

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 921/2008

(22) Anmeldetag: 06.06.2008

(45) Veröffentlicht am: 15.05.2010

(51) Int. Cl.⁸: **C21B 7/00** (2006.01)

C21B 11/00 (2006.01)

C21B 13/00 (2006.01)

G05D 27/00 (2006.01)

G05D 21/00 (2006.01)

G05D 23/00 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:

JP 03-257107A US 5366897A1

US 5073194A1 JP 2007-277630A

JP 2003-201508A

(73) Patentinhaber:

SIEMENS VAI METALS TECHNOLOGIES

GMBH & CO

A-4031 LINZ (AT)

(72) Erfinder:

FISCHER HARALD

LINZ (AT)

MALI HEINRICH ROCHUS DR.

LEOBEN (AT)

SCHENK JOHANNES LEOPOLD DR.

LINZ (AT)

SCHUSTER STEFAN

STANS (AT)

SPUIDA BERNHARD HAILU

LEOBEN (AT)

WIEDER KURT

SCHWERTBERG (AT)

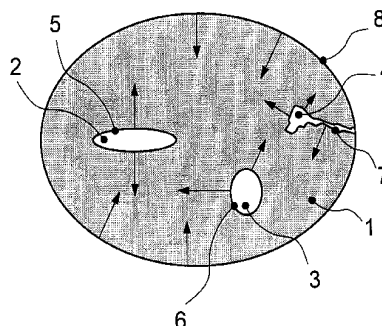
WINTER FRANZ DR.

BADEN (AT)

(54) **VERFAHREN ZUR STEUERUNG EINES TRANSFORMATIONSVERFAHRENS**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung eines Transformationsverfahrens, bei welchem die Umsetzung von Einsatzstoffen zu einem Produkt entlang einer Transformationsgrenzfläche ausgehend von der Kristall- und/oder Korn- und/oder Phasen- und/oder Porenoberfläche hinein in den Einsatzstoff erfolgt, wobei ein oder mehrere chemische Elemente in den Einsatzstoffen freigesetzt und/oder eingebaut und/oder umgelagert werden und die Umsetzung der Einsatzstoffe entlang von fortschreitenden Transformationsgrenzflächen stattfindet. Erfindungsgemäß werden die Einsatzstoffe auf der Basis wenigstens einer optischen, insbesondere mikroskopischen, Analyse hinsichtlich ihrer Phasen und/oder Phasenanteile und/oder ihrer Phasenmorphologie, Struktur, Textur und/oder ihrer chemischen Zusammensetzung identifiziert. Auf Basis dieser Größen werden Referenzfunktionen für die Einsatzstoffe, die die Umsetzung der Einsatzstoffe im Verfahren beschreiben, zugeordnet und zur Festlegung der Verfahrensparameter des Transformationsverfahrens herangezogen.

Fig. 1



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung eines Transformationsverfahrens, bei welchem die Umsetzung von Einsatzstoffen zu einem Produkt entlang einer Transformationsgrenzfläche ausgehend von der Kristall- und/oder Korn- und/oder Phasen- und/oder Porenoberfläche hinein in den Einsatzstoff erfolgt, wobei ein oder mehrere chemische Elemente in den Einsatzstoffen freigesetzt und/oder eingebaut und/oder umgelagert werden und die Umsetzung der Einsatzstoffe entlang von fortschreitenden Transformationsgrenzflächen stattfindet.

[0002] Beispielhaft kann das Verfahren auch zur Steuerung eines metallurgischen Verfahrens, insbesondere eines Reduktionsverfahrens, unter Verwendung von Prozessgasen zur Erzeugung von Metallen und/oder metallurgischen Vorprodukten und/oder Zwischenprodukten auf der Basis von Einsatzstoffen, insbesondere Erzen, Hilfsstoffen, Zuschlagstoffen und festen Kohlenstoffträgern eingesetzt werden.

[0003] Metallurgische Verfahren unter Verwendung von Prozessgasen sind weit verbreitet. Dabei wird z.B. das Reduktionspotential oder auch das Oxidationspotential eines Prozessgases bei der Umsetzung der Einsatzstoffe genutzt. Ergebnis der Umsetzung sind die beim Verfahren erzeugten Metalle, metallurgischen Vorprodukte oder Zwischenprodukte oder Mischungen davon. Bei derartigen Verfahren besteht die Notwendigkeit die Verfahrensparameter an die Einsatzstoffe anzupassen, da die Umsetzung von deren chemischen, physikalischen und thermodynamischen Eigenschaften abhängen.

[0004] Aus der JP 3-257107 ist es bekannt, dass Rohmaterial vor seinem Einsatz in einem Hochofen mittels einer Kamera erfasst und dabei die Korngrößenverteilung analysiert wird. Nachteilig ist dabei, dass keine Identifikation der Einsatzstoffe erfolgt.

[0005] Es ist daher eine Aufgabe der Erfindung ein Verfahren zur Verfügung zu stellen, dass eine möglichst genaue Steuerung eines Transformationsverfahrens auf der Grundlage der Identifikation der Einsatzstoffe ermöglicht und so eine wesentlich effizientere Umsetzung der Einsatzstoffe im Verfahren sicherstellt.

[0006] Die erfindungsgemäße Aufgabe wird entsprechend dem erfindungsgemäßen Verfahren nach dem kennzeichnenden Teil des Anspruchs 1 gelöst.

