



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) Veröffentlichungsnummer : **0 117 928 B1**

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag der Patentschrift :
10.09.86

(51) Int. Cl.⁴ : C 21 C 5/52, C 21 B 13/14

(21) Anmeldenummer : 83201854.3

(22) Anmeldetag : 29.12.83

(54) Verfahren zur Erzeugung von Stahl durch Einschmelzen von Eisenschwamm im Lichtbogenofen.

(30) Priorität : 13.01.83 DE 3300867

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung :
12.09.84 Patentblatt 84/37

(45) Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung : 10.09.86 Patentblatt 86/37

(84) Benannte Vertragsstaaten :
DE FR GB IT

(56) Entgegenhaltungen :
EP-A- 0 062 363
AT-B- 336 052
BE-A- 503 611
DE-A- 2 127 847
DE-A- 2 628 972
DE-A- 2 841 697
FR-A- 2 353 332
US-A- 3 891 427
US-A- 3 985 544
US-A- 4 111 158

(73) Patentinhaber : METALLGESELLSCHAFT AG
Reuterweg 14 Postfach 3724
D-6000 Frankfurt/M.1 (DE)

MANNESMANN Aktiengesellschaft
Mannesmannufer 2
D-4000 Düsseldorf 1 (DE)

(72) Erfinder : Formanek, Lothar
Libellenweg 67
D-6000 Frankfurt am Main 70 (DE)
Erfinder : Hirsch, Martin
Römer Strasse 7
D-6382 Friedrichsdorf (DE)
Erfinder : Schnabel, Wolfram, Dr.
Thomas-Mann-Strasse 7
D-6270 Idstein (DE)
Erfinder : Serbent, Harry, Dr.
Gustav-Hoch-Strasse 5d
D-6450 Hanau am Main (DE)
Erfinder : Arit, Detmar
Nahestrasse 22
D-4100 Duisburg (DE)
Erfinder : Fritzsche, Klaus-Dietrich
Brücktorstrasse 49
D-4200 Oberhausen (DE)
Erfinder : Koenig, Heribert
Kardinal-Galen-Strasse 93
D-4100 Duisburg (DE)

(74) Vertreter : Rieger, Harald
Reuterweg 14
D-6000 Frankfurt a.M. (DE)

EP 0 117 928 B1

Anmerkung : Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erzeugung von Stahl durch Einschmelzen von Eisenschwamm im Lichtbogenofen, wobei der Eisenschwamm durch Direktreduktion erzeugt wird.

Bekanntlich ergeben sich Schwierigkeiten, wenn ein Lichtbogenofen ausschließlich mit Eisenschwamm beschickt wird. Dies beruht auf der geringen Dichte und schlechten Leitfähigkeit des Eisenschwamms. Dennoch wird angestrebt, im Lichtbogenofen überwiegend Eisenschwamm einzusetzen. Hier ist es vorteilhaft, die sogenannte Sumpf-Fahrweise anzuwenden, die darin besteht, daß der Eisenschwamm auf bereits im Ofen befindliches flüssiges, kohlenstoffhaltiges Eisen (hot metal) chargiert wird, wobei die weitere Energiezufuhr im wesentlichen über das flüssige Bad erfolgt.

Bei der Sumpf-Fahrweise muß aber dennoch der Lichtbogenofen alle zwei bis drei Chargen vollständig entleert werden, um die Zustellung auszubessern. Auf diese Weise ist kein unterbrechungsfreier Ofenbetrieb mit Sumpf möglich; vielmehr muß nach dem jeweiligen Entleeren wieder ein Sumpf erzeugt werden, so daß die Vorteile dieser Betriebsweise nur unvollkommen genutzt werden können, wenn kein flüssiges Eisen aus anderer Quelle, vorzugsweise dem Hochofen, zur Verfügung steht. Gerade dieser ist aber in einem Eisenschwamm verarbeitenden Betrieb nicht vorhanden.

Der Lichtbogenofenbetrieb ist außerdem aufgrund seiner charakteristischen und darüber hinaus diskontinuierlichen Arbeitsweise zwangsläufig mit stark schwankender Energieabnahme verbunden. Diese Schwankungen erstrecken sich sowohl auf den zeitlichen Ablauf als auch auf die absolute Höhe der Energieabnahme. Für den Anschluß eines Lichtbogenofens ist ein elektrisches Netz erforderlich, da so stark ist, daß die Rückwirkung — durch den Ofenbetrieb bedingt — die maximal zulässigen Grenzwerte nicht überschreitet.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zu schaffen, das es erlaubt, die vorteilhafte Betriebsweise des Lichtbogenofens mit Sumpf dadurch zu ermöglichen, daß man für die ausreichende Verfügbarkeit von sogenanntem « hot metal » und dabei gleichzeitig für eine größtmögliche Wirtschaftlichkeit des Verfahrensablaufs sorgt.

Diese Aufgabe löst die Erfindung dadurch, daß der Eisenschwamm auf einem Bad aus flüssigem, kohlenstoffhaltigem Eisen im Lichtbogenofen umgesetzt wird, wobei das flüssige, kohlenstoffhaltige Eisen (hot metal) ebenfalls aus Eisenschwamm oder vorreduziertem Erz in einem Elektroreduktionsofen erzeugt wird, der in Abhängigkeit von den durch den Lichtbogenofen bedingten elektrischen Lastaufnahme-Schwankungen so geregelt wird, daß eine praktisch gleichbleibende Belastung des elektrischen Netzes resultiert.

