



Ausschliessungspatent

Erteilt gemäß § 5 Absatz 1 des Aenderungsgesetzes
zum Patentgesetz

ISSN 0433-6461

(11)

202 363

Int.Cl.³

3(51) H 05 B 7/07

AMT FUER ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) AP H 05 B/ 2392 304
(31) P3116258.4

(22) 22.04.82
(32) 23.04.81

(44) 07.09.83
(33) DE

- (71) siehe (73)
(72) BAUER, HANNSGEORG, DR., DIPL.-ING.; AT; ZOELLNER, DIETER H., DR., DIPL.-CHEM.; DE;
LAUTERBACH-DAMMLER, INGE, DR., DIPL.-CHEM.; DE; SCHIEBER, FRANZ; DE;
RITTMANN, FRIEDRICH; DE; LIPPERT, WOLFGANG, DIPL.-CHEM.; DE; OTTO, JOSEF, DR., DIPL.-ING.; DE;
MUEHLENBECK, JOSEF; DE;
(73) ARC TECHNOLOGIES SYSTEMS LTD, CAYMAN ISLANDS, KY
(74) INTERNATIONALES PATENTBUERO, BERLIN, 1020 BERLIN, WALLSTRASSE 23/24

(54) ELEKTRODE FUER LICHTBOGENOEFEN UND VERFAHREN ZU DEREN VERWENDUNG

(57) Es wird eine Elektrode für Lichtbogenöfen aus einem oberen Abschnitt (5) aus Metall und einem verzehrbaren unteren Abschnitt (6) aus Kohlenstoffmaterial, die eine im wesentlichen zylindrische Form aufweisen und durch einen Schraubnippel (1) oder dergleichen miteinander verbunden sind, beschrieben, wobei der obere Abschnitt eine Flüssigkeits-Kühleinrichtung mit einem Vorlauf (2) und einem Rücklauf (3) aufweist und der obere Abschnitt vorzugsweise in dessen unterem Bereich durch eine hochtemperaturfeste Beschichtung (4) geschützt sein kann, die dadurch gekennzeichnet ist, daß das Kohlenstoffmaterial nur zum Teil aus graphitischen Strukturelementen gebildet oder hiervon frei ist. Die Elektrode besitzt eine bevorzugte Anwendung in Verfahren zur Erzeugung von Stahl. Figur

239230 4

- 1 -

Elektrode für Lichtbogenöfen und Verfahren zu deren
Verwendung

ANWENDUNGSGEBIET:

Die Erfindung ist anwendbar an Elektroden für Lichtbo-
genöfen aus einem oberen Abschnitt aus Metall und einem
5 verzehrbaren unteren Abschnitt aus Kohlenstoffmaterial,
die eine im wesentlichen zylindrische Form aufweisen
und durch einen Schraubnippel oder dergleichen miteinander
verbunden sind, wobei der obere Abschnitt eine
Flüssigkeits-Kühleinrichtung mit einem Vorlaufkanal und
10 einem Rücklaufkanal aufweist und der obere Abschnitt
vorzugsweise in dessen unterem Bereich durch eine hoch-
temperaturfeste Beschichtung geschützt sein kann, sowie
bei Verfahren zu deren Verwendung.

15 CHARAKTERISTIK DER BEKANNTEN TECHNISCHEN LÖSUNGEN:

Lichtbogenöfen zur Erzeugung von Elektrostahl, Kupfer,

22 APR 1982*004717

Korund, Kobalt, Silizium, etc., werden bisher mit Graphit-elektroden als stromzuführenden Elementen betrieben.

Üblicherweise setzt sich ein Elektrodenstrang aus mehreren, miteinander durch Schraubverbindungen oder dergleichen verbundenden Graphiteinheiten zusammen. Häufig werden drei Elektrodenstränge als stromführende Elemente pro Ofen für diese elektrothermischen Hochtemperaturschmelzprozesse eingesetzt.

10 Es sind auch bereits Kombinationselektroden aus einem Metallschaft, an denen durch eine Schraubverbindung, wie Nippel, etc., eine Spitze aus Kohlenstoffmaterial angefügt ist, für den Lichtbogenofenbetrieb beschrieben worden.

15 So sind in der DE-OS 15 65 751 Elektroden für elektrische Lichtbogenöfen beschrieben worden, die aus einem oberen metallischen Kopfstück, einem unteren metallischen Kopfstück, aus beide miteinander verbindenden elektrischen Leitern, aus einer diese Leiter und das untere Kopfstück einschliessenden keramischen Masse und aus einem
20 unteren Kopfstück auswechselbar befestigten Elektroden-
spitze bestehen.

