

(19)



(11)

EP 4 257 713 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
11.10.2023 Patentblatt 2023/41

(21) Anmeldenummer: **23166642.1**

(22) Anmeldetag: **04.04.2023**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
C22B 7/04 (2006.01) **C22B 1/02** (2006.01)
C22B 5/12 (2006.01) **C22B 7/00** (2006.01)
C22B 11/00 (2006.01) **C22B 13/02** (2006.01)
C22B 15/00 (2006.01) **C22B 19/30** (2006.01)
C22B 23/02 (2006.01) **C22B 25/06** (2006.01)

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
C22B 7/04; C22B 1/02; C22B 5/12; C22B 7/001;
C22B 7/005; C22B 11/046; C22B 13/025;
C22B 15/0056; C22B 19/30; C22B 23/02;
C22B 25/06

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC ME MK MT NL
NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(30) Priorität: **05.04.2022 DE 102022108154**

(71) Anmelder: **Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule (RWTH) Aachen**
52062 Aachen (DE)

(72) Erfinder:
• **Maier, Jürgen**
52064 Aachen (DE)
• **Friedrich, Bernd**
52074 Aachen (DE)

(74) Vertreter: **Michalski Hüttermann & Partner**
Patentanwälte mbB
Kaistraße 16A
40221 Düsseldorf (DE)

(54) **VERFAHREN ZUM BEHANDELN VON METALLSCHLACKEN MIT ELEKTRONIKBAUTEILEN**

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Behandeln einer metallurgischen Schlacke, mit Elektronikbauteile, um die in den Elektronikbauteilen und in der Schlacke enthaltenen Wertstoffe zu rezyklieren.

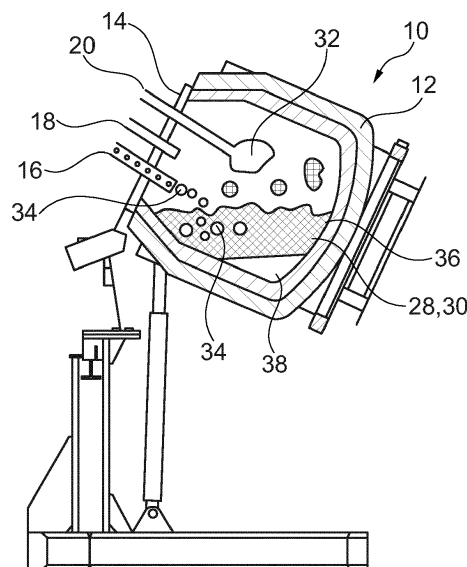


Fig. 1

EP 4 257 713 A1

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Behandeln von Metallschlacken. In größerem Detail betrifft die vorliegende Erfindung ein Verfahren zum Behandeln von Metallschlacken, welches die Reaktion derartiger Schlacken mit Elektronikbauteilen, insbesondere mit Elektronikbauteilabfällen, insbesondere mit WEEE-Bauteilen, umfasst.

[0002] Bei der pyrometallurgischen Blei- und Zinkgewinnung fallen als Nebenprodukte Schlacken an, die unvermeidlich Blei und Zink in bedeutsamen Mengen enthalten. Durch den Austrag von Blei und Zink in den Schlacken wird die Ausbeute und damit auch die Wirtschaftlichkeit des Gewinnungsprozesses herabgesetzt. Zudem können die Schlacken ein latentes Risiko für die Umwelt bedeuten.

[0003] Gunnar Hovestadt, Marcus Sommerfels, B. Friedrich, Substituting Coal By PCB for primary Lead Slag Treatment - A Proof of Principle, Proceedings of EMC, 2021, beschreibt das Recycling von WEEE-Materialien, indem diese einer Bleischlacke in einem Reduktionsprozess zugegeben werden und die Mischung in einem Drehtrommelofen auf Temperaturen von bis zu 1200°C erhitzt wird. Dabei wird der Ofen mit Inertgas gefüllt.

[0004] Jan Böhlke, Bernd Friedrich, Erik Hecker, Treatment of Industrial Lead and Zinc Slags in a Pilot Scale SAF, World of Metallurgy - ERZMETALL 58 (2005) No. 4, beschreibt die Behandlung von Schlacken aus der Blei- und Zinkgewinnung im Elektrolichtbogen. Dabei wird als Reduktionsmittel Braunkohlekoks verwendet und die Reaktion findet unter Luftatmosphäre oder bevorzugt unter Inertgasatmosphäre statt.

[0005] Sebastian Maurell-Lopez, Mehmet Ayhan, Marcus Eschen und Bernd Friedrich, Autotherme Metallrückgewinnung aus WEEE-Schrott, Berliner Recycling- und Rohstoffkonferenz, Band 5, Konferenzband, TK-Verlag, 2012, beschreibt ohne Bezug auf eine blei- oder zinkhaltige Schlacke die thermische Behandlung von WEEE-Schrott.

[0006] Die aus dem Stand der Technik bekannte Lösungen können jedoch noch Verbesserungspotential aufweisen, insbesondere hinsichtlich einer effizienten und umweltschonenden Behandlung beziehungsweise Aufarbeitung von metallurgischen Schlacken.

[0007] Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Maßnahme zu schaffen, durch welche wenigstens ein Nachteil des Stands der Technik zumindest teilweise überwunden wird. Es ist insbesondere eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Lösung bereitzustellen, mittels welcher eine effiziente Aufarbeitung von Metallschlacken besonders umweltfreundlich möglich ist.

[0008] Die Lösung der Aufgabe erfolgt erfindungsgemäß durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1. Bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen, in der Beschreibung und

in den Figuren offenbart, wobei weitere in den Unteransprüchen oder in der Beschreibung oder den Figuren beschriebene oder gezeigte Merkmale einzeln oder in einer beliebigen Kombination einen Gegenstand der Erfindung darstellen können, wenn sich aus dem Kontext nicht eindeutig das Gegenteil ergibt.

[0009] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Behandeln einer metallurgischen Schlacke, aufweisend die Verfahrensschritte:

- a) Bereitstellen der metallurgischen Schlacke;
- b) Bereitstellen von kohlenstoffhaltigen Elektronikbauteilen;
- c) Erhitzen der in Verfahrensschritt a) bereitgestellten metallurgischen Schlacke auf eine Prozesstemperatur zum Ausbilden einer Schlackenschmelze;
- d) Ausbilden einer Mischung aus der Schlackenschmelze der metallurgischen Schlacke und den kohlenstoffhaltigen Elektronikbauteilen, indem die kohlenstoffhaltigen Elektronikbauteile, insbesondere unter Verwendung eines Trärgases, mit einem derartigen Impuls mit der Schlackenschmelze in Kontakt gebracht werden, dass die kohlenstoffhaltigen Elektronikbauteile zumindest teilweise in die Schlackenschmelze eintauchen, wobei die Elektronikbauteile vor Verfahrensschritt d) zumindest teilweise pyrolysiert werden derart, dass bei der Pyrolyse eine Menge an Pyrolyseprodukt entsteht, durch welche das Verfahren zumindest zum Teil autotherm durchführbar ist.

[0010] Ein derartiges Verfahren kann gegenüber den Lösungen aus dem Stand der Technik deutliche Vorteile aufweisen.