[0007] Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren können die zumeist festen Einsatzstoffe auf der Basis wenigstens einer optischen, insbesondere eine mikroskopischen, Analyse hinsichtlich ihrer Phasen und/oder Phasenanteile und/oder ihrer Phasenmorphologie und/oder ihrer chemischen Zusammensetzung identifiziert werden. Die Identifikation der Einsatzstoffe ist von besonderer Bedeutung, da z.B. eine chemische Analyse nur eine unzureichende Aussage über das Verhalten der Einsatzstoffe in einem metallurgischen Verfahren zulässt. Insbesondere ist die Zusammensetzung der Einsatzstoffe auch hinsichtlich seiner Bestandteile von Interesse, da durch diese sogenannten Phasenbestandteile, neben der chemischen Zusammensetzung z.B. auch die mechanischen oder auch die thermodynamischen Eigenschaften festgelegt werden, sodass ein Transformationsverfahren in hohem Maße von der Mineralogie und Petrographie, insbesondere von der Mikrostruktur und der Textur der Einsatzstoffe abhängt.

[0008] Die Bestandteile eines mineralischen Rohstoffes als Einsatzstoff werden durch die Phasen bzw. Minerale festgelegt, wobei die Phasen zumeist Bereiche mit einer bestimmten chemischen Zusammensetzung und einer kristallinen Struktur aufweisen. Unter den Begriff „mineralischer Rohstoff“ fallen auch künstlich hergestellte Stoffe, wie Gläser, die z.B. in Sintern auftreten, sowie Kohlen und Koks, die im Wesentlichen keine kristalline Struktur aufweisen. Durch die Morphologie der Phasen und die räumliche Verteilung werden metallurgische Verfahren sehr stark beeinflusst. Durch die Identifikation dieser Größen können Referenzfunktionen für die Einsatzstoffe, die die Umsetzung der Einsatzstoffe im Verfahren beschreiben, zugeordnet werden und zur Festlegung der Verfahrensparameter des metallurgischen Verfahrens herangezogen werden.

[0009] Damit ist es möglich, den Einfluss der Einsatzstoffe aufgrund deren Zusammensetzung,

deren Struktur sowie der Morphologie der Phasen zu bewerten und über Referenzfunktionen die zu erwartende Umsetzung der Einsatzstoffe im Verfahren zu beschreiben. Diese Beschreibung erlaubt eine entsprechende Anpassung bzw. Einstellung der Verfahrensparameter, sodass die Umsetzung der Einsatzstoffe entsprechend einem Ziel eingestellt werden kann.

[0010] Aufgrund der detaillierten Analyse der Einsatzstoffe kann das zu erwartende Verhalten dieser Einsatzstoffe ermittelt werden, wobei eine Einstellung der Verfahrensparameter erleichtert wird. Die mikroskopische Analyse kann auch dazu genutzt werden, um laufende Transformationsverfahren, wie z.B. metallurgische oder chemische Verfahren, zu überprüfen und hinsichtlich der Umsetzung der Einsatzstoffe einzugreifen, wobei bei geänderter Zusammensetzung der Einsatzstoffe stets eine rasche Anpassung der Verfahrensparameter ermöglicht wird.

[0011] Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens werden die Verfahrensparameter auf Basis von mit den Referenzfunktionen hinterlegten Verfahrensgrößen derart festgelegt, dass die mit den Referenzfunktionen beschriebene Umsetzung erhöht, insbesondere maximiert, wird. Durch die Analyse der Einsatzstoffe, den Referenzfunktionen und den damit verknüpften Verfahrensgrößen, ist es möglich, die Umsetzung der Einsatzstoffe im Verfahren zu erhöhen bzw. zu maximieren, da aufgrund der genauen Kenntnis der Einsatzstoffe eine Beschreibung des Verfahrens und eine optimale Auswahl der Verfahrensparameter ermöglicht wird. Die Verfahrensgrößen stellen Parameter dar, die für die Verfahrensführung herangezogen werden. Zu den Einsatzstoffen können aufgrund der Referenzkurven, die das Verfahren bzw. die Verarbeitung der Einsatzstoffe beschreiben, entsprechende Verfahrensgrößen abgerufen werden, die die Grundlage für die Verfahrensparameter bilden, sodass eine Optimierung des Verfahrens möglich ist.

[0012] Nach einer weiteren, bevorzugten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens werden die Referenzfunktionen für die Einsatzstoffe durch thermodynamische Simulationen der Umsetzung der Einsatzstoffe unter Berücksichtigung der Reaktionskinetik und gegebenenfalls unter Verwendung empirischer Daten ermittelt. Derartige Simulationen erfolgen z.B. mittels Modellansätzen für Gas-Feststoffreaktionen von einzelnen Partikeln. Klassische Vertreter solcher Modellansätze sind das „Shrinking-Core Modell“ (Asche-Kern-Modell) oder das „Grain-Modell“. (Literatur: J. Szekely et al, Academic Press, New York 1976).

[0013] Die Umsetzung kann z.B. eine Umwandlung unter einem Prozessgas sein, wie die Reduktion eines Erzes in einem Reduktionsverfahren. Aufgrund der genauen Kenntnis der Zusammensetzung der Einsatzstoffe, ist es möglich, durch an sich bekannte thermodynamische Simulationen die Umsetzung zu berechnen bzw. vorherzusagen. Dazu sind neben der genauen Kenntnis der Einsatzstoffe auch die Verfahrensparameter und die Kinetik der Reaktionen zu berücksichtigen. Es ist möglich, die Simulation durch empirische Daten zu ergänzen und so zu präziseren Ergebnissen zu gelangen.

