

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6439828号
(P6439828)

(45) 発行日 平成30年12月19日(2018.12.19)

(24) 登録日 平成30年11月30日(2018.11.30)

(51) Int.Cl.

F 1

C 2 2 B 23/02 (2006.01)

C 2 2 B 23/02

C 2 2 B 5/10 (2006.01)

C 2 2 B 5/10

C 2 2 C 33/04 (2006.01)

C 2 2 C 33/04

H

C 2 2 B 1/243 (2006.01)

C 2 2 B 1/243

C 2 2 B 1/244 (2006.01)

C 2 2 B 1/244

請求項の数 2 (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2017-103028 (P2017-103028)

(22) 出願日 平成29年5月24日(2017.5.24)

(65) 公開番号 特開2018-197381 (P2018-197381A)

(43) 公開日 平成30年12月13日(2018.12.13)

審査請求日 平成30年7月4日(2018.7.4)

早期審査対象出願

(73) 特許権者 000183303

住友金属鉱山株式会社

東京都港区新橋5丁目11番3号

(74) 代理人 100106002

弁理士 正林 真之

(74) 代理人 100120891

弁理士 林 一好

(72) 発明者 井関 隆士

愛媛県新居浜市磯浦町17-5 住友金属

鉱山株式会社 新居浜研究所内

(72) 発明者 合田 幸弘

愛媛県新居浜市磯浦町17-5 住友金属

鉱山株式会社 新居浜研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 酸化鉱石の製錬方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

ニッケル酸化鉱石と炭素質還元剤とを混合し、得られた混合物を加熱して還元処理に付し、還元物であるフェロニッケルとスラグとを得る製錬方法であって、

前記炭素質還元剤として粒子（還元剤粒子）から構成されるものを用い、

前記炭素質還元剤に含まれる最大粒子長が25 μm以下の還元剤粒子の数の割合が、該炭素質還元剤に含まれる還元剤粒子の総数に対して2%以上25%以下であり、

下記式（1）により求められる、最大粒子長が25 μmを超える還元剤粒子の平均最大粒子長が30 μm以上80 μm以下である

ニッケル酸化鉱石の製錬方法。

平均最大粒子長＝還元剤粒子300個の最大粒子長の総和／300・・・（1）

【請求項2】

前記還元処理における還元温度を、1200℃以上1450℃以下とする

請求項1に記載のニッケル酸化鉱石の製錬方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、酸化鉱石の製錬方法に関するものであり、例えば、ニッケル酸化鉱石等の酸化鉱石と、還元剤とから製造されるペレットを、還元炉にて高温下で還元加熱することによって製錬し、フェロニッケル等の還元物を得る製錬方法に関する。

【背景技術】

【0002】

酸化鉱石の一種であるリモナイトあるいはサブロライトと呼ばれるニッケル酸化鉱石の製錬方法として、熔錬炉を使用してニッケルマットを製造する乾式製錬方法、ロータリーキルンあるいは移動炉床炉を使用して鉄とニッケルの合金であるフェロニッケルを製造する乾式製錬方法、オートクレーブを使用してミックスサルファイドを製造する湿式製錬方法等が知られている。

【0003】

上述した様々な方法の中で、特に乾式製錬法を用いてニッケル酸化鉱石を還元して製錬する場合、反応を進めるために原料のニッケル酸化鉱石を適度な大きさに破碎する等して塊状物化する処理が前処理として行われる。

10

【0004】

具体的に、ニッケル酸化鉱石を塊状物化する、すなわち粉状や微粒状の鉱石を塊状にする際には、そのニッケル酸化鉱石と、それ以外の成分、例えばバインダーやコークス等の還元剤とを混合して混合物とし、さらに水分調整等を行った後に塊状物製造機に装入して、例えば一辺あるいは直径が10mm～30mm程度の塊状物（ペレット、ブリケット等を指す。以下、単に「ペレット」という）とするのが一般的である。

【0005】

塊状物化して得られるペレットには、含有する水分を「飛ばす」ために、ある程度の通気性が必要となる。さらに、その後の還元処理においてペレット内で均一に還元が進まないと、得られる還元物の組成が不均一になり、メタルが分散したり偏在したりする等の不都合が生じる。そのため、ペレットと作製する際には混合物を均一に混合したり、得られたペレットを還元する際には可能な限り均一な温度を維持することが重要となる。

20

【0006】

加えて、還元処理により生成するメタル（フェロニッケル）を粗大化させることも非常に重要な技術である。生成したフェロニッケルが、例えば数10μm～数100μm以下の細かな大きさであった場合、同時に生成するスラグと分離することが困難となり、フェロニッケルとしての回収率（収率）が大きく低下してしまう。そのため、還元後のフェロニッケルを粗大化する処理が必要となる。

【0007】

また、製錬コストを如何に低く抑えることができるかについても重要な技術的事項であり、コンパクトな設備で操業できる連続処理が望まれている。

30

【0008】

例えば、特許文献1には、金属酸化物と炭素質還元剤とを含む塊成物を、移動床型還元溶融炉の炉床上に供給して加熱し、金属酸化物を還元溶融させる粒状金属の製造方法において、塊成物同士の距離を0としたときの塊成物の炉床への最大投影面積率に対する、塊成物の炉床への投影面積率の相対値を敷密度としたとき、平均直径が19.5mm以上32mm以下の塊成物を、敷密度が0.5以上0.8以下になるように炉床上に供給して加熱する方法が開示されている。この方法では、塊成物の敷密度と平均直径とを併せて制御することで、粒状金属鉄の生産性を高められることが、特許文献1に記載されている。

40

【0009】

しかしながら、特許文献1に開示されている方法は、塊成物の外側で起こる反応を制御するための技術であり、還元反応において最も重要な因子である、塊成物の内部で起きる反応の制御については着目していない。他方で、塊成物の内部で起きる反応を制御することで、反応効率を高め、還元反応をより均一に進めることで、より高品質のメタル（金属、合金）を得ることが求められていた。

【0010】

また、特許文献1にあるような、特定の直径を有するものを塊成物として用いる方法は、特定の直径を有しないものを取り除く必要があるため、塊成物を作製する際の収率が低いものであった。また、特許文献1にある方法では、塊成物の敷密度を0.5以上0.8

50

以下に調整する必要がある、塊成物を積層させることもできないため、生産性の低い方法であった。このように、特許文献1にある方法は、製造コストが高いものであった。

【0011】

さらに、特許文献1のように、原料を全て熔解して還元するいわゆる全熔解法を用いたプロセスでは、操業コストの面で大きな問題があった。例えば、原料のニッケル酸化鉱石を完全に溶融するには、1500℃以上もの高温にする必要があるが、このような高温条件とするには多大なエネルギーコストがかかり、またそのような高温で使用する炉は傷み易くなるため、補修費もかかる。またさらに、原料のニッケル酸化鉱石中にはニッケルが1%程度しか含まれていないため、そのニッケルに相応する鉄以外は回収する必要がないにもかかわらず、多量に含まれる回収不要な成分までもすべてを溶融することになり、著しく非効率となる。

10

【0012】

そこで、必要なニッケルだけを還元し、ニッケルよりもはるかに多く含まれる鉄の還元を部分的にしか行わない、部分熔解による還元方法が検討されてきた。しかしながら、このような部分還元法（あるいはニッケル優先還元法ともいう）では、原料を完全に熔解しない半固体状態に維持しながら還元反応を行うため、ニッケルを100%完全に還元しながら、他方で鉄の還元をニッケルに相応する範囲に留めるように反応を制御することは容易でない。そのことにより、原料内における還元において部分的なばらつきが生じ、ニッケル回収率の低下等、効率的な操業が難しいという問題があった。