Das erfindungsgemäße Verfahren erzielt somit durch die Kombination einer Verfahrensstufe, in der das für den Sumpf im Lichtbogenofen erforderliche kohlenstoffhaltige Eisen gewonnen wird — und zwar vorzugsweise aus dem gleichen Vormaterial, wie es auch im Lichtbogenofen verwendet wird — mit dem Erschmelzen des Eisenschwamms im Lichtbogenofen eine Gesamtwirkung, die über die Summe der in den Verfahrensabschnitten ablaufenden Einzelvorgänge hinausgeht, weil auf überraschend einfache Weise gleichzeitig mit der Verbesserung des Einschmelzvorganges die Belastung des elektrischen Netzes weitgehend gleichmäßig wird.

Unter dem Ausdruck « Lichtbogenofen » sind direktbeheizte Lichtbogenöfen zu verstehen, bei denen die Beheizung durch zwischen den Elektroden und dem metallischen Einsatz bzw. dem Stahlbad brennende elektrische Lichtbögen erfolgt (direct arc furnace). Unter dem Ausdruck « Elektroreduktionsofen » sind Öfen zu verstehen, bei denen die Elektroden entweder in ein offenes Schlackenbad oder in eine stehende Möller-Säule eintauchen und in denen der Energieumsatz vorzugsweise durch Widerstandserwärmung erfolgt (submerged arc furnace). Diese Öfen sind für Reduktionsarbeit, auch mit offenem Schlackenbad, gut geeignet. Sie erzeugen aus Eisenschwamm und zugesetzten Kohlenstoffträgern kohlenstoffhaltiges Eisen, das in den Lichtbogenofen als Sumpf eingesetzt wird. Die Elektroreduktionsofen können mit variabler Leistungsaufnahme betrieben werden.

In vorteilhafter weiterer Ausgestaltung der Erfindung wird vorgeschlagen, daß die bei der Direktreduktion im Abgas anfallende Abwärme sowie die bei oder Direktreduktion und/oder für die Direktreduktion anfallenden Energieträger zur Erzeugung von elektrischer Energie zur Deckung des Energiebedarfs des Elektroreduktionsofen- und Lichtbogenofen-Verbundes verwendet werden. Energieträger können bei der Direktreduktion anfallende überschüssige feste, kohlenstoffhaltige Materialien oder brennbare Gase oder bei der Herstellung des reduzierenden Mediums für die Direktreduktion anfallende überschüssige, brennbare Gase oder feste, kohlenstoffhaltige Materialien sein.

Eine vorteilhafte Ausgestaltung besteht darin, daß die Menge und die Analyse des in den Lichtbogenofen als Sumpf eingesetzten kohlenstoffhaltigen Eisens so gewählt wird, daß während des Chargierens von Eisenschwamm in den Lichtbogenofen die Gesamtkohlenstoffbilanz ausgeglichen wird, wobei die Wirkleistung des Lichtbogenofens so geregelt wird, daß sich der Lichtbogenofen im für das Einschmelzen von Eisenschwamm notwendigen thermischen Gleichgewicht befindet. Thermisches Gleichgewicht bedeutet, daß keine Überhitzung und kein Einfrieren erfolgt.

Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung besteht darin, daß Eisenschwamm mit geringerem Metallisationsgrad überwiegend zur Herstellung von flüssigem, kohlenstoffhaltigem Eisen (hot metal) im Elektroreduktionsofen verwendet wird.

Eine vorteilhafte Ausgestaltung besteht darin, daß das aus dem Austrag der Direktreduktion mit festen kohlenstoffhaltigen Reduktionsmitteln abgetrennte überschüssige kohlenstoffhaltige Material mindestens teilweise in einem Verbrennungsaggregat unter Zusatz von sauerstoffhaltigen Gasen verbrannt wird, die heißen Verbrennungsgase und das Abgas der Direktreduktion zur Erzeugung von elektrischer Energie verwendet werden, wobei die Menge der erzeugten elektrischen Energie so geregelt wird, daß diese mindestens dem maximalen Energiebedarf des Lichtbogenofens zuzüglich dem minimalen Energiebedarf des Elektroreduktionsofens entspricht, und daß die vom Lichtbogenofen jeweils nicht benötigte Energie im Elektroreduktionsofen umgesetzt wird. Das überschüssige kohlenstoffhaltige Material wird ganz verbrannt, wenn seine Qualität für einen Einsatz in den Elektroreduktionsofen nicht geeignet ist oder ein Zusatz dort nicht erforderlich ist. Unter einer guten Qualität ist zu verstehen, daß der Gehalt an Asche und Schwefel relativ niedrig ist und die Asche basisch ist. Es ist auch möglich, das abgetrennte Kohlenstoffhaltige Material aufzubereiten und dann die Fraktion mit guter Qualität in den Elektroreduktionsofen und die Fraktion mit schlechter Qualität in die Verbrennung einzusetzen. Der minimale Energiebedarf des Elektroreduktionsofens ist die Warmhalteleistung.

