

(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2026-42377
(P2026-42377A)

(43)公開日
令和8年3月11日(2026. 3. 11)

(51)Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
C 2 1 C 7/068 (2006. 01)	C 2 1 C 7/068	4 K 0 1 3
C 2 1 C 7/10 (2006. 01)	C 2 1 C 7/10 J	
C 2 1 C 7/00 (2006. 01)	C 2 1 C 7/00 B	
	C 2 1 C 7/00 R	

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 13 頁)

(21)出願番号	特願2024-145550(P2024-145550)	(71)出願人	000006655
(22)出願日	令和6年8月27日(2024. 8. 27)		日本製鉄株式会社
			東京都千代田区丸の内二丁目6番1号
		(74)代理人	100149548
			弁理士 松沼 泰史
		(74)代理人	100140774
			弁理士 大浪 一徳
		(74)代理人	100134359
			弁理士 勝俣 智夫
		(74)代理人	100188592
			弁理士 山口 洋
		(74)代理人	100217249
			弁理士 堀田 耕一郎
		(74)代理人	100221279
			弁理士 山口 健吾
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】含C r 溶鋼の脱炭精錬方法

(57)【要約】

【課題】還元材の使用量を削減し、精錬時間の短縮化を図る含C r 溶鋼の脱炭精錬方法を提供する。

【解決手段】1 0 . 5 質量%以上のC r を含有する含C r 溶鋼を脱炭する際に、スラグ中に含まれるC a O とA l ₂ O ₃ の比を1 5 以下とし、スラグの組成とスラグ中のC r ₂ O ₃ の活量a_{C r 2 O 3}との関係を教師データとする機械学習モデルにより、スラグの組成からC r ₂ O ₃ の活量a_{C r 2 O 3}を推測する学習済モデルを求めておき、スラグの組成の測定値または予測値を、含C r 溶鋼の温度Tに対応する学習済モデルに導入してC r ₂ O ₃ の活量a_{C r 2 O 3}を逐次推測するとともに、含C r 溶鋼の炭素濃度[C] (質量%) に基づき含C r 溶鋼中の炭素の活量a_Cを求め、下記(1) 式によりΔ G を求め、このΔ G が0 以上にならないように、C O 分圧P_{C O}を逐次制御する。

$$\Delta G = \Delta G^0 + R T \ln \left(\left(a^2_{Cr} \cdot P^3_{CO} \right) / \left(a_{Cr2O3} / a^3_C \right) \right) \quad \dots$$

(1)

【選択図】なし

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

10 . 5 質量 % 以上の Cr を含有する含 Cr 溶鋼と、 Cr_2O_3 を少なくとも含むスラグとが製錬容器に収容された状態で、酸素ガス及び不活性ガスを含む混合ガス、酸素ガス、または不活性ガスのいずれかを前記含 Cr 溶鋼に吹き込みつつ、前記精錬容器内を減圧雰囲気にするることによって脱炭する際に、

前記スラグ中に含まれる CaO と Al_2O_3 の比 ($\text{CaO} / \text{Al}_2\text{O}_3$ 比) を 1.5 以下とし、

前記スラグの組成と前記スラグに含まれる前記 Cr_2O_3 の活量 $a_{\text{Cr}_2\text{O}_3}$ との関係を教師データとする機械学習モデルにより、前記スラグの組成から前記 Cr_2O_3 の活量 $a_{\text{Cr}_2\text{O}_3}$ を推測する学習済モデルを、前記含 Cr 溶鋼の温度 T 毎に予め求めておき、

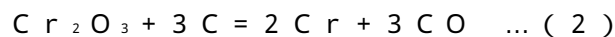
前記スラグの組成、前記含 Cr 溶鋼の炭素濃度 [C] (質量 %)、前記含 Cr 溶鋼の温度、および前記製錬容器内における CO ガスの分圧 P_{CO} を逐次測定または逐次予測し、

前記スラグの組成の測定値または予測値を、前記含 Cr 溶鋼の温度 T に対応する前記学習済モデルに導入して前記 Cr_2O_3 の活量 $a_{\text{Cr}_2\text{O}_3}$ を逐次推測するとともに、前記含 Cr 溶鋼の炭素濃度 [C] (質量 %) に基づき前記含 Cr 溶鋼中の炭素の活量 a_{C} を求め、

前記 Cr_2O_3 の活量 $a_{\text{Cr}_2\text{O}_3}$ の推測値と、前記炭素の活量 a_{C} と、前記 CO ガスの分圧 P_{CO} とを、下記 (1) 式に入力して ΔG を求め、この ΔG が 0 以上にならないように、前記含 Cr 溶鋼中の CO 分圧 P_{CO} を逐次制御する、含 Cr 溶鋼の脱炭精錬方法。

$$\Delta G = \Delta G^0 + RT \ln \left((a_{\text{Cr}}^2 \cdot P_{\text{CO}}^3) / (a_{\text{Cr}_2\text{O}_3} / a_{\text{C}}^3) \right) \quad \dots$$

(1)



ただし、式 (1) における ΔG は、式 (2) に示す脱炭反応の自由エネルギー変化であり、 ΔG^0 は、上記式 (2) に示される脱炭反応の 1 気圧、25 °C における標準自由エネルギー変化であり、T は前記含 Cr 溶鋼の温度であり、R は気体定数 ($R = 8.314 \times 10^{-3} \text{ kJ mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$) であり、 a_{Cr} は前記含 Cr 溶鋼中の Cr の活量であり、 P_{CO} は前記精錬容器内における CO の分圧であり、 $a_{\text{Cr}_2\text{O}_3}$ は Cr_2O_3 の活量であり、 a_{C} は炭素の活量である。