20

【0013】

このように、酸化鉱石を混合及び還元して金属や合金を製造する技術には、生産性や効率性を高め、製造コストを低減させ、また、還元反応を均一に進めて金属の品質を高める点で、多くの問題があった。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0014】

【特許文献1】特開2011-256414号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0015】

30

本発明は、このような実情に鑑みて提案されたものであり、ニッケル酸化鉱石等の酸化鉱石と炭素質還元剤とを含む混合物を還元することで金属を製造する製錬方法において、生産性や効率性が高く、且つ低廉な製造コストで、高品質の金属を製造することができる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】

【0016】

本発明者は、上述した課題を解決するために鋭意検討を重ねた。その結果、炭素質還元剤として、粒子（還元剤粒子）によって構成され、最大粒子長が25μm以下の還元剤粒子の数が、還元剤粒子の総数に対して2%以上25%以下であり、最大粒子長が25μmを超える還元剤粒子についての平均最大粒子長が30μm以上80μm以下であるものを用いて、この炭素質還元剤で金属酸化物を還元して還元物を得ることで、混合物における炭素質還元剤の凝集や偏在が抑制されるため、酸化鉱石と炭素質還元剤との接触面積や、混合物の均一性が高まることを見出し、本発明に至った。すなわち、本発明は以下のものを提供する。

40

【0017】

(1) 本発明の第1の発明は、酸化鉱石と炭素質還元剤とを混合し、得られた混合物を加熱して還元処理に付し、還元物である金属とスラグとを得る製錬方法であって、前記炭素質還元剤として粒子（還元剤粒子）から構成されるものを用い、前記炭素質還元剤に含まれる最大粒子長が25μm以下の還元剤粒子の数の割合が、該炭素質還元剤に含まれる還元剤粒子の総数に対して2%以上25%以下であり、下記式(1)により求められる

50

、最大粒子長が $25\text{ }\mu\text{m}$ を超える還元剤粒子の平均最大粒子長が $30\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $80\text{ }\mu\text{m}$ 以下である、酸化鉱石の製錬方法である。

平均最大粒子長＝還元剤粒子 300 個の最大粒子長の総和／ 300 ・・・(1)

【0018】

(2) 本発明の第2の発明は、第1の発明において、前記還元処理における還元温度を、 1200°C 以上 1450°C 以下とする、酸化鉱石の製錬方法である。

【0019】

(3) 本発明の第3の発明は、第1又は第2の発明において、前記酸化鉱石は、ニッケル酸化鉱石である、酸化鉱石の製錬方法である。

【0020】

(4) 本発明の第4の発明は、第1乃至第3のいずれかの発明において、前記メタルは、フェロニッケルである、酸化鉱石の製錬方法である。

【発明の効果】

【0021】

本発明によれば、酸化鉱石と炭素質還元剤とを含む混合物を還元することでメタルを製造する製錬方法において、生産性や効率性が高く、且つ低廉な製造コストで、高品質のメタルを製造することができる方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図1】酸化鉱石の製錬方法の流れの一例を示す工程図である。

【図2】炭素質還元剤の形状、分布の一例を示す平面図である。

【図3】還元処理工程における処理の流れの一例を示す処理フロー図である。

【図4】炉床が回転する回転炉床炉の構成例を示す図（平面図）である。

【発明を実施するための形態】

【0023】

以下、本発明の具体的な実施形態について詳細に説明する。なお、本発明は、以下の実施形態に限定されるものではなく、本発明の要旨を変更しない範囲で種々の変更が可能である。また、本明細書において、「 $X\sim Y$ 」（ X 、 Y は任意の数値）との表記は、「 X 以上 Y 以下」の意味である。

【0024】

《1. 本発明の概要》

本発明に係る酸化鉱石の製錬方法は、酸化鉱石を原料として、その酸化鉱石と炭素質還元剤とを混合して混合物とし、得られた混合物を高温下で還元処理に付して還元物であるメタルを製造する方法である。例えば、酸化鉱石として、酸化ニッケルや酸化鉄等を含有するニッケル酸化鉱石を原料とし、そのニッケル酸化鉱石を炭素質還元剤と混合して、高温下において、混合物に含まれるニッケルを優先的に還元し、また鉄を部分的に還元することで鉄とニッケルの合金であるフェロニッケルを製造する方法が挙げられる。

【0025】

具体的に、本発明に係る酸化鉱石の製錬方法は、酸化鉱石と炭素質還元剤とを混合し、得られた混合物を原料として加熱して還元処理に付し、還元物であるメタルとスラグとを得る方法において、その炭素質還元剤として粒子（以下、「還元剤粒子」ともいう）から構成され、下記式(1)により求められる、最大粒子長が $25\text{ }\mu\text{m}$ を超える還元剤粒子についての平均最大粒子長が $30\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $80\text{ }\mu\text{m}$ 以下であるものを用い、炭素質還元剤に含まれる最大粒子長が $25\text{ }\mu\text{m}$ 以下の還元剤粒子の数の割合を、その炭素質還元剤に含まれる還元剤粒子の総数に対して 2% 以上 25% 以下とすることを特徴としている。

平均最大粒子長＝還元剤粒子 300 個の最大粒子長の総和／ 300 ・・・(1)

【0026】

このような製錬方法によれば、その酸化鉱石と炭素質還元剤との接触面積が増加させることができ、酸化鉱石の還元反応を進み易くすることができる。また、混合物中における炭素質還元剤の分散性が高まりことによりその炭素質還元剤の凝集や偏在が抑制されるた

10

20

30

40

50

め、均一に還元反応を進行させることができる。これにより、生産性や効率性が高く、且つ低廉な製造コストで、高品質のメタルを製造することができる。

【0027】

以下では、本発明の具体的な実施形態（以下、「本実施の形態」という）として、ニッケル酸化鉱石の製錬方法を例に挙げて説明する。上述したように、製錬原料であるニッケル酸化鉱石は、酸化ニッケル（ NiO ）と酸化鉄（ Fe_2O_3 ）とを少なくとも含むものであり、そのニッケル酸化鉱石を製錬原料として還元処理することすることで、メタルとして鉄－ニッケル合金（フェロニッケル）を製造することができる。

【0028】

なお、本発明は、酸化鉱石としてニッケル酸化鉱石に限定されるものではなく、製錬方法としても酸化ニッケル等を含むニッケル酸化鉱石からフェロニッケルを製造する方法に限られるものではない。

10

【0029】

《2. ニッケル酸化鉱石の製錬方法》

本実施の形態に係るニッケル酸化鉱石の製錬方法は、ニッケル酸化鉱石を炭素質還元剤と混合して混合物とし、その混合物に対して還元処理を施すことによって、還元物としてメタルであるフェロニッケルとスラグとを生成させる方法である。この製錬方法では、混合物中のニッケル（酸化ニッケル）を優先的に還元させ、また、鉄（酸化鉄）を部分的に還元することで、フェロニッケルを生成させる。なお、メタルであるフェロニッケルは、還元処理を経て得られたメタルとスラグとを含む混合物から、そのメタルを分離することで回収することができる。

