01～0.06
	(mass%S)	0.010～0.011

【 0 0 4 5 】

なお、その他の実施条件については、当業者常法にて実施した。

本実施例は、250t転炉において、溶鋼Mが吸窒することで及ぼす溶鋼中[C]濃度の影響を研究するテストを行った。

ただし、250t転炉の操業は当業者常法であり、上吹きで酸素を照射することで溶鉄M（溶銑Mや溶鋼M）中の[C]濃度が漸減する。さらに、本テストでは、酸素に加え溶鉄Mに吸窒を生じさせるため、窒素も20Nm³/minで上吹きした。

【 0 0 4 6 】

本テストでは、吹錬初期から窒素の上吹きを開始し、窒素の上吹きを停止するときの溶鋼中[C]濃度を変化させる実験を複数ch（チャージ）行った。

なお、窒素上吹きテストの吸窒挙動は、以下のように評価した。

まず、窒素を上吹していない通常操業ch（非テストch）の吹錬後の溶鋼中[N]濃度については、操業条件の因子を変数とした予測式を用いて算出することが可能である。

【 0 0 4 7 】

また、転炉の次工程においては、処理開始前に溶鋼Mのサンプルを採取して、溶鋼中[N]濃度を実測する。

これらから、通常操業chにおける転炉吹錬後の溶鋼中[N]濃度と、次工程開始前における溶鋼中[N]濃度の変化量を算出することができる。また、通常操業chにおける溶鋼中[N]

濃度の変化量の平均および標準偏差 σ も算出することができる。

【 0 0 4 8 】

ところで、吹錬後の溶鋼中[N]濃度の予測式には、窒素上吹きに関する項は含まれていない。従って、窒素上吹きにおいて溶鋼中[N]濃度が高まったとしても、吹錬後の溶鋼中の予測[N]濃度は通常操業chにおける溶鋼中[N]濃度と同じ程度となる。その一方で、実測する次工程開始時の溶鋼中[N]濃度については、溶鋼Mの吸室量に応じて高くなる。

このことから、窒素上吹きを行うことにより溶鋼中[N]濃度が高まった場合、転炉吹錬後の溶鋼中[N]濃度と、次工程開始時の溶鋼中[N]濃度との変化量は大きくなる。

【 0 0 4 9 】

以上より、窒素上吹きテストchにおいて、上吹きによる窒素の供給を停止したときの溶鋼中[C]濃度と、溶鋼中[N]濃度との変化量の関係を示すグラフを描いた上で、窒素変化量が通常の範囲を逸脱しているchがあった場合、そのchについては溶鋼Mの吸室が進行したと判断することができる。

なお、本実施例では、窒素変化量が通常操業chにおける溶鋼中[N]濃度の変化量の平均 + 3σ を外れた場合、溶鋼Mの吸室（窒素吸収）が進行したと判断した。

上記の窒素上吹きテストchについては、10ch分のデータを用いた。また、通常操業ch（非テスト）については、187ch分のデータを用いた。

表 3 に、窒素吹きテストch（チャージ）のデータを示す。

【 0 0 5 0 】

【表 3】

実験 番号	位置付け	窒素上吹 流量	供給窒素 積算量	窒素上吹停止時の 溶鋼中[C]濃度 ※Cの物質収支から算出	窒素上吹きを実施しなかった場合の 吹錬後の溶鋼中[N]濃度の推算値 ※操業因子を変数とした予測式で算出	転炉次工程 処理前溶鋼 中[N]濃度	転炉後～次工程 開始の溶鋼中 [N]濃度変化量	判定	
		Nm ³ /min	Nm ³	mass%	ppm	ppm	ppm	結果	理由
N-1	窒素吹きテスト	20	58	2.62	36.1	41	4.94	OK	通常ch平均+3 σ の範囲内
N-2	窒素吹きテスト	20	64	3.02	24.9	34	9.12	OK	通常ch平均+3 σ の範囲内
N-3	窒素吹きテスト	20	100	2.27	27.1	39	11.86	OK	通常ch平均+3 σ の範囲内
N-4	窒素吹きテスト	20	96	2.19	32.1	40	7.92	OK	通常ch平均+3 σ の範囲内
N-5	窒素吹きテスト	20	84	2.35	27.6	35	7.36	OK	通常ch平均+3 σ の範囲内
N-6	窒素吹きテスト	20	81	2.39	32.6	39	6.39	OK	通常ch平均+3 σ の範囲内
N-7	窒素吹きテスト	20	196	0.75	30.6	52	21.39	NG	通常ch平均+3 σ の外
N-8	窒素吹きテスト	20	204	0.63	35.5	56	20.52	NG	通常ch平均+3 σ の外
N-9	窒素吹きテスト	20	177	0.80	30.6	51	20.42	NG	通常ch平均+3 σ の外
N-10	窒素吹きテスト	20	157	1.25	30.8	38	7.24	OK	通常ch平均+3 σ の範囲内