Die fühlbare Wärme der heißen Verbrennungsgase und der Abgase der Direktreduktion werden zur Dampferzeugung ausgenutzt, und der Dampf treibt über Dampfturbinen einen Generator zur Stromerzeugung an. Zweckmäßigerweise werden die heißen Verbrennungsgase und die Abgase der Direktreduktion getrennt in separate Dampferzeuger und die Dampfströme in separate Turbinen geleitet. Dadurch kann die Turbine für den Dampf des Abgases der Direktreduktion immer im optimalen Bereich gefahren werden, und es ist eine bessere Ausnutzung und Regelung möglich. Die Menge der erzeugten elektrischen Energie muß dem maximalen Energiebedarf des Lichtbogenofens zuzüglich dem minimalen Energiebedarf des Elektroreduktionsofens entsprechen. Es kann auch mehr elektrische Energie für andere Zwecke des eigenen Betriebes erzeugt werden, wobei diese Mehrerzeugung dann aber nicht in die Regelung der Stromverteilung einbezogen wird. Die elektrische Energie wird so verteilt, daß der Energiebedarf des Lichtbogenofens immer gedeckt wird, d. h. wenn er hohen Energiebedarf hat, erhält der Elektroreduktionsofen weniger elektrische Energie, und wenn der Lichtbogenofen abgeschaltet ist, erhält der Elektroreduktionsofen mehr Energie.

Die Aufteilung des Eisenschwammes erfolgt so, daß im Elektroreduktionsofen die für die Stahlherstellung im Lichtbogenofen erforderliche Menge an kohlenstoffhaltigem Eisen (hot metal) anfällt.

Der Eisenschwamm kann nach einer Heißabsiebung heiß in die Schmelzöfen eingesetzt werden. Die Verbrennung des überschüssigen kohlenstoffhaltigen Materials kann in Wirbelschichtapparaten oder Staubfeuerungen, wie z. B. Zyklonfeuerungen, erfolgen.

Eine vorzugsweise Ausgestaltung besteht darin, daß das Abgas der Direktreduktion vor dem Einsatz in die elektrische Energieerzeugung nachverbrannt wird. Dadurch wird einerseits auch der latente Wärmeinhalt des Abgases verwertet und andererseits wird, insbesondere bei höheren Gehalten an brennbaren gasförmigen und festen Bestandteilen, eine unkontrollierte Verbrennung vermieden.

Eine vorzugsweise Ausgestaltung besteht darin, daß in das Verbrennungsaggregat weiteres brennbares Material chargiert wird. Dadurch kann auch bei zu geringer Wärme im Abgas und den heißen Verbrennungsgasen des überschüssigen kohlenstoffhaltigen Materials ein autarker Betrieb durchgeführt werden.

Eine vorzugsweise Ausgestaltung besteht darin, daß das Verbrennungsaggregat eine zirkulierende Wirbelschicht ist. Die zirkulierende Wirbelschicht arbeitet ohne Sprung in der Materialdichte zwischen dichter Phase und darüber befindlichem Staubraum. Die Feststoffkonzentration nimmt von unten nach oben ständig ab.

Bei der Definition der Betriebsbedingungen über die Kennzahlen von Froude und Archimedes ergeben sich die Bereiche :

$$0,1 \leq 3/4 \cdot Fr^2 \cdot \frac{\rho_g}{\rho_k - \rho_g} \leq 10,$$

bzw.

$$0,01 \leq Ar \leq 100,$$

wobei

$$Ar = \frac{d_k^3 \cdot g(\rho_k - \rho_g)}{\rho_g \cdot v^2} \quad \text{und}$$

$$Fr^2 = \frac{u^2}{g \cdot d_k}$$

sind.

Es bedeuten :

u die relative Gasgeschwindigkeit in m/sec.

Ar die Archimedes-Zahl

Fr die Froude-Zahl

- ρ_g die Dichte des Gases in kg/m^3
 ρ_k die Dichte des Feststoffteilchens in kg/m^3
 d_k den Durchmesser des kugelförmigen Teilchens in m
 ν die kinematische Zähigkeit in m^2/sec .
5 g die Gravitationskonstante in m/sec^2 .

Solche Verfahren, die besonders für die Verbrennung des überschüssigen kohlenstoffhaltiges Material geeignet sind, sind beschrieben in der DE-AS 25 39 546, US-PS 41 65 717, DE-OS 26 24 302, US-PS 4 111 158.

- 10 Eine vorzugsweise Ausgestaltung besteht darin, daß durch separate Schwelung und/oder Teilvergasung von festem, kohlenstoffhaltigem Material ein brennbares Gas erzeugt wird, das brennbare Gas zur Erzeugung von elektrischer Energie verwendet wird und das geschwelte feste, kohlenstoffhaltige Material in die Direktreduktion und/oder den Elektroreduktionsofen und/oder das Verbrennungsaggregat eingesetzt wird. Die Direktreduktion wird durch den Einsatz von abgeschweltem, kohlenstoffhaltigem
15 Material auf der Abgasseite entlastet und ihre Durchsatzleistung gesteigert. Da die Abgase der Direktreduktion weniger brennbare gasförmige Bestandteile enthalten, wird weniger elektrische Energie durch das Abgas erzeugt, d. h. die nicht regelbare Grundlast wird kleiner und die Regelmöglichkeit der durch die Verbrennung erzeugten elektrischen Energie wird größer. Ein Teil des geschwelten, kohlenstoffhaltigen Materials oder gegebenenfalls alles kann in das Verbrennungsaggregat geleitet werden, so
20 daß die in die Direktreduktion chargierte Menge ebenfalls weitgehend flexibel ist. Die Erzeugung der elektrischen Energie durch die brennbaren Gase ist sehr flexibel. Ein Teil des brennbaren Gases kann auch für andere Zwecke im eigenen Betrieb verwendet werden.