20

【0030】

図1は、ニッケル酸化鉱石の製錬方法の流れの一例を示す工程図である。図1に示すように、この製錬方法は、ニッケル酸化鉱石と炭素質還元剤とを混合する混合処理工程S1と、得られた混合物を塊状化し又は所定の容器に充填して成形する還元投入前処理工程S2と、塊状化され又は容器に充填された混合物を所定の温度（還元温度）で加熱する還元処理工程S3と、還元処理工程S3にて生成したメタルとスラグとを含む混合物（混在物）からメタルを分離して回収する分離工程S4とを有する。

【0031】

＜1. 混合処理工程＞

30

混合処理工程S1は、ニッケル酸化鉱石を含む原料粉末を混合して混合物を得る工程である。具体的には、混合処理工程S1では、原料鉱石であるニッケル酸化鉱石に、炭素質還元剤を添加して混合し、また任意成分の添加剤として、鉄鉱石、フラックス成分、バインダー等の、例えば粒径が0.1mm～0.8mm程度の粉末を添加して混合し、混合物を得る。なお、混合処理は、混合機等を用いて行うことができる。

【0032】

（ニッケル酸化鉱石）

原料鉱石であるニッケル酸化鉱石としては、特に限定されないが、リモナイト鉱、サブロライト鉱等を用いることができる。なお、ニッケル酸化鉱石は、酸化ニッケル（ NiO ）と、酸化鉄（ Fe_2O_3 ）とを少なくとも含有する。

40

【0033】

（炭素質還元剤）

炭素質還元剤としては、特に限定されないが、石炭粉、コークス粉等が挙げられる。

【0034】

本実施の形態においては、炭素質還元剤として、粒子（還元剤粒子）から構成され、最大粒子長が25μmを超える還元剤粒子の平均最大粒子長が30μm以上80μm以下であるものを用いる。また、炭素質還元剤に含まれる最大粒子長が25μm以下の還元剤粒子の数の割合が、その炭素質還元剤に含まれる還元剤粒子の総数に対して2%以上25%以下であるものを用いる。すなわち、この炭素質還元剤は、最大粒子長が25μm以下の還元剤粒子と、最大粒子長が25μmを超える還元剤粒子とを含有する。

50

【0035】

ここで、還元剤粒子の「最大粒子長」とは、還元剤粒子における最も長い辺や直径のことである。具体的には、例えば、還元剤粒子が楕円の形状であれば最大粒子長は長径になり、還元剤粒子が直方体の形状であれば最大粒子長は対角線になる。図2は、不定形粒子の最大粒子長を示す模式図であり、最大粒子長 T は金属顕微鏡を用いて測定することができる。

【0036】

また、還元剤粒子の「平均最大粒子長」とは、無作為に選定した還元剤粒子300個における、個数平均での最大粒子長 T の平均値であり、下記式(1)により求められる。

平均最大粒子長 = 還元剤粒子300個の最大粒子長の総和 / 300 …… (1)

10

【0037】

特に、最大粒子長が $25\mu\text{m}$ 以下の微細な還元剤粒子を含む炭素質還元剤を用いることによって、ニッケル酸化鉱石と炭素質還元剤との接触面積が増加するようになり、ニッケル酸化鉱石の還元反応を進み易くすることができる。また、これにより混合物における分散性が高まり、炭素質還元剤の凝集や偏在が抑制されるため、均一に還元反応を進行させることができる。

【0038】

より具体的に、炭素質還元剤に含まれる還元剤粒子の平均最大粒子長に関して、最大粒子長が $25\mu\text{m}$ を超える還元剤粒子の平均最大粒子長が $30\mu\text{m}$ 以上である。この平均最大粒子長が小さすぎると、細かい還元剤粒子の割合が増えすぎることによって、炭素質還元剤が凝集したり偏在したりする。そのため、均一な混合物を得ることが困難になり、これにより還元反応が均一に進み難くなる。

20

【0039】

最大粒子長が $25\mu\text{m}$ を超える還元剤粒子の平均最大粒子長は、 $80\mu\text{m}$ 以下であり、 $60\mu\text{m}$ 以下であることがより好ましい。この平均最大粒子長が大きすぎると、粗い還元剤粒子の割合が多くなりすぎ、混合物中での炭素質還元剤の分散性が悪化する。そのため、均一な混合物を得ることが困難になり、還元反応が均一に進み難くなる。

【0040】

また、炭素質還元剤に含まれる還元剤粒子の数の割合に関して、最大粒子長が $25\mu\text{m}$ 以下の還元剤粒子の数の割合が、炭素質還元剤の還元剤粒子の総数に対して、2%以上であり、3%以上であることがより好ましい。最大粒子長が $25\mu\text{m}$ 以下の還元剤粒子の占める割合が小さすぎると、細かい還元剤粒子が少なくなり過ぎてしまい、混合物中において炭素質還元剤とニッケル酸化鉱石とを均一に混合させることが困難になり、これにより還元反応が均一に進み難くなる。

30

【0041】

炭素質還元剤の還元剤粒子の総数に対する最大粒子長が $25\mu\text{m}$ 以下の粒子が占める割合は、25%以下であり、20%以下であることがより好ましい。最大粒子長が $25\mu\text{m}$ 以下の還元剤粒子の占める割合が大きすぎると、細かい還元剤粒子の割合が増えすぎることによって、炭素質還元剤が凝集したり偏在したりする。そのため、かえって均一な混合物を得ることが困難になり、これにより還元反応が均一に進み難くなる。

40

【0042】

このように、原料鉱石に添加する炭素質還元剤が粒子(還元剤粒子)から構成され、最大粒子長が $25\mu\text{m}$ を超える還元剤粒子の平均最大粒子長が $30\mu\text{m}$ 以上 $80\mu\text{m}$ 以下であるものを用い、且つ、炭素質還元剤に含まれる最大粒子長が $25\mu\text{m}$ 以下の還元剤粒子の数の割合を、炭素質還元剤の還元剤粒子の総数に対して2%以上25%以下とすることで、混合物中において炭素質還元剤とニッケル酸化鉱石とが均一に混合され、また、ニッケル酸化鉱石と炭素質還元剤との接触面積を増加させることができる。これにより、後述する還元処理工程S3において、均一な還元をより効率的に実現することができ、その結果として、反応時間を短縮して製造コストを低廉にすることができ、さらに、得られるフェロニッケルの品質をより高めることができる。

50

【0043】

混合物中における炭素質還元剤の混合量、すなわち混合物に含まれることになる炭素質還元剤の量としては、ニッケル酸化鉱石を構成する酸化ニッケルの全量をニッケル金属還元するのに必要な化学当量と、酸化鉄（酸化第二鉄）を金属鉄に還元するのに必要な化学当量との両者合計値（便宜的に「化学当量の合計値」ともいう）を100質量%としたときに、好ましくは5質量%以上60質量%以下の炭素量の割合、より好ましくは10質量%以上40質量%以下の炭素量の割合となるように調整することができる。炭素質還元剤の混合量を、化学当量の合計値100質量%に対して5質量%以上の割合とすることで、ニッケルの還元を効率的に進行させることができ生産性が向上する。一方で、化学当量の合計値100質量%に対して60質量%以下の割合とすることで、鉄の還元量を抑えて、ニッケル品位の低下を防ぎ、高品質のフェロニッケルを製造することができる。