[0011] Hinsichtlich der jeweiligen Verfahrensschritte wird darauf hingewiesen, dass diese nicht zwingend in der aufgelisteten Reihenfolge chronologisch ablaufen müssen, sondern grundsätzlich in einer wählbaren und gegebenenfalls auch sich überschneidenden Reihenfolge durchgeführt werden können, wenn nicht im Folgenden explizit Anderes beschrieben wird.

[0012] Das Verfahren dient insbesondere dazu, eine metallurgische Schlacke zu behandeln, um diese einer weiteren Wertschöpfung zuzuführen. Dies wird möglich, indem die in der Schlacke enthaltenen Wertstoffe gesammelt und aus der Schlacke ausgezogen werden, wobei die Schlacke weiterhin an potentiell schädlichen Substanzen, insbesondere an Schwermetallen, angereichert wird und so auch als solches einer weiteren Verwendung zugeführt werden kann, etwa im Baustoffsektor.

[0013] Hierzu umfasst das Verfahren gemäß dem Verfahrensschritt a) das Bereitstellen der metallurgischen Schlacke. In an sich bekannter Weise sind Schlacken Gemische aus verschiedenen Bestandteilen, die beispielsweise bei der Metallherstellung anfallen können. Beispielsweise enthalten Schlacken meist Oxide, Sulfide, Halogenide oder andere Bestandteile. In größerem Detail enthalten Schlacken in der Regel eine Vielzahl von

Metalloxiden, wie etwa FeO, SiO₂, CaO, MgO, Al₂O₃, oder Oxide von wirtschaftlich besonders interessanten Metallen, die auch als Wertmetalle bezeichnet werden können, wie etwa ZnO, PbO, CuO.

[0014] Eine derartige metallurgische Schlacke kann im Rahmen der Erfindung insbesondere eine solche sein, welche bei der Gewinnung von Nichteisen-Metallen anfällt und insbesondere bleihaltig und/oder zinkhaltig sein kann beziehungsweise eine oder mehrere Bleiverbindungen und/oder eine oder mehrere Zinkverbindungen aufweisen kann. Derartige beispielsweise unmittelbar bei der Metallgewinnung anfallende Schlacken werden gemäß dem Stand der Technik oftmals einer Deponie zugeführt und nicht weiter recycelt beziehungsweise weiterverwendet. Denn eine Deponierung der wertmetallhaltigen Schlacken erfolgt im Stand der Technik oftmals vor dem Hintergrund einer unrentablen konventionellen Verarbeitung dieses Reststoffs mittels eines Reduktionsverfahrens und führt somit zu einem erheblichen Verlust von natürlichen Ressourcen. Grundsätzlich ist jedoch die Behandlung mit fossilen Kohlenstoffträgern bekannt.

[0015] Um eine weitere Wertschöpfung zu ermöglichen ist es gemäß der vorliegenden Erfindung vorgesehen, dass gemäß Verfahrensschritt b) kohlenstoffhaltige Elektronikbauteile bereitgestellt werden. Gemäß der vorliegenden Erfindung ist es somit vorgesehen, dass keine fossilen Substanzen als zu pyrolysierendes Reduktionsmittel verwendet werden, sondern eben Elektronikbauteile. Unter Elektronikbauteilen können dabei grundsätzlich sämtliche aus dem Bereich der Elektronik stammende und Bauteile verwendet werden, welche in ihren Komponenten eine kohlenstoffhaltige Substanz, wie beispielsweise einen Kunststoff, aufweisen. Ferner können Elektronikbauteile insbesondere derart definiert sein, dass diese Bauteile im Betrieb stromführend sind. Dies können etwa defekte Bauteile sein, also im Wesentlichen Elektronikabfall aufweisen, oder grundsätzlich Bauteile, die einer Vernichtung beziehungsweise Verschrottung zugeführt werden sollen. Beispiele umfassen etwa Kabel, Leiterplatten, Schalter, Stecker und Ähnliches.

[0016] Im Weiteren erfolgt unter Verwendung der metallurgischen Schlacke und der kohlenstoffhaltigen Elektronikbauteile eine Reaktion, in welcher die insbesondere als Oxide in der Schlacke vorliegenden metallischen Verbindungen mit dem Kohlenstoff reduziert werden. Dabei können die Elektronikbauteile unmittelbar vor der carbothermischen Reduktion im Rahmen des Verfahrensschritts d) pyrolysiert werden, oder die Elektronikbauteile können im Vorfeld pyrolysiert werden, wie dies nachfolgend in größerem Detail beschrieben ist.

[0017] Zum Durchführen der Reaktion erfolgt gemäß Verfahrensschritt c) zunächst ein Erhitzen der in Verfahrensschritt a) bereitgestellten metallurgischen Schlacke auf eine Prozesstemperatur. Die Prozesstemperatur dient dabei dem Ausbilden einer Schlackenschmelze und im Weiteren der Reaktion der Bestandteile der Schlacke mit dem Kohlenstoff der Elektronikbauteile zum

Reduzieren der Metallverbindungen, insbesondere der Metalloxide, in der Schlackenschmelze. Beispielhafte aber in keiner Weise beschränkende Temperaturen liegen etwa in einem Bereich von 1150 °C bis 1350 °C oder auch darüber. Von Vorteil ist hier eine geeignete Temperaturregelung, um auch bei der gewünschten Reaktion eine ausreichende Temperatur einzustellen, in welcher das Vorliegen einer schmelzflüssigen Schlacke gewährleistet ist, jedoch die Reaktion weiter kontrollierbar ist, ein sogenanntes thermisches Durchgehen der Reaktion beziehungsweise ein unkontrollierter Fortgang der Reaktion somit verhindert werden können. Die Reaktionsführung kann dabei im Wesentlichen autotherm ablaufen, wie dies nachfolgend beschrieben ist.

[0018] Zweckdienlicher Weise erfolgt zumindest das initiale Erhitzen der Schlacke zwecks Durchführung der Reaktion in einem entsprechenden Prozessofen. Dieser kann grundsätzlich frei wählbar sein, insoweit er den bei der Reaktion auftretenden Bedingungen standhält und insbesondere gegenüber den in dem Ofen befindlichen Substanzen weitgehend inert ist, also die durchzuführende Reaktion nicht oder nur in tolerierbarem Maße stört beziehungsweise negativ beeinflusst.

[0019] Bei dem hier beschriebenen Verfahren werden die Elektronikbauteile vor dem nachfolgend beschriebenen Verfahrensschritt d) dabei zumindest teilweise pyrolysiert derart, dass bei der Pyrolyse eine Menge an Pyrolyseprodukt entsteht, durch welche das Verfahren zumindest zum Teil autotherm durchführbar ist. Unter einer autothermen Verfahrensführung ist im Sinne der Erfindung in an sich bekannter Weise zu verstehen, dass der Gesamtprozess unabhängig von äußerer Wärmezufuhr ist, da insbesondere eine exotherme und eine endotherme Reaktion parallel verlaufen. Entsprechend kann, wenn die Reaktion einmal gestartet ist und initial auf eine geeignete Reaktionstemperatur gebracht wurde, auf weitere Wärmezufuhr verzichtet werden oder diese kann zumindest deutlich reduziert werden, und die Reaktionstemperatur kann nur durch die ablaufende Reaktion selbst aufrecht erhalten werden.