- Eine vorzugsweise Ausgestaltung besteht darin, daß die Schwelung und/oder Teilvergasung in einer zirkulierenden Wirbelschicht erfolgt. Die zirkulierende Wirbelschicht ist sehr gut geeignet und flexibel zu betreiben. Ein besonderes geeignetes Verfahren ist in der EP -A- 0 062 363 beschrieben. Wenn das
25 geschwelte kohlenstoffhaltige Material aus der Vergasungsstufe in die Direktreduktion eingesetzt wird, erfolgt keine Chargierung in die Verbrennungsstufe.

- Eine vorzugsweise Ausgestaltung besteht darin, daß brennbares Gas in einem Gasspeicher gespeichert und bei Bedarf zur Erzeugung von elektrischer Energie entnommen wird. Durch diese
30 Speicherung wird eine sehr gute Flexibilität erzielt, und auch insbesondere für den Anfahr- und Abfahrbetrieb werden Reserven geschaffen.

Eine vorzugsweise Ausgestaltung besteht darin, daß das brennbare Gas unter Verwendung einer Gasturbine zur Erzeugung elektrischer Energie verwendet wird. Mit einer Gasturbine ist eine sehr schnelle Regelung der erzeugten Energiemenge möglich.

- 35 Eine vorzugsweise Ausgestaltung besteht darin, daß backende Kohlen in die zirkulierende Wirbelschicht eingesetzt werden. Dadurch ist ohne zusätzlichen Aufwand die Verwendung dieser Kohlen möglich, die nicht direkt in die Direktreduktion eingesetzt werden können.

- Eine Ausgestaltung besteht darin, daß das aus dem Austrag der Direktreduktion abgetrennte überschüssige kohlenstoffhaltige Material in den Elektroreduktionsofen eingesetzt wird, zusätzliche
40 Energieträger in einem Verbrennungsaggregat unter Zusatz von sauerstoffhaltigen Gasen verbrannt werden, die heißen Verbrennungsgase und das Abgas der Direktreduktion zur Erzeugung von elektrischer Energie verwendet werden, wobei die Menge der erzeugten elektrischen Energie so geregelt wird, daß diese mindestens dem maximalen Energieverbrauch des Lichtbogenofens zuzüglich dem minimalen Energiebedarf des Elektroreduktionsofens entspricht, und daß die vom Lichtbogenofen jeweils nicht
45 benötigte Energie im Elektroreduktionsofen umgesetzt wird. Die vollständige Zugabe des abgetrennten überschüssigen Kohlenstoffs in den Elektroreduktionsofen erfolgt dann, wenn dieser Kohlenstoff eine gute Qualität hat und er im Elektroreduktionsofen benötigt wird.

- Eine vorzugsweise Ausgestaltung besteht darin, daß die Direktreduktion in einem Drehrohrofen durchgeführt wird. Die als Reduktionsmittel verwendeten Kohlen enthalten meistens höhere Gehalte an
50 flüchtigen Bestandteilen, wie z. B. Braunkohlen, und weisen eine hohe Reaktivität auf.

Die Erfindung wird anhand von Abbildungen näher erläutert.

- Wie Figur 1 zeigt, wird in den Drehrohrofen 1 Eisenerz 2 chargiert und zu Eisenschwamm reduziert. Das Austragsmaterial 3 wird in einer Trennstufe 4 in Eisenschwamm 5 und überschüssiges kohlenstoffhaltiges Material getrennt, von dem ein Teil 6a in den Elektroreduktionsofen 7 und der andere Teil 6b in
55 die zirkulierende Wirbelschicht 8 geleitet und mittels Luft 9 verbrannt wird. Das heiße Verbrennungsgas 10 wird in den Dampferzeuger 11 geleitet. Mit dem Dampf 12 wird ein Generator 13 angetrieben. Die erzeugte elektrische Energie wird über Leitung 14 dem Elektroreduktionsofen 7 und dem Lichtbogenofen 16 zugeführt. Das Abgas 17 des Drehrohrofens 1 wird in einer Nachverbrennungskammer 18 unter Zusatz von Luft 19 nachverbrannt. Das heiße Gas 20 wird in den Dampferzeuger 21 geleitet. Mit dem Dampf 22
60 wird ein Generator 23 angetrieben. Die erzeugte elektrische Energie wird über Leitung 24 in die Leitung 14 eingespeist. Der Eisenschwamm 5 wird zu einem Teil 5a in den Elektroreduktionsofen 7 und zu einem anderen Teil 5b in den Lichtbogenofen 16 chargiert. Das im Elektroreduktionsofen 7 erzeugte Roheisen wird in den Lichtbogenofen 16 chargiert, aus dem der Stahl 25 abgezogen wird. Dem Lichtbogenofen 16 wird über Leitung 14a immer so viel elektrische Energie zugeführt, wie er benötigt. Die restliche
65 elektrische Energie wird über Leitung 14b in den Elektroreduktionsofen 7 geleitet.

Der Drehrohrofen 1 kann mit Kohle mit hohem Anteil an flüchtigen Bestandteilen betrieben werden, die über 26 in das Beschickungsende chargiert werden und zum Teil von der Einblasvorrichtung 27 in das Austragsende eingeblasen werden. In diesem Fall enthält das Abgas 17 höhere Anteile an brennbaren gasförmigen Bestandteilen und die erzeugte Menge an elektrischer Energie in 24 ist entsprechend groß.