10

【0044】

このように、好ましくは、炭素質還元剤の混合量を化学当量の合計値100質量%に対して5質量%以上60質量%以下の炭素量の割合とすることで、混合物の表面に金属成分により生成した殻（メタルシェル）を均一に生成させて生産性を向上させることができ、またニッケル品位の高い高品質なフェロニッケルを得ることができ、好ましい。

【0045】

（鉄鉱石）

ニッケル酸化鉱石と炭素質還元剤のほか、混合物における鉄－ニッケル比を調整するために任意成分として鉄鉱石を添加することができる。ここで、鉄鉱石としては、特に限定されないが、例えば、鉄品位が50%程度以上のものや、ニッケル酸化鉱石の湿式製錬により得られるヘマタイト等を用いることができる。

20

【0046】

（バインダー、フラックス成分）

また、バインダーとしては、例えば、ベントナイト、多糖類、樹脂、水ガラス、脱水ケーキ等を挙げることができる。また、フラックス成分としては、例えば、酸化カルシウム、水酸化カルシウム、炭酸カルシウム、二酸化珪素等を挙げることができる。

【0047】

下記表1に、混合処理工程S1にて混合する、一部の原料粉末の組成（重量%）の一例を示す。なお、原料粉末の組成としてはこれに限定されない。

30

【0048】

【表1】

原料[重量%]	Ni	Fe ₂ O ₃	C
ニッケル酸化鉱	1～2	50～60	—
鉄鉱石	—	80～95	—

【0049】

混合処理工程S1では、上述したようなニッケル酸化鉱石を含む原料粉末を均一に混合することによって混合物を得る。この混合に際しては、原料粉末を混練してもよい。ここで、原料粉末の混練は、混合と同時に進めてもよく、混合後に行ってもよい。これにより、混合物にせん断力が加えられ、炭素質還元剤をはじめとした原料粉末の凝集が解けてより均一に混合されることで、原料粉末同士の接触面積が増し、混合物に含まれる空隙が減少して各々の粒子の密着性が高められる。したがって、還元反応の反応時間を短縮させることができ、且つ品質のばらつきを低減させることができる。よって、生産性の高い処理を行うことができ、且つ高い品質のフェロニッケルを製造することができる。

40

【0050】

また、原料粉末を混練した後、押出機を用いて混合物を押し出してもよい。このように

50

押出機で押し出すことによって、より一層高い混練効果が得られることで、原料粉末同士の接触面積が増し、また混合物に含まれる空隙が減少する。そのため、高品質のフェロニッケルをより効率的に製造することができる。

【0051】

< 2. 還元投入前処理工程（前処理工程） >

還元投入前処理工程 S 2 は、混合処理工程 S 1 で得られた、ニッケル酸化鉱石と炭素質還元剤とを含有する混合物を成形させ、必要に応じて乾燥させる工程である。すなわち、この還元投入前処理工程 S 2 では、原料粉末を混合して得られた混合物を、後述する還元処理工程 S 3 にて使用する炉に投入しやすくし、また効率的に還元反応が起こるように成形する。

10

【0052】

（1）混合物の成形

得られた混合物を成形する場合、その混合物を塊状化（造粒）して塊状の成形体（ペレット、ブリケット等）にしてもよく、混合物を容器等に充填して混合物充填容器にしてもよい。

【0053】

（混合物の塊状化）

このうち、混合物を塊状化する場合、ニッケル酸化鉱石と炭素質還元剤とを含有する混合物に対して、塊状化に必要な所定量の水分を添加し、例えば塊状物製造装置（転動造粒機、圧縮成形機、押出成形機等、あるいはペレタイザーともいう）を用いて、ペレット、ブリケット等の塊状の成形体（以下、単に「ペレット」という場合がある。）に成形する。

20

【0054】

混合物を成形する形状、すなわちペレットの形状としては、特に限定されず、立方体、直方体、円柱又は球の形状にすることができる。その中でも特に、球状のペレットに成形することが好ましい。球状のペレットにすることで、還元反応を比較的均一に進めやすくすることができる。且つ、混合物の成形を容易にして成形にかかるコストを抑えることができる。また、ペレットの形状が単純になることで、成形不良のペレットを低減することができる。

【0055】

塊状化によって得られるペレットの大きさ（球状のペレットの場合には直径）は、特に限定されないが、例えば、前処理工程 S 2 における乾燥処理や、還元処理工程 S 3 における乾燥処理（乾燥工程 S 3 1）、予熱処理（予熱工程 S 3 2）を経て、還元処理（還元工程 S 3 3）を行う場合であれば、10 mm～30 mm程度にすることができる。なお、還元処理工程 S 3 等については、詳しくは後述する。

30

【0056】

（混合物の容器への充填）

他方で、混合物を容器等に充填して成形する場合、ニッケル酸化鉱石と炭素質還元剤とを含有する混合物を押出機等で混練しながら所定の容器等に充填することで、混合物充填容器とすることができる。得られた混合物充填容器は、そのまま次工程の還元処理工程 S 3 に供してもよいが、容器等に収容されている混合物をプレス等によって押し固めたものを、還元処理工程 S 3 に供することがより好ましい。特に、容器等に収容されている混合物を押し固めて成形し、成形された混合物を次工程の還元処理工程 S 3 に付すことで、混合物の間に生じる空隙を低減させて密度を高めることができ、また、密度が均一化することで還元反応をより均一に進めやすくすることができる。したがって、品質のばらつきのより小さいフェロニッケルを作製することができる。

40

【0057】

混合物充填容器の形状としては、特に限定されないが、例えば直方体、立方体、円柱等の形状であることが好ましい。また、その大きさについても特に限定されないが、例えば直方体や立方体の形状であれば、概ね、縦、横、高さの内寸が、各々500 mm以下であ

50

ることが好ましい。このような形状、大きさとすることにより、品質のばらつきが小さく、且つ生産性の高い製錬を行うことができる。

【0058】

(2) 混合物の乾燥処理

ニッケル酸化鉱石と炭素質還元剤とを含有する混合物には、混合物を成形する前後の少なくともいずれかにおいて、乾燥処理を行ってもよい。ここで、ニッケル酸化鉱石と炭素質還元剤を含有する混合物には水分が多く含まれていることがあり、このような混合物を急激に還元温度まで昇温すると、水分が一気に気化し、膨張して混合物が破壊することがある。また、混合物は、水分によってべたべたした状態となっていることも多い。

【0059】

したがって、混合物に対して乾燥処理を施し、例えば塊状物の固形分が70質量%程度で、水分が30質量%程度となるようにすることで、次工程の還元処理工程S3において、混合物が崩壊することを防ぐことができ、それにより還元炉からの取り出しが困難になることを防ぐことができる。また、混合物に対して乾燥処理を施すことで、表面のべたべたした状態を解消できるため、還元炉への装入までの取り扱いを容易にすることができる。

【0060】

具体的に、混合物に対する乾燥処理としては、特に限定されないが、例えば200℃～400℃の熱風を混合物に対して吹き付けて乾燥させる。なお、乾燥処理時の混合物の温度は、ペレットを破壊され難くする観点から、100℃未満を維持することが好ましい。

【0061】

乾燥処理は、後述の還元処理工程S3における乾燥処理（乾燥工程S31）を含めて、1回のみ行ってもよく、複数回行ってもよい。なお、乾燥処理を1回のみ行う場合は、後述するように、還元処理工程S3において乾燥工程S31を行うことで、エネルギー効率をより高めることができる。