[0020] Eine autotherme Reaktionsführung wird bei dem hier beschriebenen Verfahren möglich, indem die Elektronikbauteile vor der Reaktion zumindest teilweise pyrolysiert werden. Denn die Elektronikbauteile umfassen wie vorstehend beschrieben meist einen hohen Anteil an Kohlenstoff. Die entsprechenden kohlenstoffhaltenden organischen Verbindungen werden bei der Pyrolyse gecrackt, wobei auch als Pyrolysekoks bezeichnete Pyrolyseprodukte entstehen. Durch ein entsprechendes Verhältnis der in die Reaktion gegebenen Pyrolyseprodukte zu nicht pyrolysierten Elektronikbauteilen kann die in der Reaktion freigesetzte Wärme derart gesteuert werden, dass nur die für die Reaktion notwendige Wärme freigesetzt wird. Eine autotherme Verfahrensführung kann dabei wie folgt eingestellt werden. Würden sämtliche Elektronikbauteile pyrolysiert, würde kaum Wärme freigesetzt werden. Würden im Gegenteil die Elektronikbauteile nicht pyrolysiert, würde bei der

Reaktion eine zu hohe Temperatur entstehen, so dass eine Prozessführung erschwert würde. Bei einem exakten Verhältnis von pyrolysierten zu nicht pyrolysierten Elektronikbauteilen kann daher die bei der Reaktion freigesetzte Wärme exakt an den benötigten Wärmebedarf eingestellt werden, wodurch eine autotherme Reaktionsführung ermöglicht wird.

[0021] Ferner wird unter einer zumindest teilweise autothermen Reaktion ferner verstanden, dass überhaupt keine Wärme zugesetzt werden muss, oder aber ein stark reduzierter Wärmebetrag. Ist die Reaktion beispielsweise nur teilweise autotherm, dann muss dennoch Wärme durch eine externe Quelle zugesetzt werden. Ein vollständig autothermer Prozess ist ein solcher, der keine äußere Wärmezufuhr erfordert. Beispielsweise kann der Prozess derart durchgeführt werden, dass 15 - 35 % der Wärmeenergie hinzugegeben werden müssen, um die gewünschte Reaktionstemperatur aufrecht zu erhalten, bzw. der Prozess zu 65 - 85 % autotherm ist. Dabei bezieht sich der Anteil der Wärmeenergie auf einen Vergleich zu einem Verfahren mit vollständiger Pyrolyse der eingesetzten Elektronikbauteile.

[0022] Darüber hinaus kann es durch die Pyrolyse ermöglicht werden, dass die Elektronikbauteile reaktiver sind. Somit kann eine Pyrolyse der Pyrolysesubstanz vor dem Einbringen in die Schlackenschmelze die Effizienz des Verfahrens weiter erhöhen.

[0023] Das Vorstehende kann dadurch begründet werden, dass bei der Pyrolyse organische Komponenten cracken und neben Pyrolysegasen Pyrolysekoks bilden, der weitestgehend äquivalent ist zu dem bekannten Koks aus fossilen Stoffen.

[0024] Ein weiterer Vorteil der separaten Pyrolyse der Elektronikbauteile vor der eigentlichen carbothermischen Reduktion kann darin gesehen werden, dass durch die Pyrolyse die bei der carbothermischen Reduktion entstehende Gasmenge reduziert wird, beziehungsweise dass unter Verwendung eines bereits pyrolysierten Materials keine unerwünschten giftigen Gase bei Verfahrensschritt d) entstehen. Dadurch können schädliche Gase wie Bromide oder Chloride an der Stelle durch eine vorgeschaltete Pyrolyse gezielt entfernt werden, sodass diese schädlichen Gase die folgenden Prozessstufen nicht negativ beeinflussen.

[0025] Eine Pyrolyse der Elektronikbauteile vor Verfahrensschritt d) und damit als separater Verfahrensschritt und insbesondere in einem Ofen, der von dem Ofen des Verfahrensschritts d) verschieden ist, kann etwa durchgeführt werden bei ca. 500 °C, etwa in einem nicht beschränkenden Bereich von 500 °C bis 700 °C und unter einer inerten Atmosphäre, also unter Sauerstoffausschluss.

[0026] Eine Aktivierung der Elektronikbauteile kann auch erzielt werden durch eine Vorbehandlung, in der die Elektronikbauteile vor Verfahrensschritt d), also vor einem Einbringen in die Schlackenschmelze, zerkleinert werden. Beispielsweise können die Elektronikbauteile vor Verfahrensschritt d) geschreddert werden. Dies er-

höht die Oberfläche der Elektronikbauteile und kann so ebenfalls die Reaktivität bei der carbothermischen Reduktion und damit gleichermaßen die Effizienz des Verfahrens weiter verbessern. Darüber hinaus ist so ein Einbringen der Elektronikbauteile mittels eines Trägergases vereinfacht. Geeignete Größen, welche die Elektronikbauteile nach dem Zerkleinern aufweisen können, umfassen etwa eine Grundfläche von 10 mm - 30 mm bezogen auf Länge und Breite und eine geeignete Dicke, die etwa zu dem Bauteil vor der Zerkleinerung unverändert sein kann, dabei vorzugsweise kleiner als 30mm ist. Es versteht sich, dass Bauteile, welche zumindest in einer Dimension bereits den genannten Beispielen entsprechen, in dieser Dimension gegebenenfalls nicht weiter zerkleinert werden.

[0027] Um eine entsprechende Reaktion zu ermöglichen erfolgt gemäß Verfahrensschritt d) das Ausbilden einer Mischung aus der Schlackenschmelze der gemäß Verfahrensschritt a) bereitgestellten metallurgischen Schlacke und der kohlenstoffhaltigen Elektronikbauteile, indem die Elektronikbauteile, insbesondere unter Verwendung eines Trägergases, mit einem derartigen Impuls mit der Schlackenschmelze in Kontakt gebracht wird, dass die Elektronikbauteile zumindest teilweise in die Schlackenschmelze eintauchen, bevorzugt innig mit dieser durchmischt werden.

[0028] Somit werden die Elektronikbauteile nicht, wie etwa im Stand der Technik üblich, lediglich auf die Oberfläche der Schlackenschmelze aufgebracht, sondern es erfolgt ein Einbringen der Elektronikbauteile in die Schlackenschmelze. Dadurch können die Reaktionspartner innig durchmischt werden, was es erlaubt, dass die entsprechenden Substanzen möglichst vollständig miteinander reagieren.

[0029] Im Detail erfolgt eine carbothermische Reaktion, insbesondere eine carbothermische Reduktion, von in der metallurgischen Schlacke enthaltenen oxidischen Metallverbindungen mithilfe des Kohlenstoffs der Elektronikbauteile, indem die Elektronikbauteile bei der verwendeten Temperatur bestenfalls ebenfalls aufschmelzen, in die Schlackenphase übergehen und die Reaktion erfolgt.