5 In der zirkulierenden Wirbelschicht 28 kann zusätzlich Kohle 29 mit sauerstoffhaltigen Gasen 30 abgeschwelt und teilverbrannt werden. Das brennbare Gas 31 wird in einer Gasturbine 32, die einen Generator 33 antreibt, verbrannt. Die erzeugte elektrische Energie wird über Leitung 34 in die Leitung 14 eingespeist. Das geschwelte kohlenstoffhaltige Material wird aus der Wirbelschicht 28 über Leitung 35 in den Drehrohrofen 1 chargiert. In diesem Falle wird keine Kohle mit hohem Anteil an flüchtigen Bestandteilen in den Drehrohrofen chargiert und das Abgas 17 enthält nur geringe Anteile an brennbaren, gasförmigen Bestandteilen. Die erzeugte Menge an elektrischer Energie in 24 ist entsprechend geringer.

Die Erzeugung der elektrischen Energie kann durch Zugabe von Kohle 36 in die Wirbelschicht 8 vergrößert werden. Ein Teil des geschwelten kohlenstoffhaltigen Materials aus der Wirbelschicht 28 kann über Leitung 37 in die Wirbelschicht 8 geführt werden.

15 Über Leitung 40 kann konstant erzeugter überschüssiger Strom für andere Verbraucher des Betriebes entnommen werden.

Im Gasspeicher 38 wird brennbares Gas gespeichert und bei Bedarf abgezogen. Über Leitung 39 kann brennbares Gas für den Betrieb entnommen werden, wenn diese Menge bei der Erzeugung eingeplant ist.

20 Über Leitung 41 können in den Elektroreduktionsofen 7 Erz und Zuschläge chargiert werden.

Beim Betrieb des Lichtbogenofens wird das im Elektroreduktionsofen erzeugte flüssige, kohlenstoffhaltige Eisen hinsichtlich Menge und Analyse — hauptsächlich Kohlenstoff — so eingestellt, daß die Gesamtkohlenstoffbilanz beim Chargieren des Eisenschwamms ausgeglichen wird. Falls, z. B. durch einen Fehler bei der Eisenschwammerzeugung, Eisenschwamm von geringerem Metallisierungsgrad, z. B. anstatt 92 % nur 85 %, anfällt, kann dieser dennoch verarbeitet werden. Allerdings darf der zu gering metallisierte Eisenschwamm nur zum Chargieren des Elektroreduktionsofens verwendet werden. Es ist also möglich, das Verfahren auch mit Eisenschwamm unterschiedlichen Metallisierungsgrades zu betreiben.

30 Der im Dampferzeuger 11 erzeugte Dampf kann auch über Leitung 12a zum Dampferzeuger 21 geleitet werden.

Fig. 2 zeigt ein typisches Belastungsdiagramm für drei Lichtbogenöfen und zwei Elektroreduktionsöfen, die im Verbundbetrieb arbeiten. Auf der x-Achse ist die Zeit in Minuten und auf der y-Achse die Wirkleistung in Megawatt aufgetragen. Die punktierte Kurve zeigt die Summe der zeitlichen Wirkleistungen der Elektroreduktionsöfen, die gestrichelte Kurve die Summe der zeitlichen Wirkleistungen der Lichtbogenöfen und die ausgezogene Kurve die Summe der zeitlichen Wirkleistungen aller Schmelzöfen. Das Diagramm gibt den Ablauf von typischen Arbeitszyklen wieder. Insbesondere läßt sich entnehmen, daß die Summe der Wirkleistungen aller Schmelzöfen verhältnismäßig konstant verläuft, obgleich die Lichtbogenöfen sehr große Stromaufnahmeschwankungen aufweisen.

40 Die Vorteile der Erfindung bestehen darin, daß das gesamte Schmelzverfahren unabhängig von der Leistungsfähigkeit des zur Verfügung stehenden öffentlichen Versorgungsnetzes durchgeführt werden kann, daß der Betrieb mit minimalem Energiebedarf je Tonne Stahl erfolgt, die Abwärme der den Eisenschwamm erzeugenden Direktreduktion optimal genutzt wird und das überschüssige kohlenstoffhaltige Material des Austrags der Direktreduktion und möglicherweise zusätzlich eingesetzte Kohle umweltfreundlich durch Zusatz von Kalkstein unter Anfall eines deponiefähigen CaSO_4 -haltigen Rückstandes verbrannt werden kann.

Patentansprüche

50 1. Verfahren zur Erzeugung von Stahl durch Einschmelzen von Eisenschwamm im Lichtbogenofen, wobei der Eisenschwamm durch Direktreduktion erzeugt wird, dadurch gekennzeichnet, daß der Eisenschwamm auf einem Bad aus flüssigen kohlenstoffhaltigem Eisen im Lichtbogenofen umgesetzt wird, wobei das flüssige kohlenstoffhaltige Eisen ebenfalls aus Eisenschwamm oder vorreduziertem Erz in einem Elektroreduktionsofen erzeugt wird, der in Abhängigkeit von den durch den Lichtbogenofen bedingten elektrischen Lastaufnahme-Schwankungen so geregelt wird, daß eine praktisch gleichbleibende Belastung des elektrischen Netzes resultiert.

55 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die bei der Direktreduktion im Abgas anfallende Abwärme sowie die bei der Direktreduktion und/oder für die Direktreduktion anfallenden Energieträger zur Erzeugung von elektrischer Energie zur Deckung des Energiebedarfs des Elektroreduktionsofen- und Lichtbogenofen-Verbundes verwendet wird.