【請求項 2】

前記スラグの組成が、FeO、 SiO_2 、MnO、 Cr_2O_3 、CaO、 Al_2O_3 および MgO の合計を 100 質量 % にした場合の、前記スラグに含まれる FeO、 SiO_2 、MnO、 Cr_2O_3 、CaO、 Al_2O_3 および MgO のそれぞれの含有量 (質量 %) である、請求項 1 に記載の含 Cr 溶鋼の脱炭精錬方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、含 Cr 溶鋼の脱炭精錬方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、含クロム鋼、特にステンレス鋼のように 10 . 5 % 以上のクロムを含む含クロム溶鋼を精錬する際には、精錬容器内に収容した溶鋼中に酸素ガス又は酸素ガスと不活性ガスの混合ガスを吹き込む AOD 法によって脱炭精錬を行う方法が広く用いられている。また、AOD 法の改良方法として、例えば溶鋼中の [C] 量が 0 . 10 質量 % までは通常の AOD 法による脱炭を行い、その後は不活性ガスのみで溶鋼を攪拌しつつ減圧雰囲気にして脱炭を行う AOD - VCR 法も知られている。

【0003】

また、10 . 5 % 以上のクロムを含む含クロム溶鋼を精錬する方法として、減圧下で溶鋼に酸素を吹き込んで脱炭する VOD 法も知られている。更に、AOD 法により粗脱炭を行ったのちに、スラグとともに出鋼し、VOD 法においてスラグ中の酸化物を酸素源にし

て真空脱炭を行うAOD - VOD法も知られている。

【0004】

ところで、Crを含む溶鋼に酸素を吹き込むと、 O_2 と溶鋼中のCとが反応し、COまたは CO_2 が生成して直接的に脱炭が進むとともに、酸素によってCrが酸化されて Cr_2O_3 が生成し、生成した Cr_2O_3 が溶鋼中のCと反応することで間接的に脱炭が進む。更に、減圧雰囲気下で溶鋼を攪拌すると、雰囲気中のCOガスの分圧が低下し、 $3C + Cr_2O_3 = 2Cr + CO$ の化学式で示される平衡反応が右辺側に進んで脱炭反応が促進される。

【0005】

上記の化学式で示した平衡反応においては、真空度を高くしてCOの分圧を低下させるほど、脱炭が進むようにもみえるが、実際は、真空度を低くするために吹き込みガスを少なくする必要がある、そうすると、溶鋼中の[C]量为目标値まで低下させるために長時間を要することになる。また、Crは溶鋼中に豊富に存在するため、酸素の吹き込みによって Cr_2O_3 が大量に生成する。そのため、脱炭工程の終了後に、余剰の Cr_2O_3 をAlやSiの還元材によって還元してCrに戻す必要があるが、このCrの還元工程がコスト増になる場合がある。

【0006】

特許文献1には、精錬容器内で含クロム溶鋼中に酸素ガスを含むガスを吹き込んで精錬を行う精錬方法において、容器内を400 Torr ~ 大気圧範囲の圧力として酸素ガスを含むガスを吹き込む第1ステップと、容器内を250 ~ 400 Torr に減圧して酸素ガスを含むガスを溶鋼トン当たり $0.4 \text{ Nm}^3 / \text{min}$ 以上のガス吹き込み速度で吹き込む第2ステップと、容器内を250 Torr 以下に減圧してガスを吹き込む第3ステップとを有し、溶鋼中の[C]濃度が0.2 ~ 0.1質量%で第2ステップから第3ステップに切り替える含クロム溶鋼の精錬方法が記載されている。

【0007】

特許文献1に記載の精錬方法は、不活性ガスや酸素ガス使用量を低減し、精錬時間の短縮を図るものであるが、還元材の使用量の削減や、精錬時間の短縮化について更なる改善の余地がある。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】特許第4895446号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

本発明は上記事情に鑑みてなされたものであって、還元材の使用量を削減するとともに、精錬時間の短縮化を図ることが可能な、含Cr溶鋼の脱炭精錬方法を提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0010】

上記課題を解決するため、本発明は以下の構成を採用する。

[1] 10.5質量%以上のCrを含有する含Cr溶鋼と、 Cr_2O_3 を少なくとも含むスラグとが製錬容器に収容された状態で、酸素ガス及び不活性ガスを含む混合ガス、酸素ガス、または不活性ガスのいずれかを前記含Cr溶鋼に吹き込みつつ、前記精錬容器内を減圧雰囲気にするることによって脱炭する際に、

前記スラグ中に含まれるCaOと Al_2O_3 の比(CaO / Al_2O_3 比)を1.5以下とし、

前記スラグの組成と前記スラグに含まれる前記 Cr_2O_3 の活量 $a_{Cr_2O_3}$ との関係を教師データとする機械学習モデルにより、前記スラグの組成から前記 Cr_2O_3 の活量 $a_{Cr_2O_3}$ を推測する学習済モデルを、前記含Cr溶鋼の温度T毎に予め求めておき、

10

20

30

40

50

前記スラグの組成、前記含Ｃｒ溶鋼の炭素濃度〔Ｃ〕（質量％）、前記含Ｃｒ溶鋼の温度、および前記製錬容器内におけるＣＯガスの分圧 P_{CO} を逐次測定または逐次予測し、