表 4 ～ 7 に、通常操業ch（チャージ）のデータを示す。

【 0 0 5 1 】

10

20

30

40

50

【表 4】

実験 番号	位置付け	窒素上吹 流量	供給窒素 積算量	窒素上吹停止時の 溶鋼中[C]濃度 ※Cの物質収支から算出	窒素吹きを実施しなかった場合の 吹錬後の溶鋼中[N]濃度の推算値 ※操業因子を変数とした予測式で算出	転炉次工程 処理前溶鋼 中[N]濃度	転炉後～次工程 開始の溶鋼中 [N]濃度変化量	判定	
		Nm ³ /min	Nm ³	mass%	ppm	ppm	ppm	結果	理由
U-1	通常操業	0	0	—	28.3	39	10.69	—	—
U-2	通常操業	0	0	—	23.1	33	9.94	—	—
U-3	通常操業	0	0	—	21.4	28	6.65	—	—
U-4	通常操業	0	0	—	24.1	23	-1.12	—	—
U-5	通常操業	0	0	—	33.5	36	2.49	—	—
U-6	通常操業	0	0	—	32.0	36	3.96	—	—
U-7	通常操業	0	0	—	27.1	23	-4.13	—	—
U-8	通常操業	0	0	—	25.0	23	-2.00	—	—
U-9	通常操業	0	0	—	26.6	38	11.36	—	—
U-10	通常操業	0	0	—	28.5	30	1.50	—	—
U-11	通常操業	0	0	—	25.3	24	-1.33	—	—
U-12	通常操業	0	0	—	26.1	23	-3.13	—	—
U-13	通常操業	0	0	—	24.5	24	-0.45	—	—
U-14	通常操業	0	0	—	25.2	23	-2.25	—	—
U-15	通常操業	0	0	—	34.4	39	4.56	—	—
U-16	通常操業	0	0	—	25.7	25	-0.65	—	—
U-17	通常操業	0	0	—	35.9	45	9.10	—	—
U-18	通常操業	0	0	—	33.5	34	0.51	—	—
U-19	通常操業	0	0	—	38.8	42	3.15	—	—
U-20	通常操業	0	0	—	41.5	37	-4.45	—	—
U-21	通常操業	0	0	—	39.3	35	-4.31	—	—
U-22	通常操業	0	0	—	40.4	39	-1.41	—	—
U-23	通常操業	0	0	—	28.6	19	-9.58	—	—
U-24	通常操業	0	0	—	39.9	46	6.14	—	—
U-25	通常操業	0	0	—	26.4	27	0.56	—	—
U-26	通常操業	0	0	—	37.6	41	3.41	—	—
U-27	通常操業	0	0	—	34.7	36	1.28	—	—
U-28	通常操業	0	0	—	30.7	19	-11.66	—	—
U-29	通常操業	0	0	—	25.0	25	-0.02	—	—
U-30	通常操業	0	0	—	34.3	33	-1.28	—	—
U-31	通常操業	0	0	—	34.0	28	-6.04	—	—
U-32	通常操業	0	0	—	36.6	32	-4.64	—	—
U-33	通常操業	0	0	—	24.8	25	0.15	—	—
U-34	通常操業	0	0	—	27.8	21	-6.85	—	—
U-35	通常操業	0	0	—	26.4	29	2.57	—	—
U-36	通常操業	0	0	—	38.8	39	0.22	—	—
U-37	通常操業	0	0	—	25.1	25	-0.14	—	—
U-38	通常操業	0	0	—	39.1	38	-1.11	—	—
U-39	通常操業	0	0	—	40.0	39	-1.04	—	—
U-40	通常操業	0	0	—	39.0	44	5.04	—	—
U-41	通常操業	0	0	—	39.8	44	4.25	—	—
U-42	通常操業	0	0	—	40.2	44	3.80	—	—
U-43	通常操業	0	0	—	37.4	38	0.58	—	—
U-44	通常操業	0	0	—	26.7	27	0.28	—	—
U-45	通常操業	0	0	—	34.3	37	2.67	—	—
U-46	通常操業	0	0	—	37.3	33	-4.28	—	—
U-47	通常操業	0	0	—	26.9	29	2.06	—	—
U-48	通常操業	0	0	—	27.8	28	0.21	—	—
U-49	通常操業	0	0	—	30.0	33	3.03	—	—
U-50	通常操業	0	0	—	40.9	45	4.09	—	—