60 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Menge und die Analyse des in den Lichtbogenofen als Sumpf eingesetzten kohlenstoffhaltigen Eisens so gewählt wird, daß während des Chargierens von Eisenschwamm in den Lichtbogenofen die Gesamtkohlenstoffbilanz ausgeglichen wird, wobei die Wirkleistung des Lichtbogenofens so geregelt wird, daß sich der Lichtbogenofen im für das Einschmelzen von Eisenschwamm notwendigen thermischen Gleichgewicht befindet.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß Eisenschwamm mit geringerem Metallisationsgrad überwiegend zur Herstellung von flüssigem, kohlenstoffhaltigem Eisen (hot metal) im Elektroreduktionsofen verwendet wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß das aus dem Austrag der Direktreduktion mit festen kohlenstoffhaltigen Reduktionsmitteln abgetrennte überschüssige kohlenstoffhaltige Material mindestens teilweise in einem Verbrennungsaggregat unter Zusatz von sauerstoffhaltigen Gasen verbrannt wird, die heißen Verbrennungsgase und das Abgas der Direktreduktion zur Erzeugung von elektrischer Energie verwendet werden, wobei die Menge der erzeugten elektrischen Energie so geregelt wird, daß diese mindestens dem maximalen Energiebedarf des Lichtbogenofens zuzüglich dem minimalen Energiebedarf des Elektroreduktionsofens entspricht, und daß die vom Lichtbogenofen jeweils nicht benötigte Energie im Elektroreduktionsofen umgesetzt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Abgas der Direktreduktion vor dem Einsatz in die elektrische Energieerzeugung nachverbrannt wird.
7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß in das Verbrennungsaggregat weiteres brennbares Material zugeführt wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Verbrennungsaggregat eine zirkulierende Wirbelschicht ist.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß durch separate Schwelung und/oder Teilvergasung von festem kohlenstoffhaltigem Material ein brennbares Gas erzeugt wird, das brennbare Gas zur Erzeugung von elektrischer Energie verwendet wird und das geschwelte feste kohlenstoffhaltige Material in die Direktreduktion und/oder den Elektroreduktionsofen und/oder das Verbrennungsaggregat eingesetzt wird.
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Schwelung und/oder Teilvergasung in einer zirkulierenden Wirbelschicht erfolgt.
11. Verfahren, nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, daß brennbares Gas in einem Gasspeicher gespeichert und bei Bedarf zur Erzeugung von elektrischer Energie entnommen wird.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß das brennbare Gas unter Verwendung einer Gasturbine zur Erzeugung elektrischer Energie verwendet wird.
13. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß backende Kohlen in die zirkulierende Wirbelschicht eingesetzt werden.
14. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß das aus dem Austrag der Direktreduktion abgetrennte überschüssige kohlenstoffhaltige Material in den Elektroreduktionsofen eingesetzt wird, zusätzliche Energieträger in einem Verbrennungsaggregat unter Zusatz von sauerstoffhaltigen Gasen verbrannt werden, die heißen Verbrennungsgase und das Abgas der Direktreduktion zur Erzeugung von elektrischer Energie verwendet werden, wobei die Menge der erzeugten elektrischen Energie so geregelt wird, daß diese mindestens dem maximalen Energieverbrauch des Lichtbogenofens zuzüglich dem minimalen Energiebedarf des Elektroreduktionsofens entspricht, und daß die vom Lichtbogenofen jeweils nicht benötigte Energie im Elektroreduktionsofen umgesetzt wird.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Direktreduktion in einem Drehrohrofen durchgeführt wird.

Claims

1. A process of making steel by melting sponge iron in an electric arc furnace, which sponge iron is produced by direct reduction characterized in that the sponge iron is reacted in an electric arc furnace on a pool of carbon-containing liquid iron, the carbon-containing liquid iron is produced also from sponge iron or from partly reduced ore in an electric reducing furnace, and in dependence on the fluctuations of the electrical load which are due to the operation of the electric arc furnace the operation of said electric reducing furnace is so controlled that the load on the electric power supply system is virtually stabilized.
2. A process according to claim 1, characterized in that the waste heat which becomes available in the exhaust gas as a result of the direct reduction and the energy carriers which are made available by and/or for the direct reduction are used to produce electric power to be supplied to the system comprising the electric reducing furnace and the electric arc furnace.
3. A process according to claim 1 or 2, characterized in that the quantity and analysis of the carbon-containing liquid iron charged to the electric arc furnace to form the hot metal pool therein are so selected that an overall carbon balance is obtained during the charging of sponge iron to the electric arc furnace, and the active power input to the electric arc furnace is so controlled that the thermal equilibrium required for the melting of sponge iron is maintained in the electric arc furnace.
4. A process according to any of claims 1 to 3, characterized in that sponge iron having a low degree of metallization is used mainly in the electric reducing furnace to produce carbon-containing liquid iron (hot metal).
5. A process according to any of claims 2 to 4, characterized in that surplus carbonaceous solids are separated from the solids produced by a direct reduction process with solid carbonaceous reducing agents, at least part of said surplus carbonaceous solids is burnt in a combustion furnace supplied with

oxygen-containing gases, the hot flue gases produced by said combustion and the exhaust gas from the direct reduction stage are used to generate electric power at a controlled rate, which is at least as high as the sun from the highest power demand of the electric arc furnace plus the lowest power demand of the electric reduction furnace, and power which is not required by the electric arc furnace at a given time is consumed in the electric reducing furnace.