Eine flüssigkeitsgekühlte Elektrode ist auch aus der
25 DE-OS 28 45 367 bekannt, die einen am Elektrodenträgarm befestigten zylindrischen Einspannteil, ein an diesem befestigtes, den Elektrodenstrom führendes metallisches Kühlsystem, das am freien Ende einen Gewindeteil zum Aufschrauben der Elektroden spitze trägt, und einen rohrförmigen Hitzeschirm, der das Kühlsystem in dem der
30 Ofenatmosphäre ausgesetzten Bereich mit Abstand und in

fester räumlicher Zuordnung zu diesem enthält, aufweist.

Aus der europäischen Patentoffenlegungsschrift 12 573 geht eine Kombinationselektrode hervor, bei der der
5 seitlich aussenliegende metallische Kontakt des Metallschafte gegenüber dem innenliegenden metallischen Kühlungssystem isolierend gelagert ist. Im unteren Teil des metallischen Kühlungsschafte ist eine mit Haken gesicherte keramische Beschichtung vorgesehen, die sich bis etwa
10 auf die Höhe der Schraubnippelverbindung erstreckt, mit der ein Kohlenstoffteil angefügt ist.

Derartige Kombinationselektroden sind im Prinzip bereits seit längerer Zeit bekannt, so z.B. aus der im
15 Jahre 1912 ausgegebenen DE-PS 268 660.

Kombinationselektroden sind im Lichtbogenofenbetrieb starker Beanspruchung ausgesetzt. Dies erklärt sich aus den hohen Arbeitstemperaturen, z.B. bei Elektrostahlerzeugung, bei der solche Elektroden am häufigsten eingesetzt werden.
20

Wegen der hohen Temperaturen ergeben sich Verluste durch Seitenoxidation des Kohlenstoffteils. Auch besteht die
25 Gefahr der Wanderung oder der seitlichen Ansetzung des Lichtbogens, die im Störfall auch oberhalb des Kohlenstoffteils erfolgen kann und zu Kurzschlüssen führt. Darüber hinaus sind die Elektroden unterschiedlichen Temperaturen im Vorlauf und Rücklauf des Kühlmittels sowie
30 im Bereich des Kohlenstoffteils gegenüber der Stromzuführungs- und Kühlungseinheit unterworfen. Eine besonders

gefährdete Stelle stellt hierbei der Bereich des Schraubnippels dar.

Die Elektroden müssen aber auch mannigfachen mechanischen Beanspruchungen genügen, die beim Kippen des Ofens, durch Vibrationen - begünstigt durch zu grosses Spiel der Tragarme, durch Schrottversetzungen beim Einschmelzen, sowie beim Aufsetzen des Stranges auf isolierende Bestandteile beim Schrott unter anderem auftreten.

10

Dazu kommt, dass im Verlauf der letzten 10 bis 15 Jahre die Elektroden zur Verringerung der Schmelzzeiten steigender elektrischer (und damit auch thermischer) Belastung ausgesetzt sind. Durch die ständig zunehmenden Beanspruchungen an die Elektroden haben sich auch extreme Forderungen an die Qualität der Kohlenstoffstränge, seien es solche, die ausschliesslich aus Kohlenstoffmaterial bestehen, seien es solche die an einen gekühlten Metallschaft angenippelt sind, ergeben. Hierbei wurden die Anforderungen an Graphitteile im Hinblick auf deren Dichte, spezifischen elektrischen Widerstand, thermische Ausdehnung, Wärmeleitfähigkeit, Festigkeit und Elastizität sowie thermische Schockfestigkeit, laufend gesteigert. Dies hat nicht nur zu einer Intensivierung der Graphitierungsprozesse, die über längere Zeiträume bei höheren Temperaturen durchgeführt wurden, sondern auch zu zusätzlichen Nachverdichtungsverfahren, etc., geführt. Der zur Erfüllung derartiger Anforderungen erforderliche sehr hohe Grad der Umwandlung in Graphit hat mit sich gebracht, dass hierfür lediglich petrochemische Nadelkokse hoher Qualität als Ausgangsstoffe herangezogen werden konnten. Die