【0062】

下記表2に、乾燥処理後のペレットにおける固形分中組成（重量部）の一例を示す。なお、ペレットの組成としては、これに限定されるものではない。

【0063】

【表2】

乾燥後ペレット 固形分の組成 〔重量部〕	Ni	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	バインダー	その他
	0.5～1.5	50～60	8～15	4～8	1～6	2～7	1程度	残部

【0064】

< 3. 還元処理工程 >

還元処理工程S3では、還元投入前処理工程S2を経て成形された混合物を還元炉に装入して、所定の還元温度に還元加熱する。このように、混合物に対して加熱処理することで、製錬反応（還元反応）が進行して、メタルとスラグとの混在物が生成する。

【0065】

図3は、還元処理工程S3にて実行する処理工程を示す工程図である。図3に示すように、還元処理工程S3は、混合物を乾燥する乾燥工程S31と、乾燥させた混合物を予熱する予熱工程S32と、混合物を加熱して還元する還元工程S33と、得られた還元物を冷却する冷却工程S35と、を有する。また、還元工程S33を経て得られた還元物を所定の温度範囲に保持する温度保持工程S34を有してもよい。

【0066】

ここで、還元処理工程S3における還元加熱処理は、還元炉等を用いて行われる。還元加熱処理に用いる還元炉としては、特に限定されないが、移動炉床炉を用いることが好ましい。還元炉として移動炉床炉を使用することにより、炉外で混合物の炉床への載置を行った後で、移動炉床炉に装入させることができるため、還元炉をより効率的に運用するこ

10

20

30

40

50

とができる。また、移動炉床炉を用いることで、連続的に還元反応が進行し、一つの設備で反応を完結させることができ、各工程における処理を別々の炉を用いて行うよりも処理温度の制御を的確に行うことができる。さらに、移動炉床炉を使用して一つの設備で各処理を行うことで、ヒートロスが低減されるとともに炉内雰囲気も的確に制御できるため、反応をより効果的に進行させることができる。そのため、より効果的に、ニッケル品位が高い鉄-ニッケル合金を得ることができる。

【0067】

移動炉床炉としては、特に限定されず、回転炉床炉や、ローラーハースキルン等を用いることができる。このうち、回転炉床炉を用いる例としては、例えば、図4に示すような、円形状であって複数の処理室23～26に区分けされた回転炉床炉（ロータリーハース炉）20を有する還元炉2を挙げることができる。回転炉床炉20は、平面上を回転移動する炉床を備えており、混合物を載置した炉床が所定の方向に回転移動することで、各領域においてそれぞれの処理が行われる。このとき、各領域を通過する際の時間（移動時間、回転時間）を制御することで、それぞれの領域での処理温度を調整することができ、回転炉床が1回転する毎に混合物10が製錬処理される。

10

【0068】

この回転炉床炉20では、例えば処理室23～26のすべてを還元室として、乾燥室21から順次供給される混合物10に対して、処理室23～26で還元処理を行ってもよい。他方で、処理室23を予熱室、処理室24を還元室、処理室25を温度保持室、処理室26を冷却室として、乾燥室21から順次供給される混合物10に対して、処理室23で予熱を行い、処理室24で還元処理を行い、処理室25で温度を保持した後、処理室26で冷却させ、外部冷却室27にてさらに冷却処理されるようになっていてもよい。このように、処理室23～26の間で温度を異ならせる場合は、反応温度を厳密に制御してエネルギーロスを抑制するために、処理室23～26を可動式の仕切り壁で仕切られた構成とすることが好ましい。なお、図4における回転炉床炉20上の矢印は、炉床の回転方向を示すとともに、処理物（混合物）の移動方向を示す。

20

【0069】

回転炉床炉20を用いて、これらの処理を一つの還元炉内にて行うことによって、その還元炉内の温度を高い温度で維持することができるため、それぞれの工程における処理の都度、温度を上げたり下げたりする等の必要が無くなり、エネルギーコストを低減することができる。そのため、高い生産性で、品質の良好なフェロニッケルを、連続して安定的に作製することができる。

30

【0070】

なお、特に混合物を還元炉に装入する場合、予めその還元炉の炉床に炭素質還元剤（以下、「炉床炭素質還元剤」ともいう）を敷き詰めて、その敷き詰められた炉床炭素質還元剤の上に混合物を載置してもよい。また、混合物を充填した容器を炉床炭素質還元剤上に載置した後、炭素質還元剤を用いて覆い隠す状態にすることもできる。このように、炉床に炭素質還元剤が敷き詰められた還元炉に混合物を装入し、又は、装入した混合物をさらに覆い隠すように炭素質還元剤で包囲させた状態で還元加熱処理を施すことで、混合物の崩壊を抑制しながら、製錬反応をより速く進行させることができる。また、特に炉床炭素質還元剤を敷き詰めることで、処理室23～26において還元反応が進んでニッケルメタルやスラグが生成しても、炉床との反応が抑えられるため、スラグが炉床に染み込んだり貼り付いたりすることを低減することができる。

40

【0071】

（1）乾燥工程

乾燥工程S31では、原料粉末を混合して得られた混合物に対して乾燥処理を施す。この乾燥工程S31は、混合物中の水分や結晶水を飛ばすことを主な目的とする。

【0072】

混合処理工程S1にて得られた混合物には水分等が多く含まれており、そのような状態で還元処理時に還元温度のような高温まで急加熱すると水分が一気に気化、膨張すること

50

で、成形した混合物が割れ、場合によっては破裂して粉々になるため、均一な還元処理を行うことが困難になる。そこで、還元処理を行う前に、混合物に対する乾燥処理を施して水分を除去することで、このような混合物の破壊を低減させ、それにより均一な還元処理を促進することができる。

【0073】

乾燥工程 S 3 1 における乾燥処理は、還元炉に接続される形態で行われることが好ましい。他方で、還元炉内において乾燥処理を施すエリア（乾燥エリア）を設けて実施することも考えられるが、この場合、乾燥エリアでの乾燥処理が律速になるため、還元工程 S 3 3 における処理の効率や、温度保持工程 S 3 4 における処理の効率を低下させる可能性がある。

10

【0074】

したがって、乾燥工程 S 3 1 における乾燥処理は、還元反応を行う炉の外に設けられ、その炉に直接又は間接的に接続された乾燥室で行われることが好ましい。例えば、図 4 の還元炉 2 では、回転炉床炉 2 0 の炉外に乾燥室 2 1 を設けることで、後述する予熱、還元、冷却といった工程とは全く別に乾燥室を設計でき、望ましい乾燥処理、予熱処理、還元処理、冷却処理をそれぞれ実行し易くすることができる。例えば、原料に依存して混合物に水分が多く残存するような場合には、乾燥処理に時間がかかるため、乾燥室 2 1 の全長が長めになるように設計し、又は、乾燥室 2 1 の内部での混合物 1 0 の搬送速度が遅くなるように設計すればよい。

【0075】

20

乾燥工程 S 3 1 における乾燥処理の方法については、特に限定されないが、乾燥室 2 1 において搬送されてきた混合物 1 0 に対して、熱風を吹き付けることによって行うことができる。また、乾燥室 2 1 の乾燥温度についても、特に限定されないが、還元反応が始まらないようにする観点から、500℃以下とすることが好ましく、500℃以下の温度で混合物 1 0 の全体を均一に乾燥することがより好ましい。