[0030] Durch diese Reaktion wird zum einen die Schlacke an teilweise kritischen Elementen, wie beispielsweise an Blei, Antimon und Zinn angereichert und kann infolgedessen einer weiteren stofflichen Verwertung zugeführt werden. Nicht beschränkende Beispiele umfassen hier eine Verwertung in der Baustoffindustrie. Dies ist mit unbehandelten Schlacken aufgrund der potentiell toxischen Eigenschaften nicht oder nur sehr begrenzt möglich.

[0031] Darüber hinaus wird es so möglich, dass auch die Elektronikbauteile rezykliert werden beziehungsweise auch bezüglich dieser Bauteile eine weitere Wertschöpfung stattfindet. Denn es wird möglich, dass nicht nur der Kohlenstoff als Reduktionsmittel in der carbothermischen Reduktion verwendet wird, sondern auch weitere Wertstoffe gesammelt werden können. So weisen

Elektronikbauteile meist noch Metalle oder Metallverbindungen auf, die ebenfalls einer weiteren Verwendung zugeführt werden können.

[0032] Bei der carbothermischen Reduktion bilden sich in der Schmelze grundsätzlich zwei Phasen aus, von denen eine Phase eine metallische Phase ist, in welcher sich die metallischen Wertstoffe ansammeln. Eine zweite Phase ist die Schlackenphase, welche hinsichtlich potentiell schädlicher Substanzen abgereichert ist.

[0033] Durch das vorbeschriebene unmittelbare Einbringen der Pyrolysesubstanz in die Schmelze unter Ausbildung einer innigen Mischung kann dabei eine möglichst vollständige Umsetzung der Produkte erfolgen. In einem besonders vorteilhaften Fall können sämtliche Wertstoffe aus der Schlacke in der metallischen Phase gesammelt werden, so dass die Schlackenphase möglichst vollständig von den schädlichen Substanzen abgereichert ist. In diesem Fall kann von einer sogenannten "Zero-Waste"-Technologie gesprochen werden, indem sämtliche metallischen Wertstoffe weiterverwendet werden können und auch die nunmehr nicht mehr schädliche Schlacke ebenfalls einer weiteren Verwendung zugeführt werden kann.

[0034] Zumindest kann aber eine effektive Reduzierung von zu deponierenden mineralischen Restposten ermöglicht werden. Dies ist dabei wie vorstehend ausgeführt besonders effizient möglich, da zwei unterschiedliche Reststoffe durch eine gemeinsame Reaktion gemeinsam rezykliert und die entsprechenden Wertstoffe wiederverwendet werden können.

[0035] Darüber hinaus ist das beschriebene Verfahren auch aus ökologischer Sicht besonders vorteilhaft, da nicht, wie beim Stand der Technik üblich, auf fossile Kohle zurückgegriffen werden muss, sondern im Gegensatz dazu, gerade ansonsten nur schwer wirtschaftlich sinnvoll weiterzuverwendende Elektronikbauteile als Kohlenstoffquelle verwendet werden. Anstatt einer Umweltbelastung erfolgt somit eine Entlastung der Umwelt durch Reduzierung des Abfallstroms, was den Prozess ökologisch besonders vorteilhaft gestaltet. Dieser ökologische Vorteil kann dabei ermöglicht werden auch ohne auf Wasserstoff zurückgreifen zu müssen, der als ökologisches Reduktionsmittel wachsende Akzeptanz erfährt. Denn Wasserstoff wäre aufgrund seines edlen Charakters nicht in der Lage, Zinkoxid aus einer Schlacke zu reduzieren, was erfindungsgemäß jedoch ebenfalls ermöglicht wird und ein besonders umfassendes Verfahren ermöglicht.

[0036] Weiter bevorzugt können bei Verfahrensschritt d) die teilweise pyrolysierten kohlenstoffhaltigen Elektronikbauteile unter Verwendung eines sauerstoffhaltigen Gasgemisches als Trägergas in die metallurgische Schlacke Schlackenschmelze eingebracht werden.

[0037] Dadurch kann der in der Pyrolysesubstanz enthaltene Kohlenstoff vollständig durch die Schlackenbestandteile und/oder das Trägergas oxidiert werden. Dabei kann das Trägergas beispielsweise eine Gasmischung aus Sauerstoff mit einem Inertgas, wie etwa

Stickstoff oder Argon, sein.

[0038] Bezüglich der eingesetzten Kohlenstoffmenge kann es weiterhin von Vorteil sein, dass die Menge an bei Verfahrensschritt d) eingebrachten Sauerstoffs angepasst wird an die Menge an in den Elektronikbauteilen enthaltenem Kohlenstoff und dabei zweckmäßiger Weise bezogen auf die Elektronikbauteile, die dem Prozess zugeführt werden.

[0039] Besonders bevorzugt kann die eingetragene Sauerstoffmenge derart angepasst werden, dass bei der Umsetzung des Sauerstoffs mit dem Kohlenstoff Kohlenstoffmonoxid (CO) entsteht in einem Bereich von 30 bis 100 Vol.-%, bevorzugt 70-100 Vol.-%, besonders bevorzugt 90-100 Vol.-%, bezogen auf die entstehenden gasförmigen Reaktionsprodukte. Dadurch ergibt sich der weitere Vorteil, dass mit Kohlenstoffmonoxid ein Gas mit einer reduzierenden Wirkung erhalten wird, da Kohlenstoffmonoxid weiter etwa mit einem Metalloxid (MeO) reagiert und so Kohlenstoffdioxid (CO₂) und ein Metall (Me) entsteht. Ein weiterer Vorteil der Umsetzung des sauerstoffhaltigen Trägergases mit Kohlenstoff ist, dass Kohlenstoff als Feststoff eine deutlich kleinere Reaktionsoberfläche als das Gas Kohlenstoffmonoxid hat. Aus Gründen der Reaktionskinetik ist jedoch eine große Reaktionsoberfläche und damit eine effektive Reaktion zwischen den Reaktanten wünschenswert.

[0040] Die Entstehung von CO₂ kann bei einem Reduktionsprozess gemäß der Erfindung meist nicht verhindert werden. Auch durch die Verwendung von pyrolysiertem Elektronikschrott wird der hier enthaltene Pyrolysekoks, wie oben beschrieben, vorzugsweise zu 90 - 100 % CO umgesetzt, und dann als Reduktionsmittel für die Reduktion der Metalloxide verwendet. Die Folge ist, dass auch hierbei CO₂ und ein Metall entsteht. Jedoch ist die Verwendung eines sekundären Rohstoffs (Elektronikschrott) vorteilhafter als die Verwendung von primären Rohstoffen (z.B. Steinkohle oder Braunkohle), da die Verwendung eines sekundären Rohstoffs einen geringeren CO₂-Fußabdruck mit sich bringt.

[0041] Der anfallende Elektronikschrott wird vor dem Hintergrund gesetzlicher Vorgaben als sekundärer Rohstoff nach heutigem Stand der Technik derart einem Recyclingprozess zugeführt, dass der im Elektronikschrott enthaltene Kohlenstoff verbrannt wird und somit lediglich Wärme liefert und damit lediglich thermisch verwertet wird. In der vorliegenden Erfindung hingegen wird der im Elektronikschrott enthaltene Kohlenstoff für die zur Metallgewinnung unabdingbaren carbothermischen Reduktion verwendet.