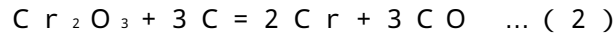
前記スラグの組成の測定値または予測値を、前記含Ｃｒ溶鋼の温度 T に対応する前記学習済モデルに導入して前記 Cr_2O_3 の活量 $a_{Cr_2O_3}$ を逐次推測するとともに、前記含Ｃｒ溶鋼の炭素濃度〔Ｃ〕（質量％）に基づき前記含Ｃｒ溶鋼中の炭素の活量 a_C を求め、

前記 Cr_2O_3 の活量 $a_{Cr_2O_3}$ の推測値と、前記炭素の活量 a_C と、前記ＣＯガスの分圧 P_{CO} とを、下記（１）式に入力して ΔG を求め、この ΔG が０以上にならないように、前記含Ｃｒ溶鋼中のＣＯ分圧 P_{CO} を逐次制御する、含Ｃｒ溶鋼の脱炭精錬方法。

$$\Delta G = \Delta G^0 + RT \ln \left((a_{Cr}^2 \cdot P_{CO}^3) / (a_{Cr_2O_3} / a_C^3) \right) \quad \dots$$

10

（１）



ただし、式（１）における ΔG は、式（２）に示す脱炭反応の自由エネルギー変化であり、 ΔG^0 は、上記式（２）に示される脱炭反応の１気圧、２５℃における標準自由エネルギー変化であり、 T は前記含Ｃｒ溶鋼の温度であり、 R は気体定数（ $R = 8.314 \times 10^{-3} \text{ kJ mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ）であり、 a_{Cr} は前記含Ｃｒ溶鋼中のＣｒの活量であり、 P_{CO} は前記精錬容器内におけるＣＯの分圧であり、 $a_{Cr_2O_3}$ は Cr_2O_3 の活量であり、 a_C は炭素の活量である。

〔２〕 前記スラグの組成が、 FeO 、 SiO_2 、 MnO 、 Cr_2O_3 、 CaO 、 Al_2O_3 および MgO の合計を１００質量％にした場合の、前記スラグに含まれる FeO 、 SiO_2 、 MnO 、 Cr_2O_3 、 CaO 、 Al_2O_3 および MgO のそれぞれの含有量（質量％）である、〔１〕に記載の含Ｃｒ溶鋼の脱炭精錬方法。

20

【発明の効果】

【００１１】

本発明によれば、還元材の使用量を削減するとともに、精錬時間の短縮化を図ることが可能な、含Ｃｒ溶鋼の脱炭精錬方法を提供できる。

【図面の簡単な説明】

【００１２】

【図１】本発明の実施形態である含Ｃｒ溶鋼の脱炭精錬方法を実施するための精錬設備を示す図である。

30

【発明を実施するための形態】

【００１３】

含Ｃｒ溶鋼の脱炭精錬において、還元材の使用量を削減するとともに、精錬時間の短縮化を図るために本発明者らが鋭意検討した。

【００１４】

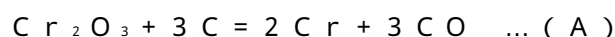
１０．５質量％以上のＣｒを含有する含クロム溶鋼は、 $AO D$ 、 $VO D$ といった装置で脱炭を行う。脱炭とは、一般に、溶鋼に酸素含有ガスを吹き付けることで溶鋼中に含まれる炭素（Ｃ）をＣＯまたは CO_2 に変化させて溶鋼から取り除くことをいう。なお、含クロム溶鋼の場合は、吹き付けられた酸素の大部分は、溶鋼中に多量に存在するクロム（Ｃｒ）と反応して Cr_2O_3 を生成し、生成した Cr_2O_3 と溶鋼中のＣが反応することで間接的に脱炭が進むと考えられている。

40

【００１５】

Cr_2O_3 と、溶鋼中の炭素（Ｃ）とが反応してＣＯが生成するときの反応式は、式（Ａ）のように表される。また、式（Ａ）の反応の自由エネルギー変化 ΔG は式（１）のように表される。

【００１６】



【００１７】

$$\Delta G = \Delta G^0 + RT \ln \left((a_{Cr}^2 \cdot P_{CO}^3) / (a_{Cr_2O_3} / a_C^3) \right) \quad \dots$$

（１）

50

【0018】

ただし、式(1)における ΔG は、式(A)に示す脱炭反応(左辺から右辺に向かう反応)の自由エネルギー変化であり、 ΔG^0 は、上記式(A)に示される脱炭反応の1気圧、25における標準自由エネルギー変化であり、 T は含Cr溶鋼の温度であり、 R は気体定数($R = 8.314 \times 10^{-3} \text{ kJ mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$)であり、 a_{Cr} はCrの活量であり、 P_{CO} はCOの分圧であり、 $a_{Cr_2O_3}$ は Cr_2O_3 の活量であり、 a_C は炭素の活量である。

【0019】

脱炭が進む、すなわち式(A)の反応が左辺から右辺に進むための条件は、 $\Delta G < 0$ である。したがって、Cr活量 a_{Cr} およびCO分圧 P_{CO} が低く、 Cr_2O_3 活量 $a_{Cr_2O_3}$ 、C活量 a_C が高いほど好ましいことになる。一方、脱炭が進むと、すなわち、溶鋼中からCが減ると、C活量 a_C は小さくなっていくので、徐々に脱炭は進みにくくなる。そこで、AODやVODでは、脱炭の進行に伴うC活量 a_C の低下に合わせて、製錬容器内のCO分圧 P_{CO} を下げることで、具体的には真空度を高めることで、 $\Delta G < 0$ を保つような操業を行っている。