【0076】

（2）予熱工程

予熱工程 S 3 2 では、乾燥工程 S 3 1 での乾燥処理によって水分を除去した後の混合物を予熱（予備加熱）する。この予熱工程 S 3 2 は、還元時に温度がスムーズに還元温度まで上がるようにすることを主な目的とする。

30

【0077】

還元反応を行う炉の外部から内部に混合物を装入するとき、混合物が急激に還元温度まで昇温することで、熱応力によって混合物が割れたり、粉状になったりすることがある。また、混合物の温度が均一に上がらないことで、還元反応にばらつきが生じ、生成されるメタルの品質がばらつくことがある。そのため、混合物に対して乾燥工程 S 3 1 を行った後に、所定の温度にまで予熱することが好ましく、これにより混合物の破壊や還元反応のばらつきを抑えることができる。

【0078】

予熱工程 S 3 2 における予熱処理は、回転炉床炉の中に設けられた予熱室で行ってもよく、回転炉床炉の外側に設けられ、乾燥室から予熱室を経て回転炉床炉まで連続するように設けられた予熱室で行ってもよい。例えば、図 4 に示す還元炉 2 では、回転炉床炉 2 0 の中に、乾燥室 2 1 から連続するように設けられている処理室 2 3 を予熱室とすることで、回転炉床炉 2 0 の内部の温度を高い温度に維持することができるため、還元工程 S 3 3 において、混合物 1 0 を供給した回転炉床炉 2 0 の再加熱に必要なエネルギーを、大幅に削減することができる。

40

【0079】

予熱工程 S 3 2 における予熱温度としては、特に限定されないが、600℃以上であることが好ましく、700℃以上であることがより好ましい。他方で、予熱工程 S 3 2 における予熱温度の上限は、1280℃としてもよい。特に、高い予熱温度で処理することによって、還元工程 S 3 3 において還元温度まで再加熱する際に必要となるエネルギーを、

50

大幅に削減することができる。

【0080】

(3) 還元工程

還元工程 S 3 3 では、予熱工程 S 3 2 にて予熱した混合物に対し、所定の還元温度で還元処理を施す。この還元工程 S 3 3 は、予熱工程 S 3 2 で予熱した混合物を還元することを主な目的とする。

【0081】

還元炉を使用した還元処理においては、ニッケル酸化鉱石に含まれる金属酸化物である酸化ニッケルは可能な限り完全に還元し、一方で、ニッケル酸化鉱石とともに原料粉末として混合した鉄鉱石等に由来する酸化鉄は一部だけ還元して、目的とするニッケル品位のフェロニッケルが得られようにすることが好ましい。

10

【0082】

還元工程 S 3 3 における還元温度としては、特に限定されないが、1200℃以上1450℃以下の範囲とすることが好ましい。ここで、還元工程 S 3 3 における還元温度は、好ましくは1200℃、より好ましくは1300℃を下限とする。また、還元工程 S 3 3 における還元温度は、好ましくは1450℃、より好ましくは1400℃を上限とする。このような温度範囲で還元することによって、均一に還元反応が進みやすくなるため、品質のばらつきを抑制したメタル（フェロニッケル）を生成させることができる。また、この温度範囲で還元することで、比較的短時間で所望の還元反応を進めることができる。

【0083】

20

還元工程 S 3 3 において還元加熱処理を行う時間は、還元炉の温度に応じて設定されるが、10分以上であることが好ましく、15分以上であることがより好ましい。他方で、還元工程 S 3 3 において還元加熱処理を行う時間の上限は、製造コストの上昇を抑える観点から、50分以下としてもよく、40分以下としてもよい。

【0084】

還元工程 S 3 3 における還元加熱処理では、例えば1分程度のわずかな時間で、先ず還元反応の進みやすい混合物の表面近傍において、酸化ニッケル及び酸化鉄が還元されメタル化して、鉄－ニッケル合金（フェロニッケル）となり、シェル（以下、「殻」ともいう）を形成する。一方で、殻の中では、その殻の形成に伴って混合物中のスラグ成分が徐々に熔融して液相のスラグが生成する。これにより、1個の混合物の中で、フェロニッケル等の合金や金属からなるメタル（以下、単に「メタル」という）と、酸化物からなるスラグ（以下、単に「スラグ」という）とが分かれて生成する。

30

【0085】

そして、還元工程 S 3 3 における還元加熱処理の処理時間が10分程度経過すると、還元反応に関与しない余剰の炭素質還元剤の炭素成分が、鉄－ニッケル合金に取り込まれて融点を低下させる。その結果、炭素を含有した鉄－ニッケル合金は溶解して液相となる。

【0086】

上述したように、還元加熱処理によって形成されるスラグは、熔融して液相となっているが、既に分離して生成したメタルとスラグとは混ざり合うことがなく、その後の冷却によってメタル固相とスラグ固相との別相として混在する混在物となる。この混在物の体積は、装入する混合物と比較すると、50%～60%程度の体積に収縮している。

40

【0087】

還元工程 S 3 3 における還元処理は、上述したとおり、還元炉等を用いて行われる。例えば、図4の還元炉2の処理室24で還元工程 S 3 3 を行う場合、予熱室である処理室23で混合物を予熱した後、炉床の回転によって処理室24に移動させることが好ましい。

【0088】

(4) 温度保持工程

還元工程 S 3 3 を経て得られた還元物に対して、回転炉床炉内で所定の温度条件で保持する温度保持工程 S 3 4 を行ってもよい。具体的に、この温度保持工程 S 3 4 は、還元工程 S 3 3 における還元温度を同等の温度に還元物を保持することによって、その還元物中

50

におけるメタル成分をさらに沈降させて纏め、メタルを粗大化させる。これにより、メタルを回収し易くすることができる。

【0089】

還元処理して得られた状態において還元物中のメタル成分が小さい場合、例えば200 μm 以下程度のバルク状のメタルが得られた場合には、その後の分離工程S4でメタルとスラグとを分離することが困難になる。このとき、必要に応じて、還元物を高温保持することで、還元物中のスラグよりも比重の大きいメタルを沈降、凝集させて、メタルを粗大化させることができる。

【0090】

温度保持工程S34における還元物の保持温度は、還元工程S33における還元温度に応じて適宜設定することができ、1300℃以上1500℃以下の範囲にあることが好ましい。この温度範囲内で還元物を高温保持することによって、還元物中のメタル成分を効率よく沈降させて、粗大なメタルを得ることができる。ここで、保持温度が1300℃未満であると、還元物の多くの部分が固相となるため、メタル成分が沈降しないか、沈降した場合であっても粗大なメタルを得るには時間を要する。また、保持温度が1500℃を超えると、得られた還元物と、炉床や炉床炭素質還元剤との反応が進行することで、還元物を回収できなくなることがあり、また、炉を損傷させてしまうことがある。

【0091】

温度保持工程S34において温度を保持する時間は、還元炉の温度に応じて設定されるが、10分以上であることが好ましく、15分以上であることがより好ましい。他方で、温度保持工程S34において温度を保持する時間の上限は、製造コストの上昇を抑える観点から、50分以下としてもよく、40分以下としてもよい。

【0092】

温度保持工程S34における処理は、還元反応を行う炉の中で、還元工程S33に続いて連続的に行うことが好ましい。例えば、図4の還元炉2の処理室25で温度保持工程S34を行う場合、処理室24で混合物を還元処理した後、炉床の回転によって処理室25に移動させることが好ましい。