【 0 0 5 2 】

10

20

30

40

50

【表 5】

実験 番号	位置付け	窒素上吹 流量	供給窒素 積算量	窒素上吹停止時の 溶鋼中[C]濃度 ※Cの物質収支から算出	窒素吹きを実施しなかった場合の 吹錬後の溶鋼中[N]濃度の推算値 ※操業因子を変数とした予測式で算出	転炉次工程 処理前溶鋼 中[N]濃度	転炉後～次工程 開始の溶鋼中 [N]濃度変化量	判定	
		Nm ³ /min	Nm ³	mass%	ppm	ppm	ppm	結果	理由
U-51	通常操業	0	0	—	34.0	37	2.98	—	—
U-52	通常操業	0	0	—	34.9	40	5.11	—	—
U-53	通常操業	0	0	—	33.5	37	3.45	—	—
U-54	通常操業	0	0	—	35.8	30	-5.77	—	—
U-55	通常操業	0	0	—	39.4	48	8.62	—	—
U-56	通常操業	0	0	—	38.5	36	-2.48	—	—
U-57	通常操業	0	0	—	36.9	29	-7.90	—	—
U-58	通常操業	0	0	—	35.1	45	9.85	—	—
U-59	通常操業	0	0	—	36.7	41	4.28	—	—
U-60	通常操業	0	0	—	37.0	34	-3.01	—	—
U-61	通常操業	0	0	—	35.0	28	-7.03	—	—
U-62	通常操業	0	0	—	39.4	41	1.63	—	—
U-63	通常操業	0	0	—	40.2	43	2.84	—	—
U-64	通常操業	0	0	—	42.1	49	6.90	—	—
U-65	通常操業	0	0	—	31.5	51	19.54	—	—
U-66	通常操業	0	0	—	28.7	23	-5.68	—	—
U-67	通常操業	0	0	—	28.3	29	0.68	—	—
U-68	通常操業	0	0	—	35.6	32	-3.65	—	—
U-69	通常操業	0	0	—	40.7	50	9.28	—	—
U-70	通常操業	0	0	—	39.7	43	3.33	—	—
U-71	通常操業	0	0	—	39.2	34	-5.21	—	—
U-72	通常操業	0	0	—	39.9	37	-2.88	—	—
U-73	通常操業	0	0	—	39.0	38	-0.99	—	—
U-74	通常操業	0	0	—	39.9	46	6.06	—	—
U-75	通常操業	0	0	—	25.9	22	-3.87	—	—
U-76	通常操業	0	0	—	25.6	23	-2.59	—	—
U-77	通常操業	0	0	—	40.2	43	2.82	—	—
U-78	通常操業	0	0	—	41.6	41	-0.61	—	—
U-79	通常操業	0	0	—	41.4	45	3.61	—	—
U-80	通常操業	0	0	—	28.7	33	4.28	—	—
U-81	通常操業	0	0	—	26.0	26	0.02	—	—
U-82	通常操業	0	0	—	39.7	44	4.26	—	—
U-83	通常操業	0	0	—	39.4	40	0.64	—	—
U-84	通常操業	0	0	—	37.8	51	13.20	—	—
U-85	通常操業	0	0	—	36.4	31	-5.42	—	—
U-86	通常操業	0	0	—	42.1	50	7.92	—	—
U-87	通常操業	0	0	—	41.3	47	5.74	—	—
U-88	通常操業	0	0	—	29.4	24	-5.38	—	—
U-89	通常操業	0	0	—	26.3	32	5.67	—	—
U-90	通常操業	0	0	—	25.9	35	9.09	—	—
U-91	通常操業	0	0	—	26.0	27	1.04	—	—
U-92	通常操業	0	0	—	24.9	30	5.06	—	—
U-93	通常操業	0	0	—	35.8	28	-7.78	—	—
U-94	通常操業	0	0	—	37.1	39	1.94	—	—
U-95	通常操業	0	0	—	25.8	37	11.16	—	—
U-96	通常操業	0	0	—	25.8	29	3.18	—	—
U-97	通常操業	0	0	—	26.0	25	-0.97	—	—
U-98	通常操業	0	0	—	35.7	48	12.30	—	—
U-99	通常操業	0	0	—	35.1	30	-5.14	—	—
U-100	通常操業	0	0	—	33.3	29	-4.32	—	—