[0014] Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens werden die Referenzfunktionen und/oder die hinterlegten Verfahrensgrößen vorab ermittelt und in einer Datenbank hinterlegt. Durch diese Maßnahme ist es möglich, sukzessive für ein Verfahren einen Datenbestand aufzubauen, der bei Verwendung neuer Einsatzstoffe bzw. Kombinationen davon entsprechend angepasst oder neu ermittelt wird. Auf diese Weise lassen sich Sätze von Referenzkurven bzw. Verfahrensgrößen ermitteln, die Teilbereiche und/oder den vollständigen Arbeitsbereich eines metallurgischen Verfahrens abdecken können bzw. der bei Bedarf auch jederzeit erweitert werden kann.

[0015] Gemäß einer alternativen Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens werden die ermittelten Referenzfunktionen auf Basis der thermodynamischen Simulationen weiter optimiert und in der Datenbank hinterlegt. Durch die laufende Ermittlung der Referenzkurven ist es möglich, diese auch entsprechend zu optimieren und damit über die Verfahrensgrößen das Verfahren insgesamt zu optimieren, sodass der effiziente Arbeitsbereich des metallurgischen Verfahrens in einem breiteren Bereich der Einsatzstoffe dennoch gewährleistet werden kann.

[0016] Erfindungsgemäß sieht das Verfahren vor, dass die Verfahrensparameter des Transfor-

mationsverfahrens derart eingestellt werden, dass die Abweichung der tatsächlichen Umsetzung der Einsatzstoffe zu fertigen Produkten von der mittels Referenzfunktionen beschriebenen Umsetzung der Einsatzstoffe minimiert wird. Auf Basis optimierter Referenzkurven, ist es möglich, das metallurgische Verfahren derart zu betreiben, dass die Referenzkurven als optimale Verfahrensmoden herangezogen werden und die Verfahrensparameter derart gewählt werden, dass diese Referenzkurven möglichst genau eingestellt werden. Durch die Referenzkurven und damit verknüpfte Verfahrensgrößen kann also ein metallurgisches Verfahren einfach optimiert werden.

[0017] Eine vorteilhafte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird erzielt, wenn auf Basis der mikroskopisch ermittelten Größen für die Einsatzstoffe und/oder die Produkte online eine thermodynamische Simulation der Umsetzung der Einsatzstoffe unter Berücksichtigung der Reaktionskinetik, gegebenenfalls unter Verwendung empirischer Daten, erfolgt, dann das Ergebnis dieser Simulation mit den Referenzfunktionen verglichen und auf Basis dieses Vergleichs unter Minimierung von Abweichungen eine Anpassung der Verfahrensparameter des Transformationsverfahrens vorgenommen wird. Durch die online durchgeführte Simulation, ist es möglich sehr rasch Abweichungen der Ist-Situation von der Soll-Situation, beschrieben durch die Referenzkurven, zu ermitteln und die Verfahrensparameter entsprechend anzupassen. Die Reaktionskinetik muss dabei berücksichtigt werden, weil die thermodynamischen Gleichgewichte oftmals eine längere Zeit zur Einstellung benötigen, sodass das tatsächlich vorliegende Reaktionsgleichgewicht von der rein thermodynamischen Betrachtung abweicht. Ebenso ist die Verwendung von empirischen Parametern vorteilhaft, um die thermodynamische Simulation hinsichtlich ihrer Genauigkeit zu verbessern.

[0018] Erfindungsgemäß werden die Verfahrensparameter, insbesondere Druck, Temperatur, Volumenströme des Prozessgases, bevorzugt eines Reduktionsgases, und/oder der Einsatzstoffe, Korngrößenverteilung der Einsatzstoffe, Verweilzeit der Einsatzstoffe im Verfahren und Oxidationsgrad der Prozessgase in Abhängigkeit von den Ergebnissen der mikroskopischen Analyse der Einsatzstoffe angepasst. Der Eingriff in das Verfahren erfolgt damit direkt durch Veränderung der Verfahrensparameter, wobei einerseits vordefinierte Wertebereiche eingehalten und gegenseitige Abhängigkeiten der Parameter voneinander berücksichtigt werden.

[0019] Nach einer möglichen Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist der Grad der Umsetzung der Einsatzstoffe im Verfahren durch den Reduktionsgrad und/oder durch den Kohlenstoffgehalt der Einsatzstoffe festgelegt. Diese beiden Größen sind eindeutig bestimmbar, sodass die Ist-Umsetzung der Einsatzstoffe im Verfahren durch technisch übliche Maßnahmen messtechnisch erfasst werden können.

[0020] Nach einer speziellen Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird der Umwandlungsgrad, insbesondere der Reduktionsgrad, und/oder der Kohlenstoffgehalt für jede Phase im Einsatzstoff einzeln ermittelt und die Verfahrensparameter derart gewählt, dass der mittlere Oxidationsgrad der reduzierten Einsatzstoffe minimiert wird. Diese Strategie führt zu einer optimierten Ausbringung durch einen möglichst geringen Oxidationsgrad. Da die Einsatzstoffe zumeist aus verschiedenen Oxiden in unterschiedlichen Mengenanteilen bestehen, kommt es in metallurgischen Verfahren zu unterschiedlichen Umsetzungsgraden der Einsatzstoffe, da z.B. die Oxide unterschiedlich schnell reduziert werden können. Die gemeinsame Optimierung über einen mittleren Oxidationsgrad hat dabei den Vorteil, dass eine höhere Gesamteffizienz erzielt wird. Der Einfluss einzelner Oxide kann dabei auch gewichtet berücksichtigt werden.