6. A process according to claim 5, characterized in that the exhaust gas from the direct reduction stage is afterburnt before it is used to generate electric power.

7. A process according to claim 5 or 6, characterized in that additional combustible material is supplied to the combustion furnace.

8. A process according to any of claims 5 to 7, characterized in that the combustion furnace comprises a circulating fluidized bed.

9. A process according to any of claims 5 to 8, characterized in that a combustible gas is produced in a separate step by a devolatilization and/or partial gasification of carbonaceous solids and is used to generate electric power, and the devolatilized carbonaceous solids are charged to the direct reduction stage and/or the electric reducing furnace and/or the combustion furnace.

10. A process according to claim 9, characterized in that the devolatilization and/or partial gasification is effected in a circulating fluidized bed.

11. A process according to claim 9 or 10, characterized in that combustible gas is stored in a gas holder and is taken therefrom for the generation of electric power in case of need.

12. A process according to any claims 5 to 11, characterized in that the combustible gas is used in a gas turbine for the generation of electric power.

13. A process according to claim 10, characterized in that caking coal is supplied to the circulating fluidized bed.

14. A process according to claim 2 or 3, characterized in that surplus carbonaceous solids which have been separated from the solids produced by the direct reduction are charged to the electric reducing furnace, additional energy carriers are burnt in a combustion furnace supplied with oxygen-containing gases, the hot flue gases and the exhaust gas from the direct reduction stage are used to generate electric power which is at least as high as the sum of the highest power demand of the electric arc furnace and the lowest power demand of the electric reducing furnace, and power which is not required in the electric arc furnace at a given time is consumed in the electric reducing furnace.

15. A process according to any claims 1 to 14, characterized in that the direct reduction is carried out in a rotary kiln.

35 Revendications

1. Procédé de production d'acier par fusion d'éponge de fer dans le four à arc, l'éponge de fer étant obtenue par réduction directe, caractérisé en ce qu'il consiste à transformer l'éponge de fer dans le four à arc sur un bain de fer liquide contenant du carbone, le fer liquide contenant du carbone étant produit également à partir d'éponge de fer ou de minerai préréduit dans un four électrique de réduction, réglé en fonction des fluctuations de la charge électrique absorbée, dues au four à arc, de manière à ce qu'il en résulte une charge pratiquement constante du réseau électrique.

2. Procédé suivant la revendication 1, caractérisé en ce qu'il consiste à utiliser la chaleur perdue se produisant dans le gaz résiduaire, lors de la réduction directe ainsi que les sources d'énergie se produisant lors de la réduction directe et/ou pour la réduction directe, pour produire de l'énergie électrique en vue de couvrir les besoins en énergie du complexe four électrique de réduction et four à arc.

3. Procédé suivant la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce qu'il consiste à choisir la quantité et l'analyse du fer contenant du carbone mis en œuvre comme puisard dans le four électrique, de manière à équilibrer le bilan global en carbone pendant le chargement de l'éponge de fer dans le four à arc, la puissance réelle du four à arc étant réglée de manière à ce que le four à arc se trouve à l'équilibre thermique nécessaire pour la fusion de l'éponge de fer.

4. Procédé suivant l'une des revendications 1. à 3, caractérisé en ce qu'il consiste à utiliser de l'éponge de fer ayant un degré de métallisation assez faible, principalement pour produire du fer liquide contenant du carbone (hot metal) dans le four électrique de réduction.

5. Procédé suivant l'une des revendications 2 à 4, caractérisé en ce qu'il consiste à faire brûler dans un appareillage de combustion, avec addition de gaz contenant de l'oxygène, au moins une partie de la matière en excès contenant du carbone séparée avec des agents réducteurs solides contenant du carbone, de ce qui est déchargé de la réduction directe, à utiliser les gaz de combustion chauds et le gaz résiduaire de la réduction directe, pour produire de l'énergie électrique, la quantité d'énergie électrique produite étant réglée de manière à correspondre au moins à la somme des besoins maximum en énergie du four à arc et des besoins minimum en énergie du four électrique de réduction, et à envoyer au four électrique de réduction l'énergie qui n'est pas nécessaire au four à arc.

6. Procédé suivant la revendication 5, caractérisé en ce qu'il consiste à effectuer une post-combustion du gaz résiduaire de réduction directe avant l'utilisation à la production électrique d'énergie.

7. Procédé suivant la revendication 5 ou 6, caractérisé en ce qu'il consiste à envoyer dans l'appareillage de combustion une matière combustible supplémentaire.

8. Procédé suivant l'une des revendications 5 à 7, caractérisé en ce que l'appareillage de combustion est un lit fluidisé circulant.

5 9. Procédé suivant l'une des revendications 5 à 8, caractérisé en ce qu'il consiste à produire par distillation distincte et/ou par gazéification partielle de matières solides contenant du carbone, un gaz combustible, à utiliser le gaz combustible pour produire de l'énergie électrique, et à introduire la matière solide distillée contenant du carbone dans la réduction directe et/ou dans le four électrique de réduction et/ou dans l'appareillage de combustion.

10 10. Procédé suivant la revendication 9, caractérisé en ce qu'il consiste à effectuer la distillation et/ou la gazéification partielle dans un lit fluidisé circulant.