15

20

25

30

Verwendung solcher teuren, aus petrochemischen Rohstoffen zugängigen Premiumkokse mit einem hohen Grad an struktureller Vororientierung bringt andere Schwierigkeiten mit sich. Diese liegen unter anderem darin, dass die Herstellung solcher Ausgangskokse aufgrund der be-
5 grenzt verfügbaren, schwefelarmen Erdölvorkommen in ihrer Menge limitiert ist. Weiterhin muss in der Graphitierungsstufe des Herstellungsprozesses der Elektroden-
teile ein erhebliches Mass an elektrischer Energie zum Erreichen der weitgehenden Graphitierung aufgewandt wer-
10 den. Schliesslich ergeben sich im Übergangsbereich zwischen gekühltem Metallschaft und hieran angefügtem Graphitteil durch eine Temperaturdifferenz in der Grössenordnung von 500 K oder mehr, unterschiedliche thermi-
15 sche Ausdehnungen und elektrische Überlastungen des Nippelbereiches.

ZIEL DER ERFINDUNG:

20 Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, Elektroden für den Lichtbogenofenbetrieb zu schaffen, die den dort herrschenden erheblichen mechanischen, thermischen und elektrischen Beanspruchungen in besonders geeigneter Weise gewachsen sind. Hierbei soll durch Abstimmung von
25 gekühltem Metallschaft und Kohlenstoffteil aufeinander, eine für den Praxisbetrieb besonders geeignete Elektrode zur Verfügung gestellt werden, deren Herstellung bzw. Betrieb in wirtschaftlicherer Weise als bislang erfolgen kann.

30

WESEN DER ERFINDUNG:

5 Diese Aufgabe wird durch die Schaffung einer Elektrode für Lichtbogenöfen der eingangs genannten Art gelöst, die dadurch gekennzeichnet ist, dass das Kohlenstoffma-
terial nur zum Teil aus graphitischen Strukturelementen gebildet oder hiervon frei ist.

10 Die Erfindung baut mit auf der überraschenden Feststellung auf, dass sich bei Einsatz von Kohlenstoffmaterialien geringerwertiger Qualität, als sie bislang für den Lichtbogenofenbetrieb als unabdingbar erachtet worden ist, gleichwohl ein gutes Praxisverhalten bei Kombina-
15 tionselektroden ergibt. Insbesondere hat es sich herausgestellt, dass bei Einsatz von Kohlenstoffmaterial, das nur zum Teil aus graphitischen Strukturelementen gebildet oder hiervon völlig oder nahezu frei ist, die befürchtete Rissbildung oder Abplatzungen nicht auf-
treten.

20 Das Kohlenstoffmaterial ist bei der erfindungsgemässen Elektrode über einen an sich bekannten Schraubnippel, der z.B. aus Graphit oder auch aus Metall bestehen und auch gekühlt sein kann, mit dem Metallschaft verbunden.
25 Der Metallschaft, der auch als Stromzuführung zu dem Kohlenstoffteil angesehen werden kann, besteht im allgemeinen aus einem hochleitfähigen Metall, z.B. Kupfer. In dem Metallschaft ist ein Flüssigkeitskühlsystem vorgesehen, das einen Vorlauf- und Rücklaufkanal aufweisen
30 kann, der gegebenenfalls auch zumindest einen Teil des Schraubnippels äusserlich oder auch innerlich zu kühlen

vermag. Derartige Konstruktionen des Metallschaftes, der zumindest teilweise durch eine hochtemperaturfeste Beschichtung äusserlich geschützt sein kann, sind bekannt.

5

Nach einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung sind die Länge und der Durchmesser des unteren Abschnittes aus Kohlenstoffmaterial derart gewählt, dass im Vergleich zu Elektrodensträngen gleicher oder entsprechender Gesamtdimensionierung, die ausschliesslich aus graphitischem Kohlenstoffmaterial bestehen, eine zumindest gleiche elektrische Belastbarkeit gegeben ist.

10

Bei der erfindungsgemässen Elektrode ist die Dimensionierung des oberen Abschnittes aus Metall und des unteren Abschnittes aus Kohlenstoffmaterial derart aufeinander abgestimmt, dass der Metallschaft zumindest mit einem Teil in den Lichtbogenofen selbst regelmässig eingeführt ist. Bei Versuchen hat sich gezeigt, dass vorteilhaft der Kohlenstoffteil eine Ausgangslänge von ca. 2 bis 3 m bei Gesamtelektrodenausgangslängen von ca. 5,5 bis 8 m, vorzugsweise 6 bis 7 m, aufweist.