[0042] Bevorzugt kann die metallurgische Schlacke wenigstens eines von Blei, Zink, Kupfer, Nickel, Antimon, Zinn und Silber in metallischer Form oder oxidischen Form umfassen. Eine derartige Schlacke ist meist eine Schlacke der Blei-, Kupfer- oder Nickelgewinnung. Insbesondere derartige Schlacken umfassen eine Vielzahl an Wertstoffen, die vorteilhaft gesammelt und einer weiteren Verwendung zugeführt werden können. Darüber hinaus müssen derartige Schlacken oftmals aufwändig

deponiert werden, was hohe Kosten mit sich bringt. Somit ist das hier beschriebene Verfahren insbesondere bei den vorbeschriebenen Schlacken in vorteilhafter Weise anwendbar.

[0043] Es kann weiterhin bevorzugt sein, dass Verfahrensschritt c) in einem Elektrolichtbogenofen oder einem brennstoffbeheizten Ofen durchgeführt wird. Derartige Öfen können problemlos auf die geforderte Prozessstemperatur erhitzt werden, so dass das Ablaufen der carbothermischen Reduktion wie vorstehend beschrieben sicher umsetzbar ist. Darüber hinaus sind derartige Öfen hinsichtlich der umzusetzenden Substanzen weitgehend inert ausbildbar, so dass die gewünschte Reaktion in definierter Weise abläuft. Dies kann noch durch die problemlose Prozesssteuerung derartiger Öfen verbessert werden. Ein brennstoffbeheizter Ofen ist grundsätzlich mit jedem geeigneten Brennstoff, wie etwa Gas, erheizbar. Nicht beschränkende Beispiele umfassen etwa einen Kammerofen, Konverter oder Trommelofen. Durch das Vorsehen einer autothermen Reaktionsführung kann es dabei ermöglicht werden, dass der Ofen die enthaltene Reaktionsmischung initial erhitzt und nach Einsetzen der Reaktion keine oder nur begrenzte Wärmezufuhr liefert.

[0044] Hinsichtlich der Prozessführung kann es besonders vorteilhaft sein, dass die Elektronikbauteile derart mit der Schlackenschmelze in Kontakt gebracht werden, dass sie von oben oder seitlich in die Schlackenschmelze eingebracht werden. Bei einem Einbringen von oben kann beispielsweise eine Lanze verwendet werden, mittels der die Elektronikbauteile mit Trärgas, in die Schlackenschmelze eingebracht werden. Bei einem seitlichen Einbringen können an der Ofenwandung beispielsweise Düsen vorgesehen sein, die ein entsprechendes Einbringen unmittelbar in die Schlackenschmelze erlauben.

[0045] Grundsätzlich kann der gewählte Impuls abhängig sein von den einzubringenden Teilen und den Viskositätseigenschaften der Schlackenschmelze. Beispielhafte und in keiner Weise beschränkende Drücke, mit welchen die Elektronikbauteile, insbesondere gemeinsam mit einem Trärgas, in die Schlackenschmelze eingebracht werden können, liegen beispielhaft in einem Bereich von ≥ 10 bar bis ≤ 50 bar für ein Einbringen etwa mittels Lanze von oben und von ≥ 3 bar bis ≤ 10 bar für ein Einbringen durch seitliche Düsen.

[0046] Besonders bevorzugt können die Elektronikbauteile WEEE-Bauteile sein. Unter WEEE - (Waste of Electrical and Electronical Equipment) Bauteile sind insbesondere derartige Bauteile zu verstehen, die für den Betrieb mit Wechselspannung von höchstens 1000 Volt oder Gleichspannung von höchstens 1500 Volt ausgelegt sind und dabei elektrischen Strom oder elektromagnetische Felder erzeugen, übertragen, messen oder zum eigenen Betrieb benötigen. Derartige Bauteile sind somit insbesondere einer Entsorgung zuzuführende Geräte, die beispielsweise für den Hausgebrauch verwendet wurden. Die Geräte enthalten meist Wertstoffe, wie

etwa Wertmetalle, beispielsweise Kupfer, Aluminium, Zinn und Edelmetalle, in metallischer Form. Diese können durch den Schmelzprozess bei der carbothermischen Reduktion aufschmelzen und ebenfalls in der metallischen Sammlerphase sich anreichern. Weitere in WEEE-Materialien meist vorhandene Stoffe umfassen meist Metalloxide, welche dann aufschmelzen und Teil der Schlackenphase werden, oder bevorzugt reduziert werden und wiederum Metalle bereitstellen, die sich in der Metallphase ansammeln.

[0047] Somit bieten insbesondere WEEE-Materialien einen effizienten Ansatz, Abfall zu reduzieren und stattdessen im Rahmen des beschriebenen Verfahrens die Wertschöpfungskette zu erweitern.

[0048] In keiner Weise beschränkende Beispiele für WEEE-Bauteile umfassen etwa Platinen oder Leiterplatten.

[0049] Das hier beschriebene Verfahren bietet somit Vorteile insbesondere gegenüber herkömmlichen Rezyklierungsverfahren für WEEE-Materialien. Denn das Rezyklieren von WEEE geschieht nach heutigem Stand üblicherweise in Kombination mit dem Rezyklieren von Kupferschrott, sodass die im WEEE vorliegenden Wertmetalle, vor allem Edelmetalle, in einem sogenannten Schwarzkupfer angereichert und in einer nachfolgenden Raffinationselektrolyse in Form von Anodenschlamm ausgetragen werden. Ein Nachteil dieses Verfahrens besteht in einer relativ langen Rücklaufzeit der im WEEE enthaltenen Wertmetalle, da alleine die Raffinationselektrolyse eine Dauer von über drei Wochen in Anspruch nimmt. Alternativ wird WEEE bei der Verhüttung von Kupfer- und Bleikonzentraten beigemischt, sodass die im WEEE vorhandenen Wertmetalle in einer stark verdünnten Form in das metallische Kupfer bzw. Blei übergehen. Hierbei besteht für den Kupferherstellungsprozess die bereits beschriebene Problematik der langen Rücklaufzeit für die Wertmetalle; dieser Umstand trifft auch für den Weg der komplexen Bleiraffination zu. Weiterhin liegen die aus dem WEEE extrahierten Wertmetalle im Kupfer bzw. Blei bei niedriger Zugabe von WEEE in einer stark verdünnten Form vor, während bei einer hohen Zugabe von WEEE die Viskosität der Schlacke zum Nachteil des Prozesses ansteigt.

[0050] Demgegenüber können die im WEEE vorliegenden Wertmetalle, vor allem Edelmetalle, im Gegensatz zu aktuellen Recyclingprozessen gemäß der vorliegenden Erfindung mit einer kürzeren Rücklaufzeit wieder genutzt werden.

[0051] Es kann weiterhin bevorzugt sein, dass eine in Verfahrensschritt d) anfallende Metallphase zumindest zum Teil abgetrennt wird und eine in Verfahrensschritt d) anfallende Schlackenphase zumindest zum Teil erneut mit Elektronikbauteilen umgesetzt wird. In dieser Ausgestaltung kann ausgenutzt werden, dass sich die besonders werthaltigen Stoffe, nämlich die Metalle, in der Metallphase ansammeln und durch ein Abtrennen aus der Mischung gut wiederverwendet werden können. Beispiele für in der Metallphase anfallende Substanzen

umfassen etwa Blei, Kupfer oder Nickel, mit in jener enthaltenen Begleitelemente wie Antimon, Zinn, Silber, Blei und Kupfer.