【 0 0 5 3 】

10

20

30

40

50

【表 6】

実験 番号	位置付け	窒素上吹 流量	供給窒素 積算量	窒素上吹停止時の 溶鋼中[C]濃度 ※Cの物質収支から算出	窒素吹きを実施しなかった場合の 吹錬後の溶鋼中[N]濃度の推算値 ※操業因子を乗数とした予測式で算出	転炉次工程 処理前溶鋼 中[N]濃度	転炉後～次工程 開始の溶鋼中 [N]濃度変化量	判定	
		Nm ³ /min	Nm ³	mass%	ppm	ppm	ppm	結果	理由
U-101	通常操業	0	0	—	27.1	34	6.87	—	—
U-102	通常操業	0	0	—	26.3	27	0.74	—	—
U-103	通常操業	0	0	—	26.0	25	-0.97	—	—
U-104	通常操業	0	0	—	30.0	21	-8.97	—	—
U-105	通常操業	0	0	—	26.2	27	0.83	—	—
U-106	通常操業	0	0	—	34.1	37	2.86	—	—
U-107	通常操業	0	0	—	24.8	29	4.16	—	—
U-108	通常操業	0	0	—	25.1	19	-6.07	—	—
U-109	通常操業	0	0	—	25.8	17	-8.83	—	—
U-110	通常操業	0	0	—	26.4	17	-9.39	—	—
U-111	通常操業	0	0	—	34.5	30	-4.48	—	—
U-112	通常操業	0	0	—	29.5	25	-4.52	—	—
U-113	通常操業	0	0	—	27.2	32	4.78	—	—
U-114	通常操業	0	0	—	27.9	32	4.11	—	—
U-115	通常操業	0	0	—	33.0	60	26.97	—	—
U-116	通常操業	0	0	—	27.5	27	-0.47	—	—
U-117	通常操業	0	0	—	25.6	24	-1.62	—	—
U-118	通常操業	0	0	—	36.7	32	-4.65	—	—
U-119	通常操業	0	0	—	27.0	28	0.97	—	—
U-120	通常操業	0	0	—	25.4	22	-3.43	—	—
U-121	通常操業	0	0	—	26.2	24	-2.21	—	—
U-122	通常操業	0	0	—	25.4	29	3.56	—	—
U-123	通常操業	0	0	—	25.3	20	-5.30	—	—
U-124	通常操業	0	0	—	25.8	35	9.25	—	—
U-125	通常操業	0	0	—	25.8	22	-3.82	—	—
U-126	通常操業	0	0	—	25.5	23	-2.53	—	—
U-127	通常操業	0	0	—	26.6	25	-1.56	—	—
U-128	通常操業	0	0	—	24.5	25	0.50	—	—
U-129	通常操業	0	0	—	35.7	31	-4.68	—	—
U-130	通常操業	0	0	—	24.8	22	-2.78	—	—
U-131	通常操業	0	0	—	25.6	26	0.44	—	—
U-132	通常操業	0	0	—	27.1	27	-0.10	—	—
U-133	通常操業	0	0	—	36.4	30	-6.40	—	—
U-134	通常操業	0	0	—	25.7	18	-7.70	—	—
U-135	通常操業	0	0	—	38.6	37	-1.62	—	—
U-136	通常操業	0	0	—	26.4	24	-2.41	—	—
U-137	通常操業	0	0	—	25.5	31	5.52	—	—
U-138	通常操業	0	0	—	25.5	28	2.45	—	—
U-139	通常操業	0	0	—	27.4	30	2.56	—	—
U-140	通常操業	0	0	—	24.8	23	-1.84	—	—
U-141	通常操業	0	0	—	36.1	35	-1.14	—	—
U-142	通常操業	0	0	—	34.7	41	6.34	—	—
U-143	通常操業	0	0	—	34.7	35	0.27	—	—
U-144	通常操業	0	0	—	29.7	29	-0.68	—	—
U-145	通常操業	0	0	—	33.8	43	9.16	—	—
U-146	通常操業	0	0	—	33.4	28	-5.36	—	—
U-147	通常操業	0	0	—	41.1	43	1.87	—	—
U-148	通常操業	0	0	—	38.2	38	-0.17	—	—
U-149	通常操業	0	0	—	24.7	23	-1.66	—	—
U-150	通常操業	0	0	—	33.6	53	19.44	—	—