15

20

Der Anteil an graphitischen Strukturelementen innerhalb des unteren Abschnittes aus Kohlenstoffmaterial kann im Bereich von 0 bis 90 Gew.% liegen. Dabei hat es sich als besonders günstig herausgestellt, wenn der Anteil an graphitischen Strukturelementen im Bereich von 50 bis 85 Gew.%, besonders bevorzugt aber 60 bis 80 Gew.%, bezogen auf das Gewicht des Kohlenstoffmaterials, beträgt.

25

30

Als "graphitische Strukturelemente" im Rahmen der Erfindung sollen im wesentlichen Naturgraphit oder Elektrographit oder ein Gemisch hiervon verstanden werden. Als Elektrographit kann beispielsweise Abfallgraphit, z.B. aus der synthetischen Graphiterzeugung, herangezogen werden.

Die "nichtgraphitischen" Strukturanteile des Kohlenstoffmaterials bestehen aus Anthrazit, Zechenkoks und/oder Normalpetrolkoks, wobei im Rahmen der Erfindung der untere Abschnitt auch vollständig aus diesen Materialien oder Gemischen hiervon bestehen kann. Wie vorstehend bereits dargelegt worden ist, hat es sich als günstig erwiesen, wenn in dem unteren Abschnitt das Kohlenstoffmaterial im Bereich von 0 bis 90 Gew.%, vorzugsweise 50 bis 85 Gew.%, besonders bevorzugt aber 60 bis 80 Gew.%, aus Elektrographit bzw. Naturgraphit oder einem Gemisch hiervon und der Rest aus Anthrazit, Zechenkoks und/oder Normalpetrolkoks gebildet ist.

Nachstehend werden einige typische Daten für die Qualitäten von Ausgangsmaterialien angegeben, aus denen der untere Abschnitt teilweise oder vollständig bestehen kann:

25

30

239230 4

- 9 -

Daten für Elektrodenqualitäten

	Kohle			Hartgraphit	Naturgraphit
spezifischer elektr. Widerstand	$\Omega\text{mm}^2/\text{m}$	45 ... 60	20 ... 30	9 ... 13	
Druckfestigkeit	N/mm^2	30 ... 50	20 ... 30	20 ... 30	
Biegefestigkeit	N/mm^2	8 ... 11	6 ... 12	9 ... 13	
Rohdichte	g/cm^3	1,52 ... 1,60	1,52 ... 1,60	1,50 ... 1,65	
Porosität	%	14 ... 16	20 ... 24	13 ... 20	
thermischer Ausdehnungskoeffizient (20 ... 500°C)	$1/\text{K}$	4,3 ... $6,0 \cdot 10^{-6}$	4,3 ... $6,0 \cdot 10^{-6}$	---	
Wärmeleitfähigkeit	W/mk	6 ... 12	6 ... 12	2 ... 8	

Der untere Abschnitt der erfindungsgemässen Elektrode kann auf an sich bekannte Weise hergestellt werden. Hierunter sind insbesondere aber die Herstellung durch Vibration oder durch Strangpressung hervorzuheben. Derartige Verfahren sind bekannt.

Das als unterer Abschnitt in der erfindungsgemässen Elektrode verwendete Kohlenstoffmaterial weist besonders vorteilhaft einen spezifischen elektrischen Widerstand im Bereich von 10 bis 30 $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ auf. Durch Versuche konnte jedoch ein besonders günstiges Betriebsverhalten der Elektroden festgestellt werden, deren Kohlenstoffmaterial einen spezifischen elektrischen Widerstand im Bereich von 10 bis 20 $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ und insbesondere 13 bis 20 $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ aufwies.

Der Durchmesser des unteren Abschnittes liegt im allgemeinen im Bereich von ca. 200 bis 600 mm. Besonders günstige Ergebnisse wurden mit Durchmessern des unteren Abschnittes im Bereich von ca. 300 bis 400 mm erzielt. Der Durchmesser des oberen Abschnittes aus Metall kann gegenüber dem Durchmesser des unteren Abschnittes grösser, aber auch geringer gewählt sein.

Die Rohdichte des Kohlenstoffmaterials des unteren Abschnittes liegt besonders bevorzugt im Bereich zwischen 1,50 und 1,65 g/cm^3 .

Eine im Rahmen der Erfindung besonders günstige Elektrode, bei der der obere Abschnitt aus Metall etwa die Hälfte der Gesamtlänge der Elektrode oder mehr ausmacht,

besitzt einen Kohlenstoffteil mit ca. 50 bis 85 % an graphitischen Strukturelementen aus Naturgraphit und/oder Elektrographit, wobei die nichtgraphitischen Strukturanteile aus Anthrazit, Zechenkoks und/oder Normalpetrolkoks bestehen, wobei der spezifische elektrische Widerstand des unteren Abschnittes im Bereich von 10 bis 20 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ bei einer Rohdichte im Bereich zwischen 1,50 und 1,65 g/cm^3 liegt.