[0052] Die Schlacke kann unter erneuter Zugabe von Elektronikbauteilen weiterverwendet werden, so dass eine möglichst umfassende Reaktion der in der Schlacke befindlichen Wertstoffe erfolgen kann. Schließlich kann die Schlacke beispielsweise in der Bauwirtschaft weiterverwendet werden.

[0053] Beispielsweise kann eine derartige Menge an etwa pyrolysierten Elektronikbauteilen zur Schlacke gegeben werden, bis eine ausreichende Menge an Wertmetalloxiden aus der Schlacke reduziert ist. Danach wird auch die saubere Schlacke, wie die Metallphase aus dem Ofen fast vollständig entnommen. Ein kleiner Teil der sauberen Schlacke wird als Sumpf im Ofen belassen, damit im Nachfolgenden die chargierte feste Schlacke schneller aufschmelzen kann.

[0054] Beispielsweise erfolgt nach Beendigung der metallurgischen Prozessierung und der Trennung von Schlacke und Metall der Abstich beider Phasen durch je eine Abstichöffnung.

[0055] Es kann weiterhin bevorzugt sein, dass sich in der Gasphase der Reaktion befindlicher Feststoff gesammelt wird. Somit kann insbesondere sich in der Gasphase oberhalb der Schlackenmischung befindlicher Feststoff gesammelt und aus dem Ofen entfernt werden. Dies ist beispielsweise möglich unter Verwendung entsprechender Filter. Beispielsweise wird ein staubhaltiges Abgas während des Prozesses aus dem Ofen abgesaugt und einer Abgasreinigung zugeführt. Grundsätzlich kann das etwa entstaubte Abgas zur Vorwärmung der zu chargierenden Pyrolysesubstanz genutzt werden.

[0056] In dieser Ausgestaltung wird dem Rechnung getragen, dass Zink, welches als Zinkoxid in der Schlacke enthalten ist, sich erheblich von den übrigen Begleitelementen unterscheidet, da dieses in dem Moment der carbothermischen Reduktion unmittelbar zum metallischen Zink verdampft, da es eine Siedetemperatur von 906 °C aufweist und in der Gasphase über der Schmelze in Kontakt mit Luftsauerstoff wieder zu Zinkoxid reagiert. Dieses Zinkoxid ist nicht mehr in der Schmelze, sondern als Feststoff (Staub) im Prozessgas. Wird es aus dem Prozessgas gefiltert, kann auf diese Weise Zink in Form von Zinkoxid gewonnen werden. Dieser Schritt kann die Effizienz des Verfahrens somit noch weiter verbessern.

[0057] Zusammenfassend stellt das hier beschriebene Verfahren somit einen effizienten Ansatz bereit, um sowohl anfallende Schlacke insbesondere aus Nicht-Eisen-Prozessen als auch Elektronikbauteile effizient zu rezyklieren und so die Menge von zu deponierenden mineralischen Reststoffen zu minimieren. Dies bietet Vorteile sowohl in ökologischer, als auch in ökonomischer Hinsicht, wodurch ein nachhaltiger Umgang mit natürlichen Rohstoffen (zero waste) gestärkt werden kann. Dadurch kann ein Beitrag zur Umsetzung der Kreislaufwirtschaft (circular economy) geleistet werden.

[0058] Weiterhin kann unter Anwendung der Erfindung

der CO₂-Fußabdruck reduziert werden, da für den Energieeintrag beispielsweise im Elektrolichtbogenofen ausschließlich elektrische Energie vorzugsweise aus regenerativen Energiequellen zum Einsatz kommen kann und der in den Elektronikbauteilen, etwa im pyrolysierten WEEE, enthaltene Kohlenstoff vollständig für die notwendigen chemischen Reaktionen genutzt wird. Somit ist die CO₂-Emission des beschriebenen Verfahrens verglichen mit einem konventionellen Prozess, bei dem fossiler Kohlenstoff sowohl als Energieträger sowie auch als Reagenz verbraucht wird, deutlich niedriger.

[0059] Nachfolgend wird die Erfindung unter Bezugnahme auf die anliegenden Zeichnungen exemplarisch erläutert, wobei die nachfolgend dargestellten Merkmale sowohl jeweils einzeln als auch in Kombination einen Aspekt der Erfindung darstellen können, und wobei die Erfindung nicht auf die folgende Zeichnung, die folgende Beschreibung und das folgende Ausführungsbeispiel beschränkt ist.

[0060] Es zeigen:

Fig. 1 schematisch eine Schnittansicht durch einen Ofen zum Durchführen des erfindungsgemäßen Verfahrens; und;

Fig. 2. eine Draufsicht auf einen Deckel für einen Ofen gemäß Figur 1.

[0061] Figur 1 zeigt einen Ofen 10, in welchem ein Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung ausgeführt werden kann. Im Detail ist der Ofen 10 ein gasbefeuert rotierender Konverter, auch bekannt als TBRC (Top Blown Rotary Converter). Der Ofen 10 umfasst eine mit einem geeigneten feuerfesten Material zugestellte drehbare Trommel 12, in welcher das erfindungsgemäße Verfahren zumindest zum Teil durchgeführt werden kann. Die Trommel 12 ist durch einen Deckel 14 verschließbar, der in einer Draufsicht in der Figur 2 gezeigt ist.

[0062] Durch den Deckel 14 verläuft eine Lanze 16, eine Absaugung 18 und ein Brenner 20 in die Trommel. Entsprechend weist der Deckel 14 drei Durchgangsöffnungen 22, 24, 26 auf.

[0063] Zum Durchführen des erfindungsgemäßen Verfahrens wird eine metallurgische Schlacke 28 bereitgestellt, welche auf eine Prozesstemperatur zum Ausbilden einer Schlackenschmelze 30 in dem Ofen 10 beziehungsweise in der Trommel 12 erhitzt wird. Insbesondere kann die metallurgische Schlacke 28 wenigstens eines von Blei, Zink, Kupfer, Nickel, Antimon, Zinn und Silber in metallischer Form oder in oxidischer Form oder als Mischung einer metallischen Form und einer oxidischen Form umfassen. Somit liegt die in der Figur 1 dargestellte metallurgische Schlacke 28 als Schlackenschmelze 30 vor. Hierzu kann der Brenner 20 etwa mit fossilem Brennstoff und Luft beziehungsweise Sauerstoff betrieben werden und die Trommel 12 durch eine Flamme 32 erhitzen.

[0064] Weiterhin werden zumindest teilweise pyrolysierte und/oder gegebenenfalls zerkleinerte kohlenstoffhaltige Elektronikbauteile 34 bereitgestellt, welche ins-

besondere unter Verwendung eines Trägergases, wie etwa eines sauerstoffhaltigen Gasgemisches, durch die Lanze 16 in die Trommel 12 eingeführt werden. Bevorzugt sind die Elektronikbauteile 34 WEEE-Bauteile. Hinsichtlich der Pyrolyse ist es ferner vorgesehen, dass die Elektronikbauteile vor dem Einbringen in die Schlackenschmelze zumindest teilweise pyrolysiert werden derart, dass bei der Pyrolyse eine Menge an Pyrolyseprodukt entsteht, durch welche das Verfahren zumindest zum Teil autotherm durchführbar ist.