[0021] Eine vorteilhafte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, dass die mikroskopische Analyse auf der Basis von Einzelkristallen und/oder Kristallaggregaten eines Minerals und/oder zumindest einer Phase der Einsatzstoffe erfolgt. Es hat sich gezeigt, dass das Verhalten der Einsatzstoffe bzw. deren verfahrenstechnische Umsetzung sehr erheblich von den vorliegenden Phasen und der Morphologie der Phasen, also dessen geometrische Ausbildung abhängt. Dabei ist es nötig, dass die Analyse der Phasen nicht nur gemittelt über eine Oberfläche eines Einsatzstoffes erfolgt, sondern auch an den einzelnen Kristallen und/oder

Aggregaten gleicher Minerale bzw. Phasen vorgenommen werden, da z.B. unter Anderem die Transformationsgeschwindigkeit durch die Eigenschaften der einzelnen Kristalle festgelegt wird.

[0022] Eine vorteilhafte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, dass die mikroskopische Analyse ein- oder mehrstufig unter Verwendung von einfach oder mehrfach polarisiertem Licht erfolgt. Durch die ein- oder mehrfache Analyse mit polarisiertem Licht ist es möglich, alle Phasen anhand deren kristalliner Eigenschaften zu identifizieren, deren Morphologie und Modalbestände im gesamten Einsatzstoff zu ermitteln und in weiterer Folge die chemische Zusammensetzung festzustellen. Diese Vorgehensweise gestattet eine sichere und rasche Identifikation der Einsatzstoffe bzw. dessen Zusammensetzung und Gefüge. Unter Modalbestand ist dabei die mineralogische Zusammensetzung eines Einsatzstoffes ausgedrückt durch die Phasenanteile in % zu verstehen.

[0023] Nach dem erfindungsgemäßen Verfahren erfolgt die mehrstufige mikroskopische Analyse mit unpolarisiertem sowie polarisiertem Licht, das in unterschiedlichen Stufen eine andere Polarisationsrichtung oder -richtungen aufweist. Durch die unterschiedlichen Polarisator- und Analysatorstellungen können einerseits Phasen identifiziert und bei anisotropen Phasen die Kristallgrößen bestimmt werden. Die Kristallmorphologie wird durch automatische Kombination und Auswertung von mehreren mikroskopischen Bildern mit unterschiedlichen Polarisator-Analysatorstellungen, die vom gleichen Schliffausschnitt gemacht wurden, ermittelt.

[0024] Sowohl Analysatoren als auch Polarisatoren kommen bei der Aufnahme von Bilderserien des gleichen Schliffausschnittes in mehrfach unterschiedlichen Stellungen zum Einsatz. Die Bilder werden mittels einer Software bearbeitet, kompiliert und damit die geometrischen Parameter, insbesondere die Kristallgrenzen, von einer Vielzahl einzelner anisotroper Kristalle bestimmt.

[0025] Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens werden die Kristall- und/oder Phasenmorphologie der identifizierten Phasen, insbesondere Fläche, Umfang, Umfangsgestalt, spezifischer Umfang, Porosität, Porenform und Porenanzahl, ermittelt und in Form von Phasenparametern als Grundlage für die Berechnung von Referenzfunktionen in einer Datenbank hinterlegt. Als spezifischer Umfang ist das Verhältnis aus Fläche zu Umfang zu verstehen. Der Kehrwert dieser Größe ist auch als hydraulischer Radius bekannt. Die Phasenmorphologie spielt eine große Rolle bei der Umsetzung, da durch die Form, durch Kavitäten oder Risse z.B. Diffusionsvorgänge oder das Eindringen von Prozessfluiden zu inneren Oberflächen beeinflusst werden. Somit ist die Kenntnis der Morphologie, der Textur und der Struktur eine wichtige Voraussetzung für die Beschreibung der verfahrenstechnischen Umsetzung der Einsatzstoffe. Derartige Einflüsse der Morphologie auf die Umsetzung der Einsatzstoffe können auch in Form empirischer Daten bzw. Zusammenhänge oder als funktionelle Zusammenhänge hinterlegt werden.

[0026] Gemäß einer besonders geeigneten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens werden bei der mikroskopischen Analyse für einen Einzelkristall oder einen Kristallcluster eines Einsatzstoffes euklidische Distanzen zu einer Oberfläche des Einkristalls oder des Kristallusters ermittelt und in ein farblich abgestuftes Bild, insbesondere ein Graustufenbild, umgewandelt und diese Distanzen zu einem Modell konzentrischer Schalen zusammengesetzt, wobei die Anzahl der Schalen ein Maß für die Dauer der Umsetzung des Einsatzstoffes im Transformationsverfahren darstellt. Die Berechnung der Euklidischen Distanzen, die Distanzmaße darstellen erfolgt z. B. nach Danielsson (P. Danielsson, "Euclidean Distance Mapping," Computer Graphics and Image Processing, vol. 14, pp. 227-248, 1980).

[0027] Die Transformation oder Umwandlung von festen Einsatzstoffen, wie z.B. Oxiden, Erzen, Eisenerzen, geht von der reaktiven Oberfläche der Partikel des Einsatzstoffes aus, also von der Partikeloberfläche und von den Poren, die mit der Oberfläche in Verbindung stehen. Es wird bei diesem Verfahren vorerst vereinfachend angenommen, dass der Fortschritt der Reduktion einer Phase näherungsweise mit konstanter Geschwindigkeit und perpendicular zur jeweiligen Oberfläche und somit mit konstantem Fortschritt in die Tiefe der Partikel verläuft. Das Modell konzentrischer Schalen erlaubt somit eine Beschreibung des Fortschrittes der Umwandlung.