Die erfindungsgemässen Elektroden zeichnen sich durch günstiges Betriebsverhalten bei störungsfreiem Betrieb aus. Die Kohlenstoffmaterialien des unteren Abschnittes lassen sich gegenüber den herkömmlich eingesetzten Vollgraphitelektroden aus billigeren Rohstoffen durch einfachere Herstellungsverfahren erzeugen. Daher wird bei gleicher elektrischer Belastbarkeit eine Verbilligung des Elektrodenbetriebes ermöglicht.

Obwohl gegenüber den herkömmlich eingesetzten, hochwertigen Graphitqualitäten ein Kohlenstoffmaterial geringerer Qualität Einsatz findet, werden Abplatzungen, Rissbildung auch im Übergangsbereich zwischen oberem und unterem Abschnitt im wesentlichen nicht beobachtet. Dabei hat sich die Verwendung von Nippeln aus Hochqualitätsgraphit mit einer gegenüber dem Kohlenstoffmaterial des unteren Abschnittes erhöhten Dichte und gleichzeitig vermindertem elektrischen Widerstand besonders bewährt.

Die erfindungsgemässe Elektrode hat ihre bevorzugte Anwendung zur Herstellung von Stahl im Lichtbogenofenbetrieb. Sie kann aber auch zur Herstellung von Buntmetallen, wie Kupfer oder Kobalt, aber auch zur Herstellung

von Korund, Silizium, etc., eingesetzt werden.

Bei der Herstellung von Elektrostahl werden die erfindungsgemässen Kombinationselektroden bei Durchmessern des unteren Abschnittes aus Kohlenstoffmaterial im Bereich von 300 bis 400 mm vorzugsweise mit maximalen Phasenströmen im Bereich von 10 bis 30 KA mit besonderem Vorteil eingesetzt.

10 Nachstehend wird eine Ausführungsform einer erfindungsgemässen Elektrode im Längsschnitt in der Figur gezeigt, wobei die Erfindung nicht hierauf beschränkt ist.

Bei der gezeigten Elektrode wird das Kühlmedium, im Regelfall Wasser, durch den Vorlaufkanal 2 ein- und durch den Rücklaufkanal 3 zurückgeführt. Dabei tritt das Kühlmedium auch in eine Kammer innerhalb des Schraubnippels 1, der z.B. aus Gusseisen gebildet ist, ein. Der obere Abschnitt 5 aus Metall besteht hier aus einem oberen Bereich grösseren Durchmessers und einem tieferliegenden Bereich geringeren Durchmessers, der bis in den Schraubnippel 1 eingezogen ist, der die Verbindung zu dem unteren Abschnitt 6 aus Kohlenstoffmaterial darstellt, das nur zum Teil aus graphitischen Strukturelementen gebildet ist oder hiervon frei ist. Die hochtemperaturfeste Beschichtung 4 ist aus einer Anzahl einzelner Formteile gebildet, die auf einem Lager 7 getragen sein können. An die hochtemperaturfeste Isolierung 4 schliesst sich hier eine elektrisch leitende Zwischenschicht 11 an, die nach innen durch den vorgezogenen, innenliegenden Metallschaft bzw. dessen Abschnitt geringeren Durchmessers 12 begrenzt ist.

Neben den Kühlbohrungen 15 können zusätzliche Bohrungen vorgesehen sein, durch die eingeführte Stifte über eine Feder für einen guten Sitz der hochtemperaturfesten Formteile sorgen.

5

In der Figur sind schliesslich Backen 18 gezeigt, über die der Strom der Elektrode zugeführt wird.

Der Gegenstand der Erfindung ist jedoch nicht auf die in der Figur gezeigte Konstruktion beschränkt. So sind z.B. im Rahmen der Erfindung Konstruktionen besonders vorteilhaft, die Abweichungen zu dem in der Figur gezeigten Elektrodentyp aufweisen. Bei solchen Elektroden, die im Rahmen der Erfindung bevorzugt sind, weist der Metallschaft einen im wesentlichen konstanten Durchmesser auf. Auf diesen können Ringe aus hochtemperaturfestem Material - mit Vorzug solche aus Graphit - aufgeschraubt werden. Das Kühlsystem kann hierbei mit Vorzug derart ausgebildet sein, dass der Nippel in seinem oberen äusseren Bereich durch das Kühlmedium umströmt wird, dieses aber in den Nippel selbst nicht eintritt. Eine elektrisch leitende Zwischenschicht ist bei solchen Konstruktionen nicht immer vorgesehen. Solche und andersartige Ausführungsformen der erfindungsgemässen Elektrode sind im Rahmen der Erfindung mit eingeschlossen, soweit das Kohlenstoffmaterial des verzehrbaren unteren Abschnittes nur zum Teil aus graphitischen Strukturelementen gebildet oder hiervon frei ist.