【0093】

このように、還元工程S33と温度保持工程S34とを連続的に行うことによって、還元物中のメタル成分が効率的に沈降するため、得られるメタルを粗大化させることができる。また、これにより各処理間におけるヒートロスが低減するため、効率的な操業を行うことができる。

【0094】

なお、還元工程S33における還元処理によって、製造上問題ないレベルまでメタルが粗大化している場合には、特に温度保持工程S34を設けることを必要としない。

【0095】

(5) 冷却工程

冷却工程S35は、還元工程S33を経て、あるいは必要に応じて温度保持工程S34にて温度を保持した後の還元物を、続く分離工程S4にて分離回収できる温度にまで冷却する工程である。

【0096】

冷却工程S35における還元物の冷却は、還元反応を行う炉の内側にある処理室と、炉の外側に接続された処理室のうち、少なくともいずれかで行うことができる。例えば、図4の還元炉2では、回転炉床炉20の処理室26を冷却室とし、且つ炉外に外部冷却室27を設けることで、回転炉床炉20の内部における温度低下が小さくなるため、還元炉2におけるエネルギーロスを低減することができる。また、特に回転炉床炉20から外部冷却室27には熱が伝わり難くなるため、還元物の冷却をよりスムーズに行うことができる。

【0097】

冷却工程S35において、還元工程S33を経た還元物を冷却室に移す温度（以下、「

10

20

30

40

50

回収時温度」ともいう)は、還元物を実質的に固体として扱える温度であればよい。特に、回転炉床炉を用いて還元工程 S 3 3 を行った場合には、回収時温度ができるだけ高い温度であることが好ましい。このとき、回収時温度をできるだけ高くすることで、冷却室に移すまでの回転炉床炉 2 0 の炉床の温度低下が小さくなる。そのため、回転炉床や炉内の雰囲気への冷却及び予熱によるエネルギーロスを低減することができ、再加熱に要するエネルギーをより一層節約することができる。

【0098】

ここで、冷却工程 S 3 5 における回収時温度は、600℃以上であることが好ましい。回収時温度をこのような高い温度にすることで、再加熱に要するエネルギーが大幅に低減するため、より低コストで効率的な製錬処理を行うことができる。また、回転炉床炉 2 0 の炉床における温度差が減少することで、その炉床や炉壁等に加わる熱応力も減少するため、回転炉床炉 2 0 の寿命を大きく延ばすことができることに加え、回転炉床炉 2 0 の操業中の不具合も大幅に減らすことができる。

10

【0099】

本実施の形態では、還元処理工程 S 3 における反応が理想的に進行した場合、還元処理工程 S 3 を行った後の混合物は、メタルとスラグとの混在物になる。このとき、大きな塊のメタルが形成されることで、還元炉から回収する際における回収の手間を低減させることができ、また、メタル回収率の低下を抑えることができる。

【0100】

<4. 分離工程>

20

分離工程 S 4 では、還元処理工程 S 3 にて生成した還元物から、メタル（フェロニッケルメタル）を分離して回収する。具体的には、混合物を還元加熱処理することによって得られた、メタル相（メタル固相）とスラグ相（スラグ固相）とを含む混在物（還元物）から、メタル相を分離して回収する。

【0101】

固体として得られたメタル相とスラグ相との混在物からメタル相とスラグ相とを分離する方法としては、例えば、篩い分けによる不要物の除去に加えて、比重による分離や、磁力による分離等の方法を利用することができる。また、得られたメタル相とスラグ相は、濡れ性が悪いことから容易に分離することができ、上述した大きな混在物に対して、例えば、所定の落差を設けて落下させ、あるいは篩い分けの際に所定の振動を与える等の衝撃を付与することで、その混在物から、メタル相とスラグ相とを容易に分離することができる。

30

【0102】

このようにしてメタル相とスラグ相とを分離することによって、メタル相を回収し、フェロニッケルの製品とすることができる。

【実施例】

【0103】

以下、本発明の実施例を示してより具体的に説明するが、本発明は以下の実施例に何ら限定されるものではない。

【0104】

40

[混合処理工程]

実施例 1～12、比較例 1～4 の各試料について、原料鉱石としてのニッケル酸化鉱石と、鉄鉱石と、フラックス成分である珪砂及び石灰石、バインダー、及び炭素質還元剤（石炭粉）を、適量の水を添加しながら混合機を用いて混合した。

【0105】

このうち、炭素質還元剤としては、粒子（還元剤粒子）によって構成され、且つ、還元剤粒子の総数に対する最大長さが 25 μm 以下の還元剤粒子の割合と、最大長さが 25 μm を超える還元剤粒子についての平均最大粒子長の値が、表 4 に記載される数値にあるものを用いた。また、炭素質還元剤の含有量は、原料鉱石であるニッケル酸化鉱石に含まれる酸化ニッケルと酸化鉄（Fe₂O₃）とを過不足なく還元するのに必要な量を 100 質

50

量%としたときに、31質量%になるようにした。

【0106】

なお、表4に記載される平均最大粒子長は、金属顕微鏡を用いて、最大長さが25 μmを超えるものの中から無作為に選定し測定した還元剤粒子300個の最大粒子長の平均値より求めた。

【0107】

そして、混合機を用いて原料を混合した後、二軸混練機を用いて原料を混練することで、混合物を得た。

【0108】

[前処理工程]

混合処理によって得られる混合物に対して、パン型造粒機を用いてφ18±1.2mmの球形状のペレットに成形することで塊状化した後、固形分が70重量%程度、水分が30重量%程度となるように、200℃～250℃の熱風を吹き付けて乾燥処理を施した。下記表3に、乾燥処理後の混合物（ペレット）の固形分組成（炭素を除く）を示す。

【0109】

【表3】

乾燥後のペレット固形分の組成 [質量%]						
Ni	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	その他
1.6	53.3	14.0	5.4	3.2	5.7	バインダー、炭素質還元剤

【0110】

[還元処理工程]

前処理を行った後のペレットを、実質的に酸素を含まない窒素雰囲気にした、回転炉床炉を有する還元炉に各々装入した。還元炉としては、図4に示すように、炉床が回転移動する領域を4分割するように4つの処理室23～26を備えた回転炉床炉20を有するものを用いた。この還元炉2では、乾燥室21が回転炉床炉20の処理室23に接続されており、また、外部冷却室27が回転炉床炉20の処理室26に接続されている。

【0111】

そして、回転炉床炉20の炉外に接続された乾燥室21にペレットを装入して乾燥処理を施した後、乾燥室21に連続して回転炉床炉20の中に設けられた、予熱室である処理室23に移行させ、予熱室内の温度を700℃以上1280℃以下の範囲に保持して、ペレットに対して予熱処理を行った。

【0112】

続いて、予熱処理後のペレットを、回転炉床炉20の中で処理室24に移行させて、表4に示す温度及び時間で還元処理を行った。

【0113】

還元処理を経て得られたペレットの還元物は、表4に示す還元温度と同じ温度に維持された温度保持室である処理室25と、冷却室である処理室26との順に移行させ、次いで、回転炉床炉20に接続された外部冷却室27に移行させ、窒素を流しながら速やかに室温まで冷却して大気中へ取り出した。なお、還元物の回転炉床炉20からの回収は、還元物を外部冷却室27に移行させる際に行い、外部冷却室27に設置したガイドに還元物を沿わせるようにして回収した。

【0114】

また、還元加熱処理後の各試料について、ニッケルメタル化率、メタル中ニッケル含有率を、ICP発光分光分析器（SHIMADZU S-8100型）により分析して算出した。