【 0 0 5 4 】

10

20

30

40

50

【表 7】

実験 番号	位置付け	窒素上吹 流量	供給窒素 積算量	窒素上吹停止時の 溶鋼中[C]濃度 ※Cの物質収支から算出	窒素吹きを実施しなかった場合の 吹錬後の溶鋼中[N]濃度の推算値 ※操業因子を変数とした予測式で算出	転炉次工程 処理前溶鋼 中[N]濃度	転炉後～次工程 開始の溶鋼中 [N]濃度変化量	判定	
		Nm ³ /min	Nm ³	mass%	ppm	ppm	ppm	結果	理由
U-151	通常操業	0	0	—	25.4	25	-0.37	—	—
U-152	通常操業	0	0	—	39.3	28	-11.33	—	—
U-153	通常操業	0	0	—	36.3	35	-1.33	—	—
U-154	通常操業	0	0	—	34.8	39	4.23	—	—
U-155	通常操業	0	0	—	39.6	45	5.37	—	—
U-156	通常操業	0	0	—	38.9	29	-9.93	—	—
U-157	通常操業	0	0	—	41.2	36	-5.23	—	—
U-158	通常操業	0	0	—	39.4	29	-10.37	—	—
U-159	通常操業	0	0	—	36.6	39	2.39	—	—
U-160	通常操業	0	0	—	37.5	44	6.46	—	—
U-161	通常操業	0	0	—	25.6	21	-4.57	—	—
U-162	通常操業	0	0	—	24.7	25	0.25	—	—
U-163	通常操業	0	0	—	41.9	40	-1.86	—	—
U-164	通常操業	0	0	—	24.5	22	-2.45	—	—
U-165	通常操業	0	0	—	40.5	42	1.55	—	—
U-166	通常操業	0	0	—	40.1	47	6.85	—	—
U-167	通常操業	0	0	—	28.8	33	4.21	—	—
U-168	通常操業	0	0	—	33.5	37	3.51	—	—
U-169	通常操業	0	0	—	41.9	46	4.14	—	—
U-170	通常操業	0	0	—	31.7	33	1.35	—	—
U-171	通常操業	0	0	—	35.9	31	-4.92	—	—
U-172	通常操業	0	0	—	35.4	28	-7.37	—	—
U-173	通常操業	0	0	—	39.6	43	3.40	—	—
U-174	通常操業	0	0	—	39.8	46	6.17	—	—
U-175	通常操業	0	0	—	39.9	37	-2.92	—	—
U-176	通常操業	0	0	—	35.2	41	5.76	—	—
U-177	通常操業	0	0	—	32.6	36	3.35	—	—
U-178	通常操業	0	0	—	35.8	31	-4.84	—	—
U-179	通常操業	0	0	—	35.7	37	1.26	—	—
U-180	通常操業	0	0	—	41.3	42	0.69	—	—
U-181	通常操業	0	0	—	34.8	29	-5.77	—	—
U-182	通常操業	0	0	—	33.7	31	-2.70	—	—
U-183	通常操業	0	0	—	40.8	42	1.16	—	—
U-184	通常操業	0	0	—	42.2	26	-16.21	—	—
U-185	通常操業	0	0	—	33.6	20	-13.59	—	—
U-186	通常操業	0	0	—	40.8	38	-2.84	—	—
U-187	通常操業	0	0	—	39.7	36	-3.69	—	—

10

20

【0055】

窒素吹き終了時の溶鋼中炭素濃度については、転炉へのインプット炭素量から排ガスとして系外へ排出されたC分を考慮した物質収支から算出した。

[実施例、比較例（転炉）]

図2に、窒素上吹き終了時の溶鋼中[C]濃度(mass%)と、転炉吹錬後～次工程開始時の溶鋼中[N]濃度の変化量(ppm)との関係を示す。

【0056】

図2を参照すると、溶鋼中[C]濃度が0.80mass%以下であると、溶鋼中[N]濃度が高くなることからわかる。すなわち、溶鋼中[N]濃度の変化量(ppm)が高くなると、溶鋼Mの吸室が行われるようになる。

30

図2に示す関係や、表3の実験番号N-9など、上記に基づいて考察した結果、溶鋼中[C]濃度>0.80mass%の範囲において、溶鋼Mの吸室が抑制されることが分かったため、溶鋼中[C]濃度>0.80mass%と規定した。つまり、溶鋼中[C]濃度>0.80mass%が、溶鋼Mの窒素吸収の抑制に必要となる。

【0057】

このように、溶鋼中[C]濃度>0.80mass%では、必ずサブマージドアーク加熱を行うこととする。

なお、溶鋼中[C]濃度:0.80mass%については、予測値でもよいし実測値でもよい。本実施形態では、溶鋼中[C]濃度:0.80mass%について予測値を用いた。

40

さらに鋭意研究した結果、図2に示すように、通常操業時における溶鋼中[N]濃度の変化量の平均+3σ=18.1ppmと、窒素吹き終了時の溶鋼中炭素濃度が低い4点の一次近似式との交点が0.83mass%である。このことから、溶鋼中[C]濃度>0.83mass%が好ましいと知見した。

[実施例2]

次に、電気炉1にて行ったテストの実施例及び比較例について、説明する。なお、本実施例に記載した内容は本発明の例示であって、これに限定されるものではない。

[実施条件（電気炉）]