[0028] Die Entfernung einer Position im Partikel von den jeweiligen Kornoberflächen stellt somit ein Maß für den Zeitpunkt der Umwandlung in einem Transformationsverfahren dar. Der Fortschritt eines Transformationsverfahrens kann damit auf Basis der gemessenen Fläche, des Umfangs und des spezifischen Umfangs jeweils durch Abzug der Schalen bestimmter Dicke beschrieben werden, wobei die Anzahl der Schalen je Zeit und/oder die Schalendicke mit der Geschwindigkeit der Umwandlung der jeweiligen Phase im Zusammenhang steht. Sind alle Schalen abgetragen entspricht dies einer vollständigen Umsetzung der Partikel. Dieser Fortschritt lässt sich als Kurven darstellen, die den jeweiligen Umwandlungsverlauf und damit auch den Verlauf des Transformationsverfahrens charakterisieren.

[0029] Erfindungsgemäß ist die Dicke jeder Schale entweder bei vereinfachter Berechnung konstant oder bei nicht vereinfachter Berechnung mit zunehmender Distanz von der Oberfläche dünner werdend und vom Einsatzstoff und dem Transformationsverfahren abhängig, wobei die Dicke in empirischen Versuchen ermittelt wird. Treten mehrere verschiedene Phasen mit unterschiedlichen Transformationsgeschwindigkeiten in einem Einsatzstoff auf, dann ist es manchmal einfacher, zuerst für alle Phasen Schalen mit gleicher Dicke zu berechnen und danach die relativen Transformationsgeschwindigkeiten durch das Zusammenfassen mehrerer Schalen zu berücksichtigen. Jene Phase mit der langsamsten Transformationsgeschwindigkeit hat in diesem Falle eine Schalendicke von einem Pixel oder eben die kleinste kompilierte Schalendicke.

[0030] Nach einer weiteren, vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird auf Basis der mikroskopischen Analyse und dem Vergleich mit Referenzfunktionen die Eignung eines Einsatzstoffes oder einer Mischung von Einsatzstoffen für ein Transformationsverfahren bewertet, derart, dass maximal zulässige Anteile für einzelne Einsatzstoffe ermittelt werden. Es hat sich gezeigt, dass einzelne Einsatzstoffe nicht in einem zu hohen Anteil eingesetzt werden dürfen, weil dabei die Umsetzung der Einsatzstoffe unzureichend wird oder sich die Prozesszeiten stark verlängern. Z.B. kann es bei der Reduktion von Oxiden oder z.B. Eisenerzen bei Vorliegen bestimmter Eisenoxide, wie z.B. Magnetiten zu unzureichenden Reduktionsergebnissen kommen. Einzelne Phasenanteile können daher als Indikatoren für die Umsetzung in einem Transformationsverfahren, wie einem chemischen oder metallurgischen Verfahren, herangezogen werden, sodass eine Eignung der Einsatzstoffe in einer bestimmten Zusammensetzung vorab bewertet werden kann. Aufgrund der optischen Analyse der Einsatzstoffe ist es auch möglich quantitative Aussagen zu machen und so max. zulässige Anteile festzulegen.

[0031] Nach einer speziellen Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens werden auf Basis der Bewertung die Einsatzstoffe, insbesondere durch Mischen verschiedener Einsatzstoffe, angepasst, wobei ihre Korngrößenverteilung und/oder ihre Zusammensetzung verändert werden, sodass die zulässigen Anteile der Einsatzstoffe nicht überschritten werden. Aufgrund der üblicherweise vorliegenden Vielzahl an Erzen, Hilfsstoffen, Zuschlagstoffen und festen Kohlenstoffträgern, die die Einsatzstoffe bilden, ist es möglich die Zusammensetzung anzupassen, sodass z.B. maximal zulässige Anteile einzelner Phasen nicht überschritten werden.

[0032] Nach einer alternativen Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens sind zwei Kriterien für die Eignung eines Einsatzstoffes das Unterschreiten eines bestimmten Gehaltes von zusammenklebenden Körnern und/oder zerfallender Körner während der Umsetzung im Verfahren. Treten in Transformationsverfahren wie z.B. bei metallurgischen Verfahren zusammenklebende Körner auf, so führt das zumeist zu Störungen im Prozess, da neben einer verringerten Umsetzung auch Bereiche auftreten können, die z.B. nur unzureichend umgesetzt wurden, sodass Anteile des Einsatzstoffes eine verminderte Qualität aufweisen. Ebenso führt der Kornzerfall zu einer erheblichen Zunahme an Staubanteil, sodass z.B. die Staubverluste in einem metallurgischen Verfahren stark ansteigen können. Beide Effekte müssen daher vermieden werden und stellen gute Kriterien für die Qualität eines metallurgischen Verfahrens dar, da z.B. das Ausmaß der Umsetzung der Einsatzstoffe oder das Ausmaß einer Reduktion in einem Reduktionsverfahren dadurch beeinflusst bzw. bestimmt werden.

[0033] Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist das

Transformationsverfahren ein Reduktionsverfahren zur Erzeugung von Metallen, insbesondere Roheisen, und/oder metallurgischen Vorprodukten und/oder Zwischenprodukten unter Verwendung von Prozessgasen.

[0034] Gemäß einer weiteren, vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens sind die Einsatzstoffe karbonatische und silikatische Gesteine, Branntkalk, Kohlen und/oder Koks und/oder Erze, insbesondere Eisenerze, und/oder Erzagglomerate, insbesondere Pellets, Erzsinter oder gesinterte Erze, und/oder metallurgische Zwischenprodukte, insbesondere Eisenschwamm oder Mischungen davon. Aufgrund der kristallinen Eigenschaften der Einsatzstoffe können diese mittels der erfindungsgemäßen mikroskopischen Analyse gut identifiziert werden, sodass das Verfahren für eine Vielzahl an Einsatzstoffen verwendbar ist.