【0020】

ところで、 Cr_2O_3 は、含Cr溶鋼中に純物質として存在しているわけではなく、その大部分は、スラグ中に含まれている。含クロム溶鋼のスラグには、 CaO 、 Al_2O_3 、 SiO_2 、 MgO 、 Cr_2O_3 等が含まれるが、このスラグ中に含まれる Cr_2O_3 の活量は、スラグの組成や温度によって変化することが知られている。スラグ中の Cr_2O_3 の濃度が高いほど活量も高くなる傾向があり、脱炭の進みやすさとしては Cr_2O_3 の濃度が高いほうが脱炭反応に有利になる。

【0021】

本発明者らは、更に検討を進め、 Cr_2O_3 を含むスラグの組成と、 Cr_2O_3 の活量との関係を鋭意検討した。上述のように、含クロム溶鋼のスラグには、 CaO 、 Al_2O_3 、 SiO_2 、 MgO 、 Cr_2O_3 等が含まれるところ、 Cr_2O_3 の活量は、単に、スラグ中の Cr_2O_3 等の濃度で決まるものではなく、 Cr_2O_3 以外の他の成分の濃度の影響を受けることが知られている。そこで、スラグ中における各成分の組成と Cr_2O_3 活量との関係を教師データとして、機械学習を行い、ニューラルネットワーク回帰を実施したところ、含Cr溶鋼の温度ごとに、スラグの組成と Cr_2O_3 活量との間に一定の相関関係が成立することが判明した。これにより、含Cr溶鋼の温度を測定し、当該温度に対応する学習済モデルを呼び出し、その学習済モデルを用いることで、ある時点におけるスラグの組成から、その時点における Cr_2O_3 活量を求めることに成功した。なお、スラグ温度は含Cr溶鋼の温度とほぼ同じなので、本実施形態では含Cr溶鋼の温度を用いる。

【0022】

ところで、従来、スラグに含まれる各成分の活量の推定は、次の二通りの方法が知られていた。その一つは、既存のデータを参照して推定する方法であるが、複雑な成分系(含まれる成分数が多い系)には対応できないため、実操業には適用できない。もう一つは、汎用の熱力学平衡計算ソフトを用いて活量を推測する方法がある。しかし、この方法は収束計算で行うため、計算に時間が掛かる場合があり、また、必ずしも結果が収束するわけではなく、値を返さない場合があるため、実操業における逐次計算には適していないという欠点がある。

【0023】

また、 Cr_2O_3 濃度が高いまま脱炭が終了すると、 Cr_2O_3 をCrに還元するための還元材が多量に必要になり、コスト的に不利になる。また、Crを還元するための工程も時間を要することになる。

【0024】

従って、スラグ中の Cr_2O_3 濃度が低くても Cr_2O_3 活量が高くなるようなスラグ組成にすることが重要になる。本発明者らは、 Cr_2O_3 活量が、 CaO と Al_2O_3 の

10

20

30

40

50

濃度比 ($\text{CaO} / \text{Al}_2\text{O}_3$ (以下 C / A)) の影響を受け、 C / A が低いほど Cr_2O_3 活量が高くなる傾向になることを見出した。すなわち、 Cr_2O_3 活量を高くするためには、 C / A 比を低くすることが好ましい。

【0025】

すなわち、 C / A が 1.5 より高い範囲では、 C / A や Cr_2O_3 濃度が変化しても、 Cr_2O_3 活量は低いままほとんど変化せず、一方、 C / A が 1.5 より低い範囲では、 C / A が同じ場合、 Cr_2O_3 濃度の変化による Cr_2O_3 活量の変化が大きくなることを見出した。よって、 Cr_2O_3 濃度が小さいまま、 Cr_2O_3 活量を大きくするには、 C / A 比が小さいほうが有利になる。

【0026】

また、上記式 (A) 及び式 (1) において、 $\Delta G < 0$ を保つように真空度を上げるほど、式 (1) の ΔG は小さく (マイナスに大きく) なるので、脱炭が進みやすくなるはずだが、実際は、真空度を上げるほど吹き込めるガスの量が減少して、含 Cr 溶鋼中の C 濃度を所定の濃度に下げるまでに必要な時間が長くなり、操業の効率が悪化する。結局のところ、 ΔG が 0 より下の若干低い値を保つことが好ましく、そのためには C 濃度 (C 活量) の減少に合わせて段階的に真空度を上げていく必要があることを見出した。

【0027】

本発明は以上の上知見に鑑みてなされたものである。以下、本発明の実施形態について説明する。

【0028】

本実施形態の含 Cr 溶鋼の脱炭精錬方法は、10.5 質量% 以上の Cr を含有する含 Cr 溶鋼と、 Cr_2O_3 を少なくとも含むスラグとが製錬容器に収容された状態で、酸素ガス及び不活性ガスを含む混合ガス、酸素ガス、または不活性ガスのいずれかを前記含 Cr 溶鋼に吹き込みつつ、前記精錬容器内を減圧雰囲気にすることによって脱炭する際に、前記スラグ中に含まれる CaO と Al_2O_3 の比 ($\text{CaO} / \text{Al}_2\text{O}_3$ 比) を 1.5 以下とし、前記スラグの組成と前記スラグに含まれる前記 Cr_2O_3 の活量 $a_{\text{Cr}_2\text{O}_3}$ との関係