本実施例における電気炉1の実施条件については、以下の通りである。

50

【 0 0 5 8 】

【表 8】

項 目	内 容	
電気炉①の仕様	容量	20ton
	電源方式	交流
	トランス容量(MVA)	12.5
	電極径(inch)	14
電気炉②の仕様	容量	100ton
	電源方式	交流
	トランス容量(MVA)	35
	電極径(inch)	20
溶解原料	スクラップ及び銑鉄	電気炉①: 単重800kg以下
		電気炉②: 単重1500kg以下
		組成は表9に記載
	還元鉄	組成一例は表1に記載
電気炉①の溶解重量	スクラップ及び銑鉄	21～25ton/heat
	還元鉄	3～7ton/heat
電気炉②の溶解重量	スクラップ・銑鉄	47～143ton/heat
	還元鉄	47～74ton/heat
スラグ	フラックス組成	フラックスの組成は表10に記載
	スラグ原単位(kg/t)	140～200
電気炉操業条件	全酸素使用量(Nm ³ /t)	1.9～5.2
	電力使用量(kWh/t)	570～650
電気炉後の溶鋼の主成分	(mass%C)	0.05～0.06
	(mass%Mn)	0.03～0.16
	(mass%P)	0.004～0.005
	(mass%S)	0.01

【 0 0 5 9 】

なお、その他の実施条件については、当業者常法にて実施した。

表9に、使用したスクラップおよび銑鉄の組成の一例について示す。なお、表9については、主成分はFeである。またいずれも、その他不可避的混入成分を含むものとしている。また、表9は、あくまでも一例であって、スクラップおよび銑鉄の組成はこれに限定しない。

【 0 0 6 0 】

【表 9】

成分	スクラップ	銑鉄
C (mass%)	0.03 ～ 0.85	1.21 ～ 4.52
Si (mass%)	0.05 ～ 3.86	0.01 ～ 1.00
Mn (mass%)	0.33 ～ 2.00	0.05 ～ 0.70
P (mass%)	0.005 ～ 0.30	0.010 ～ 0.15
Si (mass%)	0.002 ～ 0.034	0.003 ～ 0.050

【 0 0 6 1 】

なお、HBIの組成の一例については、表 1 に示す通りである。また、表 1 については、その他不可避的混入成分を含むものとしている。

表 1 0 に、フラックスの組成(mass%)の一例について示す。なお、表 1 0 については、空欄は分析値無しであり、またいずれも、その他不可避的混入成分を含むものとしている。また、表 1 0 は、あくまでも一例であって、フラックスの組成はこれに限定しない。

【 0 0 6 2 】

【表 1 0 】

種別	(mass%)			
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO
石灰系	95.9	0.24		0.56
	96.2	0.3		0.91
	95.9	0.24		0.56
アルミナ系	0.5	0.72	96.65	0.23
カルシウムアルミケート系	33.4	2.2	57.4	4.7
マグネシア系	2.0	2.6	0.7	92.8
	1.3	2.18	0.17	95.8
	2.6	3.5	0.7	90.6
	1.3	0.7	0.2	86.0
シリカ系	46.0	50.9	0.63	0.67
		86.5	6.69	

【 0 0 6 3 】

本実施例及び比較例については、20tと100tの電気炉 1 で行った。

電気炉 1 での本実施例及び比較例の操業としては、初期はオープンアーク加熱を行い、処理の途中から電極 6 を浸漬させるサブマージドアーク加熱を行った。そのサブマージ加熱に切り替えるまでに、酸素をinjectionした。このinjection酸素は、溶鋼 M 中の C と反応するものである。

【 0 0 6 4 】

すなわち、サブマージ加熱に切り替える前の溶鋼中炭素濃度については、酸素injection量で制御が可能である。この切り替え時の溶鋼中炭素濃度は、injectionした酸素が化学両論的に溶鋼 M 中の C と反応するものとして算出することが可能である。

なお本実施例では、上記のような電炉 1 での操業で効果を確認したが、溶鋼中炭素濃度は酸素injectionで制御しなくてもよく、溶鋼中炭素濃度を適宜測定しながら、オープンアーク加熱とサブマージドアーク加熱を適切に切り替えても良い。

【 0 0 6 5 】

溶鋼中[C]濃度が0.80mass%以下となると、上記した図 2 のように、溶鋼 M の吸窒量が増加することとなる。その吸窒量を抑制するためには、サブマージ加熱して溶鋼 M をスラグ S で覆うことで、溶鋼 M と大気との接触を遮断すると好ましい。

なお、電気炉 1 の操業において、オープンアーク加熱とサブマージドアーク加熱を切り替える方法については、例えば電極 6 の高さを変更する方法が良く、各工場の設備を鑑みて最適な方法を採用すると良い。

【 0 0 6 6 】

図 3 に、取鍋精錬中の吸窒量を示す。なお、図 3 については、詳しくは(阿部ら,鉄と鋼 68(1982),1955.)などの参考文献を参照するとよい。

図 3 に示すように、スラグ S が溶鋼 M の表面を覆うことで、溶鋼 M への吸窒が抑えられることは、参考文献でも示されているように、これまでに確認された事象である。

[実施例、比較例 (電気炉)]