[0065] Entsprechend wird es möglich, eine Mischung aus der Schlackenschmelze 30 der metallurgischen Schlacke 28 und den kohlenstoffhaltigen Elektronikbauteilen 34 auszubilden, indem die kohlenstoffhaltigen Elektronikbauteile 34, insbesondere unter Verwendung eines Trägergases, mit einem derartigen Impuls mit der Schlackenschmelze 30 in Kontakt gebracht werden, dass die kohlenstoffhaltigen Elektronikbauteile 34 zumindest teilweise in die Schlackenschmelze 30 eintauchen. Dies ist in der Figur 1 gezeigt. Figur 1 zeigt ferner, dass durch das Einbringen der Elektronikbauteile 34, insbesondere unter Verwendung des Trägergases, eine Turbulenz in der Mischung beziehungsweise in der Schlackenschmelze 30 entsteht, welche die Durchmischung und daher den Kontakt der Reaktanden verbessert.

[0066] Im Folgenden erfolgt in der Schlackenschmelze 30 eine carbothermische Reaktion, insbesondere eine carbothermische Reduktion, von in der metallurgischen Schlacke 28 enthaltenen oxidischen Metallverbindungen mithilfe des Kohlenstoffs der Elektronikbauteile 34, indem die Elektronikbauteile 34 bei der verwendeten Temperatur bestenfalls ebenfalls aufschmelzen, in die Schlackenphase 36 übergehen und die Reaktion erfolgt. Durch diese Reaktion wird zum einen die Schlacke 28 an teilweise kritischen Elementen, wie beispielsweise an Blei, Antimon und Zinn angereichert und kann infolgedessen einer weiteren stofflichen Verwertung zugeführt werden. Darüber hinaus wird es so möglich, dass auch die Elektronikbauteile 34 rezykliert werden beziehungsweise auch bezüglich dieser Bauteile eine weitere Wertschöpfung stattfindet. Denn es wird möglich, dass nicht nur der Kohlenstoff als Reduktionsmittel in der carbothermischen Reduktion verwendet wird, sondern auch weitere Wertstoffe gesammelt werden können. So weisen Elektronikbauteile 34 meist noch Metalle oder Metallverbindungen auf, die ebenfalls einer weiteren Verwendung zugeführt werden können.

[0067] Bei der carbothermischen Reduktion bilden sich grundsätzlich zwei Phasen aus, von denen eine Phase eine Metallphase 38 ist, in welcher sich die metallischen Wertstoffe ansammeln. Eine zweite Phase ist die Schlackenphase 36, welche hinsichtlich potentiell schädlicher Substanzen angereichert ist.

[0068] Durch die Absaugung 18 kann ferner staubhaltiges Prozessgas aus dem Ofen 10 entfernt und bevorzugt gesammelt werden. Wird der Staub aus dem Prozessgas gefiltert, kann auf diese Weise Zink in Form von

Zinkoxid gewonnen werden. Dieser Schritt kann die Effizienz des Verfahrens somit noch weiter verbessern.

[0069] Bevorzugt kann die Menge an eingebrachtem Sauerstoff angepasst werden an die Menge an in den Elektronikbauteilen 34 enthaltenem Kohlenstoff derart, dass bei der Umsetzung des Sauerstoffs mit dem Kohlenstoff Kohlenstoffmonoxid entsteht in einem Bereich von 30 bis 100 Vol.-%, bezogen auf sämtliche gasförmige Reaktionsprodukte. Dadurch ergibt sich der weitere Vorteil, dass mit Kohlenstoffmonoxid ein Gas mit einer reduzierenden Wirkung erhalten wird, da Kohlenstoffmonoxid weiter etwa mit einem Metalloxid (MeO) reagiert und so Kohlenstoffdioxid (CO₂) und ein Metall (Me) entsteht.

15 Bezugszeichen

[0070]

- | | |
|----|-----------------------|
| 10 | Ofen |
| 20 | Trommel |
| 14 | Deckel |
| 16 | Lanze |
| 18 | Absaugung |
| 20 | Brenner |
| 25 | 22 Durchgangsöffnung |
| | 24 Durchgangsöffnung |
| | 26 Durchgangsöffnung |
| | 28 Schlacke |
| | 30 Schlackenschmelze |
| 30 | 32 Flamme |
| | 34 Elektronikbauteile |
| | 36 Schlackenphase |
| | 38 Metallphase |

35

Patentansprüche

1. Verfahren zum Behandeln einer metallurgischen Schlacke (28), aufweisend die Verfahrensschritte:

40

a) Bereitstellen der metallurgischen Schlacke (28);

b) Bereitstellen von kohlenstoffhaltigen Elektronikbauteilen (34);

45

c) Erhitzen der in Verfahrensschritt a) bereitgestellten metallurgischen Schlacke (28) auf eine Prozesstemperatur zum Ausbilden einer Schlackenschmelze (30);

d) Ausbilden einer Mischung aus der Schlackenschmelze (30) der metallurgischen Schlacke (28) und den kohlenstoffhaltigen Elektronikbauteilen (34), indem die kohlenstoffhaltigen Elektronikbauteile (34), insbesondere unter Verwendung eines Trägergases, mit einem derartigen Impuls mit der Schlackenschmelze (30) in Kontakt gebracht werden, dass die kohlenstoffhaltigen Elektronikbauteile (34) zumindest teilweise in die Schlackenschmelze (30) eintauchen, wo-

55

- bei
die Elektronikbauteile (34) vor Verfahrensschritt
d) zumindest teilweise pyrolysiert werden der-
art, dass bei der Pyrolyse eine Menge an Pyro-
lyseprodukt entsteht, durch welche das Verfah-
ren zumindest zum Teil autotherm durchführbar
ist. 5
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekenn-
zeichnet, dass** bei Verfahrensschritt d) die teilweise
pyrolysierten kohlenstoffhaltigen Elektronikbauteile
(34) unter Verwendung eines sauerstoffhaltigen
Gasgemisches als Trägergas in die metallurgische
Schlackenschmelze (30) eingebracht werden. 10
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **da-
durch gekennzeichnet, dass** die Menge an bei Ver-
fahrensschritt d) eingebrachtem Sauerstoff ange-
passt wird an die Menge an in den Elektronikbautei-
len (34) enthaltenem Kohlenstoff. 15 20
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 oder 3, **da-
durch gekennzeichnet, dass** die Sauerstoffmenge
derart angepasst wird, dass bei der Umsetzung des
Sauerstoffs mit dem Kohlenstoff Kohlenstoffmono-
oxid entsteht in einem Bereich von 30 bis 100 Vol.-%,
bezogen auf sämtliche gasförmigen Reaktionspro-
dukte. 25
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **da-
durch gekennzeichnet, dass** die metallurgische
Schlacke (28) wenigstens eines von Blei, Zink, Kup-
fer, Nickel, Antimon, Zinn und Silber in metallischer
Form oder in oxidischer Form oder als Mischung ei-
ner metallischen Form und einer oxidischen Form 30 35
umfasst.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **da-
durch gekennzeichnet, dass** Verfahrensschritt c)
in einem Elektrolichtbogenofen oder einem brenn-
stoffbeheizten Ofen (10) durchgeführt wird. 40
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **da-
durch gekennzeichnet, dass** die kohlenstoffhalti-
gen Elektronikbauteile (34) derart mit der Schlacken-
schmelze (30) in Kontakt gebracht werden, dass sie
von oben oder seitlich in die Schlackenschmelze
(30) eingebracht werden. 45
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **da-
durch gekennzeichnet, dass** die Elektronikbautei-
le (34) vor Verfahrensschritt d) zerkleinert werden. 50
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **da-
durch gekennzeichnet, dass** die Elektronikbautei-
le (34) WEEE-Bauteile sind. 55
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **da-
durch gekennzeichnet, dass** eine in Verfahrens-
schritt d) anfallende Metallphase (38) zumindest
zum Teil abgetrennt wird und eine in Verfahrens-
schritt d) anfallende Schlackenphase (36) zumindest
zum Teil erneut mit Elektronikbauteilen (34) umge-
setzt wird.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **da-
durch gekennzeichnet, dass** sich in der Gasphase
der Reaktion befindlicher Feststoff gesammelt wird.