を教師データとする機械学習モデルにより、前記スラグの組成から前記 Cr_2O_3 の活量 $a_{\text{Cr}_2\text{O}_3}$ を推測する学習済モデルを、前記含 Cr 溶鋼の温度 T 毎に予め求めておき、前記スラグの組成、前記含 Cr 溶鋼の炭素濃度 $[C]$ (質量%)、前記含 Cr 溶鋼の温度、および前記製錬容器内における CO ガスの分圧 P_{CO} を逐次測定または逐次予測し、前記スラグの組成の測定値または予測値を、前記含 Cr 溶鋼の温度 T に対応する前記学習済モデルに導入して前記 Cr_2O_3 の活量 $a_{\text{Cr}_2\text{O}_3}$ を逐次推測するとともに、前記含 Cr 溶鋼の炭素濃度 $[C]$ (質量%) に基づき前記含 Cr 溶鋼中の炭素の活量 a_c を求め、前記 Cr_2O_3 の活量 $a_{\text{Cr}_2\text{O}_3}$ の推測値と、前記炭素の活量 a_c と、前記 CO ガスの分圧 P_{CO} とを、下記 (1) 式に入力して ΔG を求め、この ΔG が 0 以上にならないように、前記含 Cr 溶鋼中の CO 分圧 P_{CO} を逐次制御する。

【0029】

$$\Delta G = \Delta G^0 + RT \ln \left((a_{\text{Cr}}^2 \cdot P_{\text{CO}}^3) / (a_{\text{Cr}_2\text{O}_3} / a_{\text{C}}^3) \right) \quad \dots$$

(1)

$$\text{Cr}_2\text{O}_3 + 3\text{C} = 2\text{Cr} + 3\text{CO} \quad \dots (2)$$

【0030】

ただし、式 (1) における ΔG は、式 (2) に示す脱炭反応の自由エネルギー変化であり、 ΔG^0 は、上記式 (2) に示される脱炭反応の 1 気圧、25 °C における標準自由エネルギー変化であり、 T は前記含 Cr 溶鋼の温度であり、 R は気体定数 ($R = 8.314 \times 10^{-3} \text{ kJ mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$) であり、 a_{Cr} は前記含 Cr 溶鋼中の Cr の活量であり、 P_{CO} は前記精錬容器内における CO の分圧であり、 $a_{\text{Cr}_2\text{O}_3}$ は Cr_2O_3 の活量であり、 a_c は炭素の活量である。

【0031】

本実施形態では、AOD または VOD によって脱炭精錬を行う。例えば、本実施形態において、減圧精錬を行うに際しては、例えば図 1 (a) に示す精錬容器 1 が用いられる。

また、減圧精錬の前に、予備脱炭として大気圧精錬を行うに際しては、例えば図 1 (b) に示す精錬容器 1 が用いられる。精錬容器内で含クロム溶鋼中に底吹き羽口 2 を通して精錬ガスを吹き込む。また、精錬容器 1 は着脱可能な排気フード 3 を有しており、減圧精錬時には図 1 (a) に示すように精錬容器 1 に排気フード 3 を装着し、ガス吸引を行うことにより精錬容器内を減圧する。大気圧精錬時には、図 1 (b) に示すように排気フード 3 を装着しないので、吹き込みガスとしては、底吹き羽口 2 のみならず上吹きランス 1 2 を併用してガスを吹き込むことも可能である。

【 0 0 3 2 】

なお、図 1 (a) および図 1 (b) において、符号 4 は溶鋼であり、符号 5 は底吹きガスであり、符号 6 はスラグであり、符号 7 は排気管であり、符号 8 はガスクーラーであり、符号 9 はバグフィルターであり、符号 1 0 は蒸気エジェクターであり、符号 1 1 はウォーターポンプである。

【 0 0 3 3 】

本実施形態の脱炭精錬方法では、1 0 . 5 質量 % 以上の C r を含有する含 C r 溶鋼と、 $C r_2 O_3$ を少なくとも含むスラグとが製錬容器に収容された状態で、酸素ガス及び不活性ガスを含む混合ガス、酸素ガスまたは不活性ガスのいずれかを含 C r 溶鋼に吹き込みつつ、精錬容器内を減圧雰囲気にするることによって脱炭を行う。

【 0 0 3 4 】

含 C r 溶鋼には、C r 以外の他の合金元素が含まれていてもよい。

【 0 0 3 5 】

本実施形態の脱炭精錬法に用いるスラグは、スラグ中に含まれる CaO と $Al_2 O_3$ の質量比 ($CaO / Al_2 O_3$ 比、以下、 C / A と記載する場合がある) が 1 5 以下のものを用いる。先に述べたように、 C / A が 1 5 より高い範囲では、 C / A や $C r_2 O_3$ 濃度が変化しても、 $C r_2 O_3$ 活量は低いままほとんど変化しないが、 C / A が 1 5 より低い範囲では、 $C r_2 O_3$ 濃度の変化による $C r_2 O_3$ 活量の変化が大きくなる。このため、 $C r_2 O_3$ 濃度が小さいまま、 $C r_2 O_3$ 活量を大きくするためには、 C / A 比が小さいほうが有利になる。よって、スラグの C / A は 1 5 以下にする必要がある。

【 0 0 3 6 】

次に、本実施形態では、あらかじめ、スラグの組成と、スラグに含まれる $C r_2 O_3$ の活量 $a_{C r_2 O_3}$ と、の関係を教師データとする機械学習モデルにより、スラグの組成から $C r_2 O_3$ の活量 $a_{C r_2 O_3}$ を推測する学習済モデルを、含 C r 溶鋼の温度 T 毎に予め取得しておく。

【 0 0 3 7 】

教師データは、スラグの組成と、スラグに含まれる $C r_2 O_3$ の活量 $a_{C r_2 O_3}$ との組み合わせが用いられる。具体的には、教師データとして利用する複数種類のスラグを用意する。各スラグの組成は、 FeO 、 SiO_2 、 MnO 、 $C r_2 O_3$ 、 CaO 、 $Al_2 O_3$ および MgO の合計を 1 0 0 質量 % にした場合の、スラグに含まれる FeO 、 SiO_2 、 MnO 、 $C r_2 O_3$ 、 CaO 、 $Al_2 O_3$ および MgO のそれぞれの含有量 (質量 %) とする。教師データとしてスラグ組成を入力する場合、規格化のために、それぞれの成分の含有量を 1 0 0 で除した値とする。