表 1 1 に、電気炉 1 にて行ったテストの実施例及び比較例を示す。
【 0 0 6 7 】
【 表 1 1 】

実験 番号	原料配合量 (t)			配合 C濃度 %	サブマージ加熱に切り替え るまでの酸素injection量 Nm ³	サブマージ加熱に切り替え 時の溶鋼中[C]濃度 mass%	電炉出鋼時の 溶鋼中[N]濃度 ppm	判定	
	スクラップ	HBI	合計					結果	理由
E-1	52.9	73.8	126.7	1.678	59	1.59	36	OK	溶鋼中[N]濃度が50ppm未満
E-2	47.1	47.65	94.75	1.83	103	1.68	40	OK	溶鋼中[N]濃度が50ppm未満
E-3	25	3	28	0.8	44	0.61	57	NG	サブマージ加熱の切り替え時に既に溶鋼中[C] 濃度が閾値を下回っており、 電炉後溶鋼中[N]濃度が50ppm以上
E-4	21.5	6.58	28.08	0.83	10	0.78	50	NG	サブマージ加熱の切り替え時に既に溶鋼中[C] 濃度が閾値を下回っており、 電炉後溶鋼中[N]濃度が50ppm以上

10

【 0 0 6 8 】
ただし、表 1 1 のサブマージドアーク加熱に切り替えたときの溶鋼中[C]濃度について、
溶鋼中[C]濃度とinjection酸素が化学両論的に反応するとして算出した。
図 4 に、電炉 1 において、サブマージドアーク加熱に切り替えたときの溶鋼中[C]濃度(
mass%)と、電炉 1 出鋼時の溶鋼中[N]濃度(mass%)との関係を示す。
図 4、表 1 1 などに示すように、本実施例の実験番号E-1は、溶鋼中[C]濃度が1.59mas
s%のときにサブマージドアーク加熱に切り替え、溶鋼Mの吸室抑制に必要な溶鋼中[C]濃
度：0.80mass%以下の状態にてサブマージドアーク加熱を行った結果、電気炉 1 から出鋼
したときの溶鋼中[N]濃度が36ppmとなり、50ppm未満となり、良好な結果を得た。

20

【 0 0 6 9 】
本実施例の実験番号E-2は、溶鋼中[C]濃度が1.68mass%のときにサブマージドアーク
加熱に切り替え、溶鋼Mの吸室抑制に必要な溶鋼中[C]濃度：0.80mass%以下の状態にて
サブマージドアーク加熱を行った結果、電気炉 1 から出鋼したときの溶鋼中[N]濃度が40p
pmとなり、50ppm未満となり、良好な結果を得た。
一方、比較例の実験番号E-3,4のように、溶鋼中[C]濃度が0.80mass%より下(0.61mas
s%,0.78mass%)でサブマージドアーク加熱に切り替えると、電気炉 1 から出鋼したとき
の溶鋼中[N]濃度が50ppmを超える(57ppm,50ppm)こととなってしまう、求める結果か
ら外れることとなった。

30

【 0 0 7 0 】
つまり、溶鋼Mの炭素濃度が0.80mass%以下の状態にあるとき、その溶鋼Mに対してサ
ブマージドアーク加熱を行って原料R（還元鉄R）を溶解すると、出鋼時の溶鋼中[N]濃度
が50ppm未満となる。

なお、電気炉 1 での溶鋼中窒素濃度を50ppm未満にする理由については、以下の通りで
ある。

【 0 0 7 1 】
溶鋼M中に固溶する窒素は、後工程における圧延工程または鍛造工程のときにおいて、
鋼材の表面に皺（しわ）や割れなどの欠陥をもたらすことが、一般的に課題として知られ
ている。そのため、吸室による欠陥を抑制し鋼材の品質を高めるには、電気炉 1 での処理
後の溶鋼中窒素濃度を50ppm未満にする必要がある。

40

上で詳説したように実施すれば、電気炉 1 での操作において、溶鋼中[C]濃度 0.80ma
ss%となる前に、サブマージドアーク加熱へ切り替えることで、電気炉 1 での処理後の溶
鋼中窒素濃度を50ppm未満にすることが可能となる。

【 0 0 7 2 】
すなわち、還元鉄Rを原料とする原料溶解工程においては、C>0.80mass%の領域では
着熱効率の優れるオープンアーク加熱を選択して実施しても良いが、低炭素濃度領域(C
0.80mass%)では溶鋼Mの窒素吸収を抑制するサブマージドアーク加熱を行うことで、出
鋼時の溶鋼中窒素濃度を低位にすることが可能となる。

以上、本発明の電気炉 1 における原料（還元鉄R）の溶解方法によれば、炭素を含有す

50

る還元鉄 R を原料として用いて、アーク式の電気炉 1 で溶解して溶鋼 M を製造するに際して、溶鋼中炭素濃度が低濃度領域(C 0.80mass%)では、サブマージドアーク加熱を行ってスラグ S を生成して溶鋼 M を覆うことで、溶鋼 M の窒素吸収を防止することができる。
【 0 0 7 3 】