【0115】

ニッケルメタル化率、メタル中のニッケル含有率は、以下の式により算出した。

ニッケルメタル化率＝

ペレット中のメタル化したNi量÷（ペレット中の全てのNi量）×100（％）

メタル中のニッケル含有率＝

ペレット中のメタル化したNi量÷（ペレット中のメタル化したNiとFeの合計量）×100（％）

【0116】

下記表4に、実施例1～12、比較例1～4の各試料より得られたメタルのニッケルメタル化率、メタル中ニッケル含有率を示す。

【0117】

【表4】

試料 No.	最大長さが25 μ m 以下の還元剤粒子 の割合[%]	最大粒子長が 25 μ mを超える 還元剤粒子の 平均最大粒子長 [μ m]	還元 温度 [°C]	還元 時間 [分]	Niメタル 化率 [%]	メタル中 Ni含有率 [%]
実施例 1	2.1	50.7	1300	35	98.6	18.2
実施例 2	12.3	50.2	1300	35	99.5	19.2
実施例 3	24.8	50.5	1300	35	98.5	18.5
実施例 4	2.3	50.1	1400	15	99.1	18.8
実施例 5	12.7	50.3	1400	15	99.6	19.3
実施例 6	24.5	50.8	1400	15	98.7	18.8
実施例 7	12.5	30.3	1300	35	99.1	19.2
実施例 8	12.9	50.6	1300	35	99.1	19.6
実施例 9	12.2	79.3	1300	35	98.3	18.6
実施例 10	12.3	30.2	1400	15	99.2	19.5
実施例 11	12.6	50.6	1400	15	99.8	19.8
実施例 12	12.8	78.8	1400	15	98.4	18.3
比較例 1	0.5	50.1	1300	35	90.6	15.3
比較例 2	35.6	50.4	1300	35	82.3	14.5
比較例 3	12.4	27.3	1300	35	80.8	14.8
比較例 4	12.1	125.8	1300	35	78.6	11.3

【0118】

表4の結果に示されるように、炭素質還元剤として、粒子（還元剤粒子）によって構成

10

20

30

40

50

され、最大粒子長が25 μm以下の還元剤粒子の数が炭素質還元剤の還元剤粒子の総数に対して2%以上25%以下であり、且つ、最大粒子長が25 μmを超える還元剤粒子についての平均最大粒子長が30 μm以上80 μm以下であるものを用いることで、ニッケルメタル化率は98.3%以上と高く、メタル中のニッケル含有量も18.2%以上と高い、高品位のフェロニッケルを製造することができることが分かった（実施例1～実施例12）。特に、最大粒子長が25 μmを超える還元剤粒子についての平均最大粒子長が60 μm以下である実施例1～8、10、11では、ニッケルメタル化率は98.5%以上と高い、より高品位のフェロニッケルを製造することができることが分かった。

【0119】

このように、高品位のフェロニッケルを製造することができた理由として、微細な炭素質還元剤を含有させることで、混合物における凝集や偏在が抑制されるため、ニッケル酸化鉱石と炭素質還元剤との接触面積や、混合物の均一性が高まり、それにより均一であり且つ効率的な精錬処理を行えるようになったことが考えられる。

10

【0120】

これに対して、比較例1～比較例2の結果に示されるように、最大粒子長が25 μm以下の還元剤粒子の数を2%未満にし（比較例1）、又は25%を超えた場合（比較例2）、ニッケルメタル化率は高くても90.6%であり、メタル中ニッケル含有量は高くても15.3%であり、実施例と比較して低い値であった。

【0121】

また、比較例3～比較例4の結果に示されるように、最大粒子長が25 μmを超える還元剤粒子の平均最大粒子長が30 μm未満の場合（比較例3）や、80 μmを超えた場合（比較例4）には、ニッケルメタル化率は高くても80.8%であり、メタル中ニッケル含有量は高くても14.8%であり、実施例と比較して低い値であった。

20

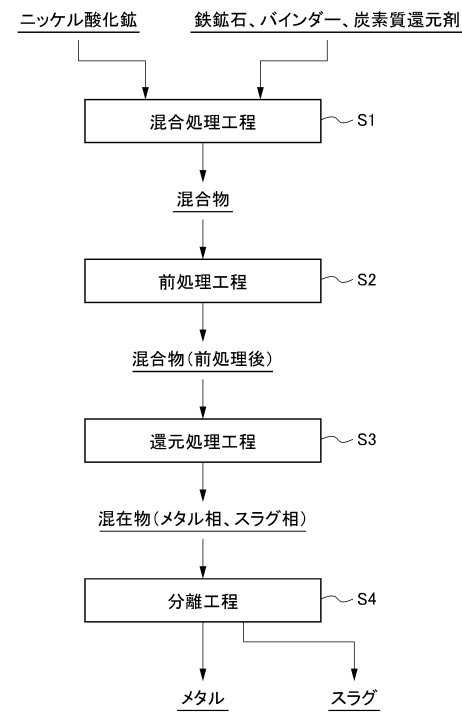
【符号の説明】

【0122】

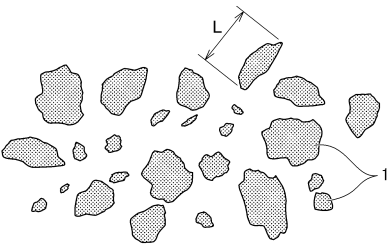
- 1 還元剤粒子
- 10 混合物
- 2 還元炉
- 20 回転炉床炉
- 21 乾燥室
- 23～26 処理室
- 27 外部冷却室

30

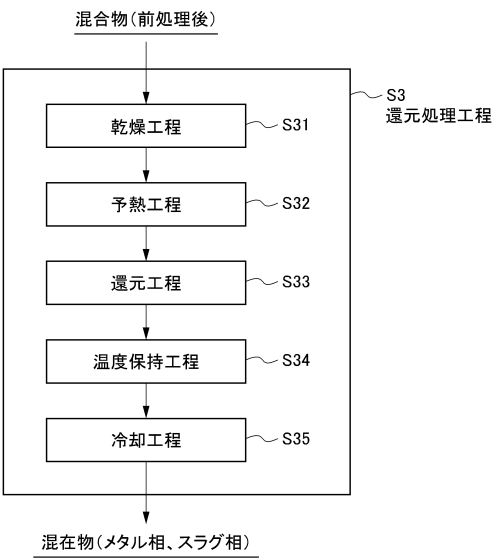
【図 1】



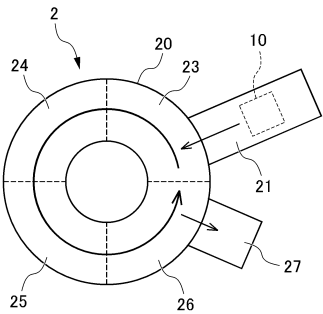
【図 2】



【図 3】



【図 4】



フロントページの続き

- (72)発明者 小林 純一
愛媛県新居浜市磯浦町17-5 住友金属鉱山株式会社 新居浜研究所内
- (72)発明者 岡田 修二
愛媛県新居浜市磯浦町17-5 住友金属鉱山株式会社 新居浜研究所内

審査官 坂口 岳志

- (56)参考文献 特開2017-052994 (JP, A)
特開昭48-045418 (JP, A)
国際公開第2016/190023 (WO, A1)
特開昭53-043027 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
C22B 1/00-61/00
C22C 33/04