【 0 0 3 8 】

また、スラグに含まれる $C r_2 O_3$ の活量 $a_{C r_2 O_3}$ は、スラグごとに、起電力測定法により測定する。例えば、金属 C r 坩堝内において対象のスラグを溶融させ、酸素プローブによって測定して得られる起電力からスラグ中の酸素ポテンシャルを算出し、下記式から $C r O_{1.5}$ の活量 ($a_{C r O_{1.5}}$) を求め、これを二乗することで、 $C r_2 O_3$ の活量 ($a_{C r_2 O_3}$) を求めることができる (参考 : “ Oxidation state and activities of chromium oxides in $CaO-SiO_2-CrO_x$ slag system ” , Metallurgical and Materials Transactions B Process metallurgy and materials processing science , Volume33 , pages 595-603 , 2002) 。

【 0 0 3 9 】

10

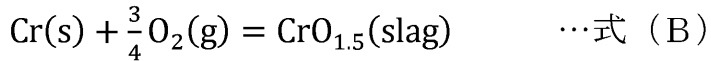
20

30

40

50

【数 1】



【0040】

【数 2】

$$\Delta G^0 = -RT \ln \frac{a_{\text{CrO}_{1.5}}}{a_{\text{Cr(s)}} \cdot P_{\text{O}_2}^{\frac{3}{4}}} \quad \cdots \text{式 (C)}$$

【0041】

式 (C) における ΔG^0 は上記式 (B) に示される反応の 1 気圧、25 における標準自由エネルギー変化であり、 $a_{\text{CrO}_{1.5}}$ は $\text{CrO}_{1.5}$ の活量であり、 $a_{\text{Cr(s)}}$ は Cr(s) の活量であり、 P_{O_2} は酸素ポテンシャルである。

【0042】

学習済モデルは、例えば学習装置等の情報処理装置を用いて生成されてもよい。学習装置は、自装置の記憶装置に記憶されている教師データを用いて学習処理を実行する。例えば、教師データは温度毎に生成される。この場合、学習装置は温度毎に教師データを用いて学習処理を実行し、温度毎に学習済モデルを生成する。このような学習処理の具体例として、例えば、ニューラルネットワーク回帰 (NNR) やサポートベクター回帰等の回帰のための教師あり学習が用いられてもよい。学習装置は、例えば教師あり学習を行うことによって、入力されるスラグの組成を示す情報に基づいて、 Cr_2O_3 の活量 $a_{\text{Cr}_2\text{O}_3}$ を出力するための学習済モデルを生成する。学習装置は、生成された学習済モデルを記憶装置に記録する。学習装置によって得られた学習済モデルは、他の装置 (例えば推定装置) に送信されて使用されてもよい。

20

【0043】

推定装置は、上述した学習済モデルを用いて Cr_2O_3 の活量 $a_{\text{Cr}_2\text{O}_3}$ を推定する。推定装置は情報処理装置を用いて構成される。推定装置は、自装置の記憶装置に記憶されている学習済モデルを用いて処理を行う。この学習済モデルは、自装置によって生成されてもよいし、他の装置 (例えば上述した学習装置) によって生成されてもよい。なお、自装置によって学習済モデルが生成される場合には、推定装置は上述した学習装置と同等の処理を実行して学習済モデルを生成する。推定装置の記憶装置は、温度毎に学習済モデルを対応付けて記憶する。推定装置は、推定対象となるスラグの温度を例えば入力装置から取得すると、温度に対応付けて記憶されている学習済モデルを記憶装置から読み出す。推定装置は、学習済モデルと、例えば入力装置から入力されたスラグの組成を示す情報と、を用いて推定処理を行う。推定処理によって、推定対象のスラグにおける Cr_2O_3 の活量 $a_{\text{Cr}_2\text{O}_3}$ が推定される。

30

【0044】

上述した学習装置及び推定装置の処理は、例えば CPU 等のプロセッサとメモリーとを用いて構成された制御部によって実行される。制御部は、プロセッサがプログラムを実行することによって機能する。なお、制御部の各機能の全て又は一部は、ASIC や PLD や FPGA 等のハードウェアを用いて実現されても良い。上記のプログラムは、コンピュータ読み取り可能な記録媒体に記録されても良い。コンピュータ読み取り可能な記録媒体とは、例えばフレキシブルディスク、光磁気ディスク、ROM、CD-ROM、半導体記憶装置 (例えば SSD) 等の可搬媒体、コンピュータシステムに内蔵されるハードディスクや半導体記憶装置等の記憶装置である。上記のプログラムは、電気通信回線を介して送信されてもよい。

40

【0045】

学習済モデルは、含 Cr 溶鋼の温度 T 毎に予め求めておくことが好ましい。これは、含 Cr 溶鋼の温度 T を入力データに追加して機械学習を行った場合、学習済モデルの精度が

50

低下する傾向にあるためである。

【 0 0 4 6 】

実際の操業では、脱炭精錬の進行中に、逐次、スラグの組成の測定と、含C r 溶鋼の炭素濃度[C] (質量%) の測定と、含C r 溶鋼の温度の測定とを行う。また、精錬容器内におけるC O の分圧 P_{CO} も測定する。これらの測定の頻度は、例えば、1 ~ 6 0 秒毎でもよい。また、1 回の脱炭精錬工程あたり、これらの測定頻度及び真空度の調整の頻度を2 0 ~ 7 2 0 0 回の範囲で行うように、これらの測定間隔を調整してもよい。