11. Procédé suivant la revendication 9 ou 10, caractérisée en ce qu'il consiste à stocker du gaz combustible dans un réservoir à gaz et à en prélever, en cas de besoin, pour produire de l'énergie électrique.

15 12. Procédé suivant l'une des revendications 5 à 11, caractérisé en ce qu'il consiste à utiliser le gaz combustible en utilisant une turbine à gaz pour produire l'énergie électrique.

13. Procédé suivant la revendication 10, caractérisé en ce qu'il consiste à introduire dans le lit fluidisé circulant des charbons collants.

20 14. Procédé suivant la revendication 2 ou 3, caractérisé en ce qu'il consiste à introduire dans le four électrique de réduction la matière en excès contenant du carbone séparée de ce qui est déchargé de la réduction directe, à faire brûler, avec addition de gaz contenant de l'oxygène, des sources d'énergie supplémentaires dans un appareillage de combustion, à utiliser les gaz de combustion chauds et le gaz résiduaire de la réduction directe pour obtenir de l'énergie électrique, la quantité d'énergie électrique produite étant réglée de manière à correspondre au moins à la somme de la consommation maximale
25 d'énergie du four à arc et des besoins minimum en énergie du four électrique de réduction, et à envoyer au four électrique de réduction l'énergie dont le four à arc n'a pas besoin.

15. Procédé suivant l'une des revendications 1 à 14, caractérisé en ce qu'il consiste à effectuer la réduction directe dans un four tubulaire tournant.

30

35

40

45

50

55

60

65

Fig.1

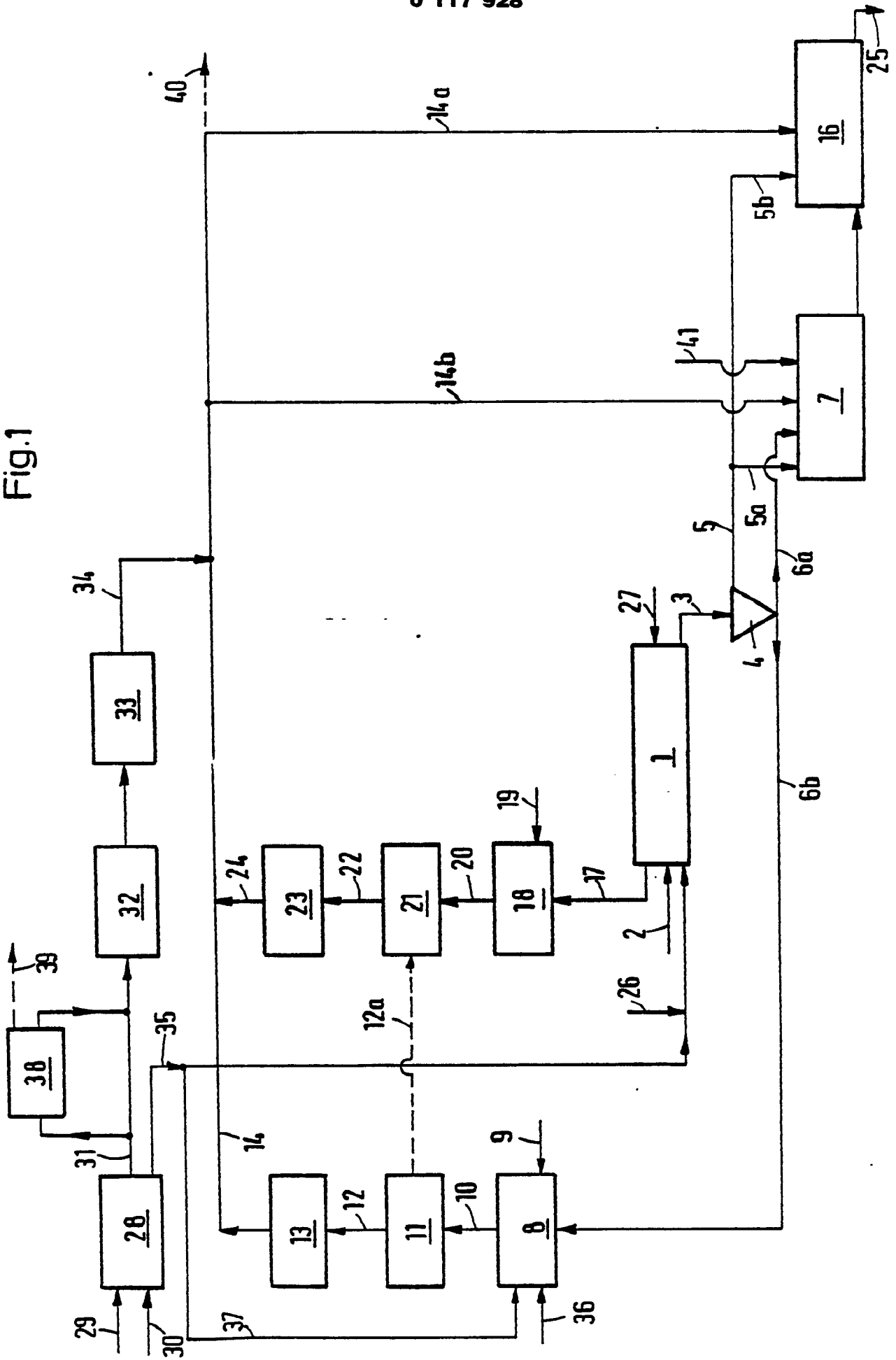


Fig. 2