[0035] Die Erfindung wird im Folgenden anhand eines nicht einschränkenden Beispiels für ein Reduktionsverfahren weiter ausgeführt. Reduktionsverfahren basieren zumeist auf einer reduzierenden Umsetzung von z.B. oxidischen Einsatzstoffen, die bei hohen Temperaturen mittels eines heißen Reduktionsgases bzw. reduzierenden Gasgemischen behandelt werden. Die Umsetzung der Einsatzstoffe hängt dabei unter anderem vom Verfahrensdruck im Prozessaggregat, von der Temperatur, von den Volumenströmen des Reduktionsgases und/oder der Einsatzstoffe, von der Korngrößenverteilung der Einsatzstoffe, von der Verweilzeit der Einsatzstoffe im Verfahren, vom Oxidationsgrad der Prozessgase und der chemischen und mineralogisch-petrographischen Zusammensetzung der Einsatzstoffe ab. Es ist z.B. bekannt, dass die Umsetzbarkeit auch von der Morphologie der Bestandteile der zu behandelnden Einsatzstoffe stark abhängt. Neben der chemischen Zusammensetzung stellen also auch der kristalline Aufbau und die Form bzw. die Verteilung einzelner Phasenanteile z.B. eines Oxides wichtige Einflussgrößen dar.

[0036] Aus empirischen Versuchen hat es sich gezeigt, dass bestimmte Morphologien von Eisenoxiden eine deutlich schlechtere Reduzierbarkeit aufweisen, ohne dass dabei eine andere chemische Zusammensetzung vorliegen würde. Hinzu kommt, dass das Vorliegen einzelner Phasenbestandteile insgesamt eine ähnliche chemische Zusammensetzung bedeutet, jedoch hinsichtlich der Reduzierbarkeit einen großen Effekt nämlich eine schlechtere Reduzierbarkeit oder auch z.B. eine erhöhte Zerfallsneigung der Einsatzstoffe bewirken.

[0037] Die Kenntnis der Zusammensetzung und die genaue Identifikation der Einsatzstoffe sind also von großer Bedeutung für eine optimale Verfahrensführung bzw. für die Steuerung eines metallurgischen Verfahrens, wobei die mikroskopische Identifikation auf Basis von Einzelkristallen, Kristallaggregaten und Phasen erfolgt, sodass aufgrund von Referenzfunktionen zu diesen Einsatzstoffen Informationen für die Steuerung des metallurgischen Verfahrens herangezogen werden können. Vorteilhaft ist dabei, dass nicht nur einzelne Phasen identifiziert werden können, sondern, dass auch die Form dieser Phasen berücksichtigt werden kann. Insbesondere ist es möglich die Eignung von Einsatzstoffen zu bewerten und diese z.B. durch Zumischen anderer Einsatzstoffe derart zu modifizieren, dass max. zulässige Werte für einzelne Einsatzstoffe bzw. Anteile dieser Einsatzstoffe nicht überschritten werden.

[0038] Durch die Kombination mit empirisch ermittelten Größen, wie z.B. gemessener Größen an den fertigen Produkten können Parameter hinterlegt werden, die für die Verfahrenssteuerung als Richtwerte herangezogen werden können. Durch thermodynamische Simulationen, die die empirischen Daten ergänzen, ist es möglich, in Form von Referenzfunktionen auch funktionelle Zusammenhänge zu ermitteln, sodass eine Beschreibung der thermodynamischen Situation unter Berücksichtigung der Reaktionskinetik möglich ist. Derartige Referenzfunktionen gestatten sehr genaue und sichere Vorhersagen des Verfahrensverlaufes für die Einsatzstoffe. Referenzfunktionen können daher vorab für den Arbeitsbereich eines metallurgischen Verfahrens bzw. den Einsatzstoffen, die in diesem Verfahren verarbeitet werden sollen, ermittelt und für die Verfahrenssteuerung hinterlegt werden, sodass diese stets auf die funktionellen Zusammenhänge und die empirischen Daten zurückgreifen können.

[0039] Alternativ ist es auch denkbar, dass die thermodynamischen Situationen unter Berücksichtigung der Reaktionskinetik online, also während eines laufenden Verfahrens erfolgen. Dies

eröffnet dann die Möglichkeit auf Basis der simulierten Umsetzung der Einsatzstoffe Eingriffe zur Optimierung des Verfahrens oder im Falle von Störungen vorzunehmen.

[0040] Fig. 1: Schematische Darstellung des Fortschritts der Reaktionsfronten in einem Partikel eines Einsatzstoffes

[0041] Fig. 2: Schalenmodell eines Partikels eines Einsatzstoffes

[0042] Fig. 1 stellt den schematischen Fortschritt eines Transformationsverfahrens an einer fortschreitenden Reaktionsfront (dargestellt durch Pfeile) dar. Das Partikel 1 weist Poren 2, 3, 4 mit inneren Oberflächen 5, 6, 7 auf, die zum Teil auch bis an die Partikeloberfläche 8 reichen können.

[0043] Die Reaktion, wie z.B. eine Umwandlung oder Reduktion, geht von den reaktiven Oberflächen der Partikel aus, also von der Partikeloberfläche 8 und von Poren, wie z.B. Pore 4, die mit der Partikeloberfläche 8 kommunizieren. Der Fortschritt der Reaktion verläuft dabei mit in erster Näherung konstanter Geschwindigkeit und perpendicular zu den jeweiligen Partikeloberflächen oder inneren Oberflächen ab und somit mit konstantem Fortschritt in die Tiefe der Partikel.