【 0 0 4 7 】

また、スラグの組成は、逐次測定する以外に、逐次予測してもよい。

【 0 0 4 8 】

更に、含C r 溶鋼の炭素濃度[C] (質量%) は、逐次測定する以外に逐次予測してもよい。例えば、特許3 7 2 5 3 1 2 号公報の[0 0 2 9] に記載されているように、脱炭精錬において排出される排ガスの流量および組成から、物質収支計算により含C r 溶鋼の炭素濃度[C] (質量%) を予測してもよい。

【 0 0 4 9 】

さらに、装入した含C r 溶鋼の量、C r 濃度、添加合金の量およびC r の品位に基づき、物質収支計算により含C r 溶鋼中のC r 濃度を推測し、含C r 溶鋼中のC r 濃度から、物質収支計算より、スラグ中の Cr_2O_3 量を予測できる。なお、スラグ中の他の成分の量はほとんど変化しないので、物質収支計算からその他成分の濃度も自ずと予測できる。

【 0 0 5 0 】

更にまた、精錬容器内におけるC O の分圧 P_{CO} は、精錬容器内における真空度で代替することができる。

【 0 0 5 1 】

また、含C r 溶鋼の温度は、直接的な連続、または、半連続の測温で知る方法、装入時の含C r 溶鋼の温度を基準に、経験的に知られる昇熱効率から計算する方法のいずれか、又は、それらの組み合わせで推定できる。

【 0 0 5 2 】

測定または推測した含C r 溶鋼の温度に基づき、 Cr_2O_3 の活量 $a_{Cr_2O_3}$ を求めるための学習済モデルを呼び出す。学習済モデルは、上述のように、含C r 溶鋼の温度 T 毎に予め求めてあるので、含C r 溶鋼の温度 T に適した学習済モデルを利用するとよい。

【 0 0 5 3 】

そして、スラグの組成の測定値または推測値を、学習済モデルに導入することによって、 Cr_2O_3 の活量 $a_{Cr_2O_3}$ を求める。

【 0 0 5 4 】

また、測定または推測した含C r 溶鋼の炭素濃度[C] (質量%) に基づき、炭素の活量 a_c を求める。炭素の活量 a_c は、一般的な方法として、含C r 溶鋼の組成から求めることができる。一般に公開されている熱力学データである相互作用助係数から炭素の活量係数を求め、炭素の活量係数と含C r 溶鋼の炭素濃度の積から炭素の活量 a_c を求めることができる。

【 0 0 5 5 】

更に、C r の活量 a_{Cr} を求める。C r の活量 a_{Cr} は、炭素の活量 a_c の場合と同様に、一般的な方法として、含C r 溶鋼の組成から求めることができる。一般に公開されている熱力学データである相互作用助係数からC r の活量係数を求め、C r の活量係数と含C r 溶鋼のC r 濃度の積から炭素の活量 a_c を求めることができる。

【 0 0 5 6 】

そして、得られた各物質の活量 (a_{Cr} 、 $a_{Cr_2O_3}$ 、 a_c) と、C O の分圧 P_{CO} とを、上記式 (1) に導入して、 ΔG (自由エネルギー変化) を求める。なお、 ΔG^0 は、上記式 (A) に示される脱炭反応の1 気圧、2 5 °C における標準自由エネルギー変化であり、 T は含C r 溶鋼の温度であり、 R は気体定数 ($R = 8 . 3 1 4 \times 1 0^{-3} \text{ k J m o l}^{-1} \text{ K}^{-1}$) である。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 7 】

ΔG が、0 未満の範囲にある場合は、脱炭反応の反応速度が適切であると判断し、そのままの状態を操作を継続する。

【 0 0 5 8 】

しかし、脱炭反応がある程度進行して含 Cr 溶鋼中の炭素濃度が低下してくると、 ΔG が 0 以上になり、脱炭反応の反応速度が小さくなる。この場合は、製錬容器内の真空度を高めて、CO の分圧 P_{CO} を低下させる。これにより、 ΔG が小さくなって 0 未満になり、脱炭反応の反応速度が大きくなり、脱炭精錬の所要時間を短縮化できるようになる。

【 0 0 5 9 】

一方で、真空度が高くなると、CO の分圧 P_{CO} がより低くなり、ひいては ΔG がより小さくなり、脱炭反応の反応速度が高まるようにもみえる。しかし、真空度が過度に高くなると、真空度を維持するために含 Cr 溶鋼に吹き込む酸素含有ガス量を少なくせざるを得ないが、これにより、脱炭反応の反応速度が却って低下し、精錬時間が長くなる。そのため、 ΔG は -300 kJ/mol 以上になるように、真空度を調整することが好ましい。

10

【 0 0 6 0 】

このように、本実施形態の含 Cr 溶鋼の脱炭精錬方法によれば、スラグの組成から、 Cr_2O_3 の活量 $a_{\text{Cr}_2\text{O}_3}$ を逐次推測することによって、製錬容器内で進行する脱炭反応の自由エネルギー変化 ΔG を推測し、この推測された ΔG が、0 以上にならないように、好ましくは 0 未満の所望の範囲に入るように、製錬容器内の真空度を動的に制御する。これにより、脱炭反応の反応速度を適切に制御することが可能になり、精錬時間の短縮化を図ることができる。