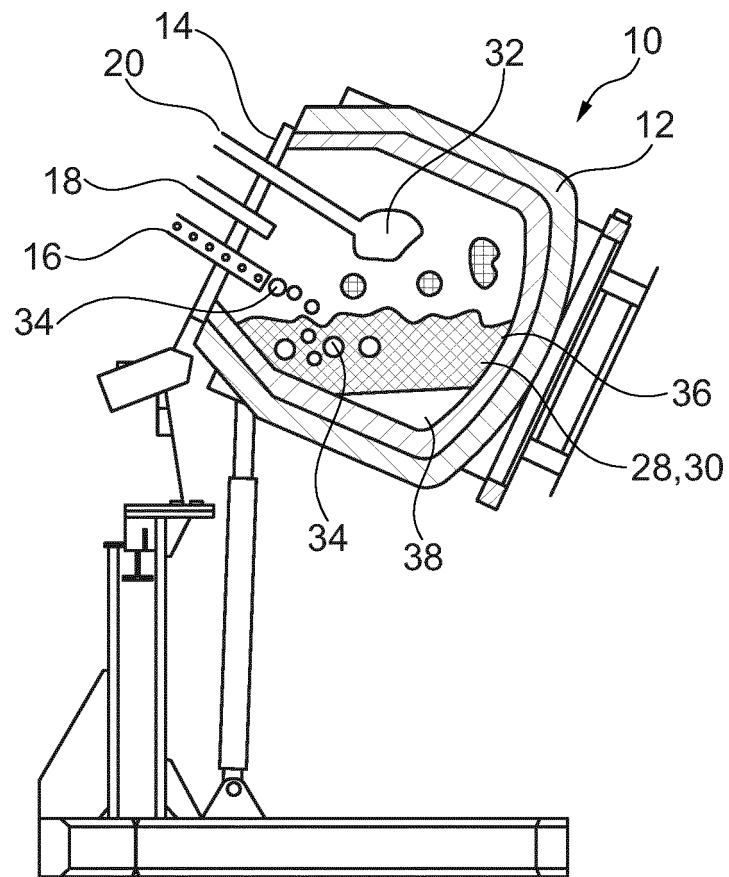


Fig. 1

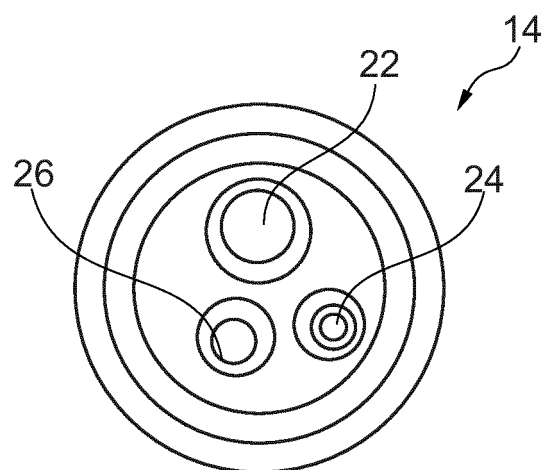


Fig. 2



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 23 16 6642

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	VEST M ET AL: "Rückgewinnung von Wertmetallen aus Batterieschrott", CHEMIE INGENIEUR TECHNIK, WILEY VCH. VERLAG, WEINHEIM; DE, [Online] Bd. 82, Nr. 11, 5. Oktober 2010 (2010-10-05), Seiten 1985-1990, XP071040014, ISSN: 0009-286X, DOI: 10.1002/CITE.201000135	1, 5-11	INV. C22B7/04 C22B1/02 C22B5/12 C22B7/00 C22B11/00 C22B13/02 C22B15/00 C22B19/30 C22B23/02 C22B25/06
A	* Absätze 2.2, 2.2.1-2.2.3 * * Absatz 3 * * Absatz 4 * * Tabelle 1 *	2-4	
Y	LOTFIAN SAMIRA ET AL: "Plastic-containing materials as alternative reductants for base metal production", CANADIAN METALLURGICAL QUARTERLY, [Online] Bd. 58, Nr. 2, 15. Februar 2019 (2019-02-15), Seiten 164-176, XP093074172, CA ISSN: 0008-4433, DOI: 10.1080/00084433.2018.1532951 Gefunden im Internet: URL:https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/00084433.2018.1532951> * Absätze 2.1-2.4 * * Absätze 3.1-3.6 * * Tabellen 2-4 * * Abbildungen 1-4 *	1-11	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) C22B
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 16. August 2023	Prüfer Neibecker, Pascal
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 23 16 6642

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
Y	Hovestadt Gunnar ET AL: "Substituting Coal by PCB for primary Lead Slag Treatment -A Proof of Principle", 28. Juni 2021 (2021-06-28), Seiten 1-14, XP093074183, Gefunden im Internet: URL:https://www.researchgate.net/publication/352786479_Substituting_Coal_by_PCB_for_primary_Lead_Slag_Treatment_-_A_Proof_of_Principle [gefunden am 2023-08-16] * das ganze Dokument * -----	1-11	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort		Abschlußdatum der Recherche	
Den Haag		16. August 2023	
		Prüfer	
		Neibecker, Pascal	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur			

1
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **GUNNAR HOVESTADT ; MARCUS SOMMERFELS ; B. FRIEDRICH.** Substituting Coal By PCB for primary Lead Slag Treatment - A Proof of Principle. *Proceedings of EMC*, 2021 [0003]
- **JAN BÖHLKE ; BERND FRIEDRICH ; ERIK HECKER.** Treatment of Industrial Lead and Zinc Slags in a Pilot Scale SAF. *World of Metallurgy - ERZMETALL*, 2005, vol. 58 (4 [0004]
- Autotherme Metallrückgewinnung aus WEEE-Schrott. **SEBASTIAN MAURELL-LOPEZ ; MEHMET AYHAN ; MARCUS ESCHEN ; BERND FRIEDRICH.** Berliner Recycling- und Rohstoffkonferenz. TK-Verlag, 2012, vol. 5 [0005]