[0044] Fig. 2 zeigt ein Modell konzentrischer Schalen eines Partikels eines Einsatzstoffes, das den Reaktionsfortschritt anhand der konzentrischen Ringe darstellt.

[0045] Das Partikel wird als konzentrische Schalen dargestellt, wobei die Schalen in unterschiedlichen Graustufen abgebildet werden. Aufgrund dieses Modells ist es möglich ein Transformationsverfahren bzw. den Fortschritt einer Reaktionsfront für die Partikel eines Einsatzstoffes zu beschreiben. Das Modell konzentrischer Schalen berücksichtigt die genaue Form des Partikels inklusive innerer Oberfläche wie Risse und Poren.

[0046] Setzt sich ein Partikel eines Einsatzstoffes aus verschiedenen Phasen mit unterschiedlichen Transformationsgeschwindigkeiten zusammen, können zunächst für alle Phasen Schalen mit gleicher Dicke angenommen werden. Die relativen Transformationsgeschwindigkeiten können durch das Zusammenfassen mehrerer Schalen berücksichtigt werden. Die Phase mit der langsamsten Transformationsgeschwindigkeit hat in diesem Falle die kleinste Schalendicke.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Steuerung eines Transformationsverfahrens, bei welchem die Umsetzung von, insbesondere oxidischen, Einsatzstoffen zu einem Produkt entlang zumindest einer Transformationsgrenzfläche ausgehend von der Kristall- und/oder Korn- und/oder Phasen- und/oder Porenoberfläche hinein in den Einsatzstoff, insbesondere unter Verwendung eines Prozessfluides, erfolgt, wobei ein oder mehrere chemische Elemente in den Einsatzstoffen freigesetzt und/oder eingebaut und/oder umgelagert werden und die Umsetzung der Einsatzstoffe entlang von fortschreitenden Transformationsgrenzflächen stattfindet, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Einsatzstoffe und Produkte auf der Basis wenigstens einer mikroskopischen Analyse hinsichtlich ihrer Phasen und/oder Phasenanteile und/oder ihrer Phasenmorphologie, Struktur, Textur und/oder ihrer chemischen Zusammensetzung identifiziert werden, auf Basis dieser Größen Referenzfunktionen für die Einsatzstoffe, die die Umsetzung der Einsatzstoffe im Verfahren beschreiben, zugeordnet werden und zur Festlegung der Verfahrensparameter des Transformationsverfahrens herangezogen werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Verfahrensparameter auf Basis von mit den Referenzfunktionen hinterlegten Verfahrensgrößen derart festgelegt werden, dass die mit den Referenzfunktionen beschriebene Umsetzung erhöht, insbesondere maximiert, wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Referenzfunktionen für die Einsatzstoffe durch thermodynamische Simulationen der Umsetzung der Einsatzstoffe unter Berücksichtigung der Reaktionskinetik und gegebenenfalls unter Verwendung empirischer Daten ermittelt werden.
4. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Referenzfunktionen und/oder die hinterlegten Verfahrensgrößen vorab ermittelt und in einer Datenbank hinterlegt werden.
5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die ermittelten Referenzfunktionen auf Basis der thermodynamischen Simulationen weiter optimiert und in der Datenbank hinterlegt werden.
6. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Verfahrensparameter des Transformationsverfahrens derart eingestellt werden, dass die Abweichung der tatsächlichen Umsetzung der Einsatzstoffe zu fertigen Produkten von der mittels der Referenzfunktionen beschriebenen Umsetzung der Einsatzstoffe minimiert wird.
7. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass auf Basis der mikroskopisch ermittelten Größen für die Einsatzstoffe und/oder die Produkte online eine thermodynamische Simulation der Umsetzung der Einsatzstoffe unter Berücksichtigung der Reaktionskinetik, gegebenenfalls unter Verwendung empirischer Daten, erfolgt, dass das Ergebnis dieser Simulation mit den Referenzfunktionen verglichen und auf Basis dieses Vergleichs unter Minimierung von Abweichungen eine Anpassung der Verfahrensparameter des Transformationsverfahrens vorgenommen wird.
8. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Verfahrensparameter, insbesondere Druck, Temperatur, Volumenströme des Prozessgases, bevorzugt eines Reduktionsgases, und/oder der Einsatzstoffe, Korngrößenverteilung der Einsatzstoffe, Verweilzeit der Einsatzstoffe im Verfahren und Oxidationsgrad der Prozessgase in Abhängigkeit von den mittels der mikroskopischen Analyse identifizierten Einsatzstoffen angepasst werden.
9. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Grad der Umsetzung, insbesondere der Umwandlungsgrad, der Einsatzstoffe im Verfahren durch den Reduktionsgrad und/oder durch den Kohlenstoffgehalt der Einsatzstoffe festgelegt ist.
10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Reduktionsgrad und/oder der Kohlenstoffgehalt für jede Phase im Einsatzstoff einzeln ermittelt wird und die Verfahrensparameter derart gewählt werden, dass der mittlere Oxidationsgrad der reduzierten Einsatzstoffe minimiert wird.
11. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mikroskopische Analyse auf der Basis von Einzelkristallen und/oder Kristallaggregaten eines Minerals und/oder zumindest einer Phase der Einsatzstoffe erfolgt.
12. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche **dadurch gekennzeichnet**, dass die mikroskopische Analyse ein- oder mehrstufig unter Verwendung von unpolarisierten und/oder polarisierten elektromagnetischen Wellen, insbesondere Licht, und/oder Elektronenmikroskopie erfolgt.
13. Verfahren nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mehrstufige mikroskopische Analyse mit unpolarisiertem sowie polarisiertem Licht, wobei letzteres in unterschiedlichen Stufen eine andere Polarisationsrichtung oder -richtungen aufweist, erfolgt.
14. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Kristall- und/oder Phasenmorphologie der identifizierten Phasen, insbesondere Fläche, Umfang, Umfangsgestalt, spezifischer Umfang, Porosität, Porenform und Porenanzahl, ermittelt und in Form von Phasenparametern als Grundlage für die Berechnung von Referenzfunktionen in einer Datenbank hinterlegt werden.

15. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei der mikroskopischen Analyse für einen Einzelkristall oder einen Kristallcluster oder einer Phase eines Einsatzstoffes Distanzmaße, insbesondere euklidische Distanzen, relativ zu einer Oberfläche des Einkristalls oder des Kristallclusters oder einer Phase ermittelt und in ein farblich abgestuftes oder ein Graustufenbild umgewandelt werden und dass auf Distanzmaßen beruhende Abstände zu einem Modell konzentrischer Schalen zusammengesetzt werden, wobei die Anzahl der Schalen ein Maß für die Transformationsdauer und die Dicke der Schalen, bei welchen auch allenfalls in einem weiteren Berechnungsschritt mehrere dünne Schalen wiederum zu einer dickeren zusammengefasst werden können, ein Maß für die Geschwindigkeit der Umsetzung des Einsatzstoffes und dessen Phasen im Transformationsverfahren darstellt.
16. Verfahren nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Dicke jeder Schale entweder bei vereinfachter Berechnung konstant oder mit zunehmender Distanz von der Oberfläche dünner werdend und vom Einsatzstoff und dem Transformationsverfahren abhängig ist, wobei die Dicke, die ein Maß für die Transformationsgeschwindigkeit darstellt, in empirischen Versuchen ermittelt wird.
17. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass auf Basis der mikroskopischen Analyse und dem Vergleich mit Referenzfunktionen die Eignung eines Einsatzstoffes oder einer Mischung von Einsatzstoffen für ein Transformationsverfahren bewertet wird, derart, dass maximal zulässige Anteile für einzelne Einsatzstoffe ermittelt werden.
18. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass auf Basis der Bewertung die Einsatzstoffe, insbesondere durch Mischen verschiedener Einsatzstoffe angepasst werden, wobei ihre Korngrößenverteilung und/oder ihre Zusammensetzung verändert werden, sodass die zulässigen Anteile der Einsatzstoffe nicht überschritten werden.
19. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwei Kriterien für die Eignung eines Einsatzstoffes das Unterschreiten eines bestimmten Gehaltes von zusammenklebenden Körnern und/oder zerfallender Körner während der Umsetzung im Verfahren sind.
20. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Eignung eines Einsatzstoffes auf der Basis vorab durchgeführter Reduktionsversuche und der dabei erzielten Reduktionsgrade festgelegt wird.
21. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Transformationsverfahren ein Reduktionsverfahren zur Erzeugung von Metallen und/oder metallurgischen Vorprodukten und/oder Zwischenprodukten unter Verwendung von Prozessgasen ist.
22. Verfahren nach einem der obigen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Einsatzstoffe karbonatische und silikatische Gesteine, Branntkalk, Kohlen und/oder Koks und/oder Erze, insbesondere Eisenerze, und/oder Erzagglomerate, insbesondere Pellets, Erzsinter oder gesinterte Erze, und/oder metallurgische Zwischenprodukte, insbesondere Eisenschwamm, oder Mischungen davon sind.

Hierzu 2 Blatt Zeichnungen

Fig. 1

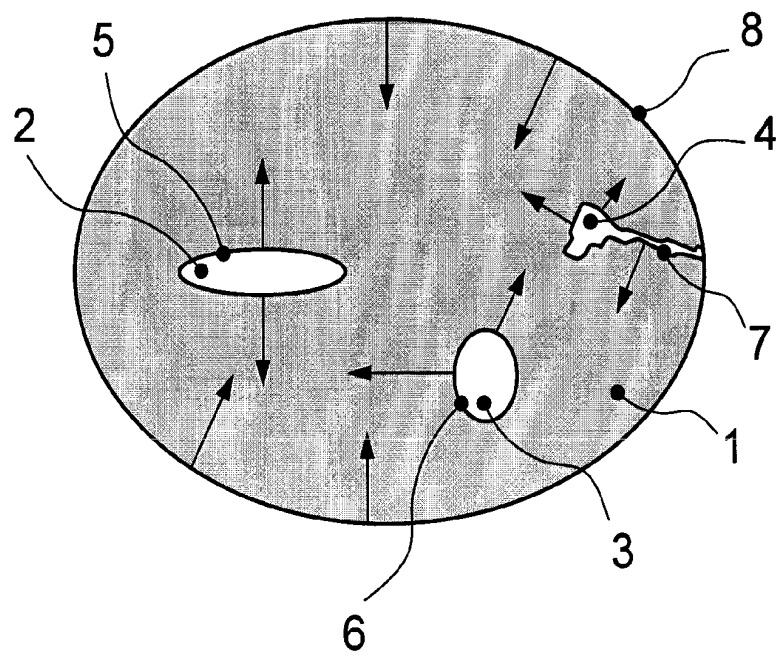


Fig. 2