20

また、スラグの CaO と Al_2O_3 の濃度比 ($\text{CaO} / \text{Al}_2\text{O}_3$) を 1.5 以下にすることによって、スラグ中の Cr_2O_3 濃度が低くても Cr_2O_3 活量が高くなるような条件で脱炭精錬を行うことができ、スラグ中の Cr_2O_3 濃度が低くすることができる。これにより、 Cr_2O_3 濃度が低い状態で脱炭を終了させることができ、 Cr_2O_3 を Cr に還元するための還元材の使用量を少なくすることができる。

【実施例】

【 0 0 6 1 】

図 1 (a)、図 1 (b) に示すような溶鋼量 60 トンの AOD 炉において、SUS304 ステンレス鋼 (8 % Ni - 1.8 質量 % Cr) を溶製するに際して本発明を適用した。大気圧精錬においては、図 1 (b) に示す状態にて行い、減圧精錬においては図 1 (a) に示す状態にて酸素含有ガスを吹き付けて行った。

30

【 0 0 6 2 】

溶製開始時の溶鋼中 [C] 濃度は約 1.7 % であり、約 0.01 % まで脱炭精錬を行った。脱炭精錬では、本発明の機械学習モデルを用いてスラグ中の Cr_2O_3 活量を逐次推測して脱炭反応の ΔG を計算し、 ΔG が 0 を超えないように真空度を制御した場合と、本発明の機械学習モデルを用いずにスラグ中 Cr_2O_3 活量を一定として脱炭反応の ΔG を計算し、 ΔG が 0 を超えないように真空度を制御した場合の二通りで行った。

40

【 0 0 6 3 】

その後、容器内の圧力を大気圧まで戻しながら、脱炭中に濃化したクロムを還元するための還元材として Al 合金を添加して、Ar ガスのみの吹き込みにより還元処理を行い、取鍋へ出鋼した。

【 0 0 6 4 】

表 1 に、本発明の機械学習モデルを用いてスラグ中 Cr_2O_3 活量を推測した場合 (発明例 1、2) と、用いなかった場合 (参考例 3、4) の、還元材の使用量と、溶鋼を AOD に装入してから出鋼するまでの時間を指数化したものを示す。

【 0 0 6 5 】

表 1 では参考例 No. 4 を基準として指数化した。また、還元材の使用量と溶鋼を A O

50

Dに装入してから出鋼するまでの時間の両方が参考例No. 4以上に優れていて経済的効果が高い場合の評価をS、どちらか一方のみが優れていて経済的効果がある場合の評価をAとして表1に示した。優れているとは、還元材の使用量が少ないか、AODに装入してから出鋼するまでの時間が短い場合を指す。なお、参考例No. 3は、参考例No. 4と比較してスラグ中Cr₂O₃活量を低めに見積もった場合である。

【0066】

表1から明らかなように、発明例No. 1およびNo. 2は、本発明の機械学習モデルを用いてスラグ中Cr₂O₃活量を推測して真空度を制御した場合であって、作業温度が互いに異なる例であるが、これら発明例No. 1およびNo. 2では、還元材使用量とAODに装入してから出鋼するまでの時間のいずれも優れていた。

10

【0067】

参考例No. 3は、参考例No. 4と比較して還元材使用量に優れているが、No. 3はスラグ中Cr₂O₃活量を低めに見積もったことで、ΔGが低めに保たれたために溶鋼中のCrの酸化ロスが小さかったためと考えられる。一方で、参考例No. 3は、No. 4と比較して溶鋼をAODに装入してから出鋼するまでの時間が長いが、これは真空度の切り替えタイミングが早かったために、酸素含有ガスの吹込み量を少なくせざるを得ず、脱炭にかかる時間が増大したためと考えられる。

【0068】

【表1】

	No.	還元材使用量 指標	精錬時間 指標	評価
発明例	1	0.65	0.76	S
発明例	2	0.71	0.81	S
参考例	3	0.81	1.09	A
参考例	4	1	1	A

【符号の説明】

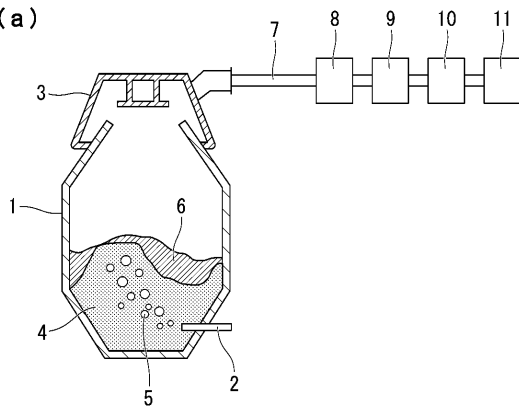
30

【0069】

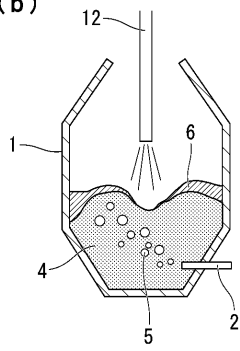
1 ... 精錬容器、 4 ... 溶鋼、 6 ... スラグ。

【図 1】

(a)



(b)



フロントページの続き

(74)代理人 100207686

弁理士 飯田 恭宏

(74)代理人 100224812

弁理士 井口 翔太

(72)発明者 金子 農

東京都千代田区丸の内一丁目 8 番 2 号 日鉄ステンレス株式会社内

(72)発明者 江原 靖弘

東京都千代田区丸の内一丁目 8 番 2 号 日鉄ステンレス株式会社内

F ターム(参考) 4K013 AA02 BA02 CA01 CA04 CA11 CA12 CA13 FA01 FA02 FA05 FA11