なお、今回開示された実施形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。
特に、今回開示された実施形態において、明示されていない事項、例えば、運転条件や操業条件、各種パラメータ、構成物の寸法、重量、体積などは、当業者が通常実施する範囲を逸脱するものではなく、通常の当業者であれば、容易に想定することが可能な値を採用している。

【符号の説明】
【 0 0 7 4 】

- 1 電気炉（電炉）
- 2 本体
- 3 蓋体
- 4 排滓口
- 5 出鋼口
- 6 電極
- 7 酸素ランス
- M 溶鋼（溶湯、溶鉄）
- S スラグ
- R 還元鉄

10

20

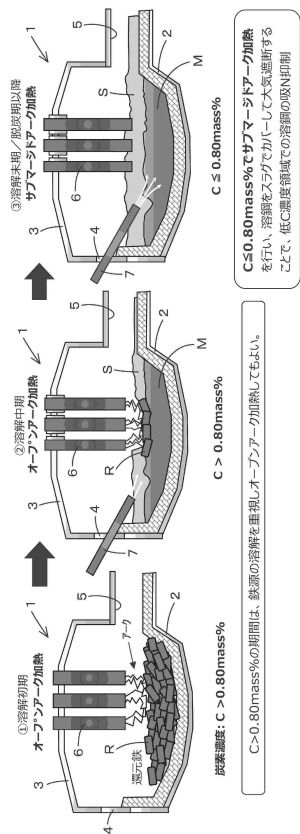
30

40

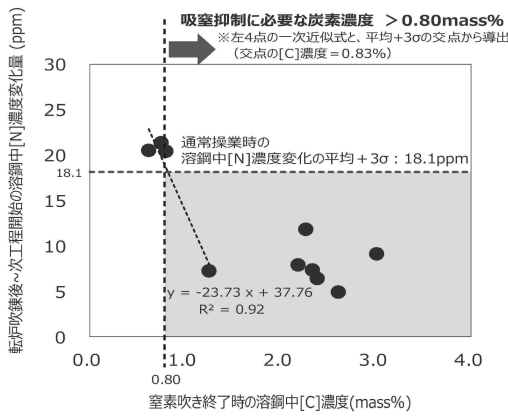
50

【 図 面 】

【 図 1 】



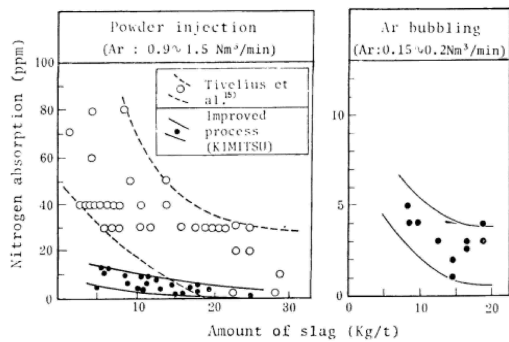
【 図 2 】



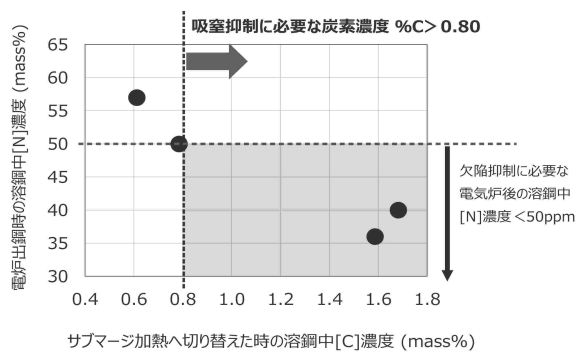
10

20

【 図 3 】



【 図 4 】



30

40

50

フロントページの続き

審査官 隅川 佳星

- (56)参考文献 特開昭 5 0 - 0 3 9 2 0 9 (J P , A)
特開昭 5 3 - 1 0 6 6 1 9 (J P , A)
特開平 1 0 - 0 4 6 2 2 6 (J P , A)
特開平 1 0 - 1 2 1 1 2 3 (J P , A)
特開平 1 0 - 2 2 6 8 1 2 (J P , A)
特開 2 0 0 2 - 0 1 2 9 1 2 (J P , A)
特開 2 0 1 6 - 1 0 8 5 7 5 (J P , A)
米国特許出願公開第 2 0 1 8 / 0 3 6 3 0 7 7 (U S , A 1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., D B 名)
C 2 1 B 3 / 0 0 - 1 5 / 0 4
C 2 1 C 1 / 0 0 - 9 / 1 6
F 2 7 B 1 / 0 0 - 3 / 2 8