Der Einsatz einer erfindungsgemässen Elektrode wird im nachstehenden Beispiel beschrieben.

AUSFÜHRUNGSBEISPIEL:

- Es wurde eine Kombinationselektrode aus einem wasser-
gekühlten Kupferschaft eingesetzt, der durch ein Kühl-
system aus Vor- und Rücklauf mit Wasser gekühlt wurde.
Der Kupferschaft war im Bereich des Ofens durch einen
hochtemperaturbeständigen Belag geschützt. Der Kupfer-
schaft war über einen Graphitnippel mit dem Kohlen-
stoffmaterial verschraubt, das im wesentlichen aus Ab-
fallgraphit aus der synthetischen Graphiterzeugung
bestand. Das Kohlenstoffmaterial wies eine Rohdichte
von 1,62 g/cm³ und einen spezifischen elektrischen Wider-
stand von 18,5 Ω mm²/m auf.
- Drei derartige Elektroden wurden in einem Ofen mit 50 t
Fassungsvermögen und drei Phasen mit einem maximalen
Phasenstrom von 50.000 A bei einer Betriebsspannung von
490 V eingesetzt.
- Es ergab sich ein spezifischer Elektrodenverbrauch im
Bereich von 4,8 kg/t Stahl, bei im wesentlichen störungs-
freiem Betrieb.

ERFINDUNGSANSPRUCH:

1. Elektrode für Lichtbogenöfen aus einem oberen Abschnitt aus Metall und einem verzehrbaren unteren Abschnitt aus Kohlenstoffmaterial, die eine im wesentlichen zylindrische Form aufweisen und durch einen Schraubnippel oder dergleichen miteinander verbunden sind, wobei der obere Abschnitt eine Flüssigkeits-Kühleinrichtung mit einem Vorlaufkanal und einem Rücklaufkanal aufweist und der obere Abschnitt vorzugsweise in dessen unterem Bereich durch eine hochtemperaturfeste Beschichtung geschützt sein kann, g e k e n n z e i c h n e t dadurch, dass das Kohlenstoffmaterial nur zum Teil aus graphitischen Strukturelementen gebildet oder hiervon frei ist.
2. Elektrode nach Punkt 1, g e k e n n z e i c h n e t dadurch, dass die Länge und der Durchmesser des unteren Abschnittes derart gewählt sind, dass im Vergleich zu Elektrodensträngen gleicher oder entsprechender Gesamtdimensionierung, die ausschliesslich aus graphitischem Kohlenstoffmaterial bestehen, eine zumindest gleiche elektrische Belastbarkeit gegeben ist.
3. Elektrode nach Punkt 1, g e k e n n z e i c h n e t dadurch, dass der Anteil an graphitischen Strukturelementen 0 bis 90 Gew.% beträgt.
4. Elektrode nach Punkt 1 bis 3, g e k e n n z e i c h n e t dadurch, dass der Anteil an

graphitischen Strukturelementen 50 bis 85 Gew.% beträgt.

5. Elektrode nach Punkt 1 bis 4, g e k e n n -
5 z e i c h n e t dadurch, dass die graphitischen
Strukturelemente aus Naturgraphit und/oder Elek-
trographit bestehen.
6. Elektrode nach Punkt 1 bis 5, g e k e n n -
10 z e i c h n e t dadurch, dass die nichtgraphiti-
schen Strukturanteile aus Anthrazit, Zechenkoks
und/oder Normalpetrolkoks gebildet sind.
7. Elektrode nach Punkt 1 bis 6, g e k e n n -
15 z e i c h n e t dadurch, dass der unter Abschnitt
vollständig aus Anthrazit, Zechenkoks und/oder
Normalpetrolkoks gebildet ist.
8. Elektrode nach Punkt 1 bis 7, g e k e n n -
20 z e i c h n e t dadurch, dass der untere Abschnitt
durch Vibration oder Strangpressung erzeugt ist.
9. Elektrode nach Punkt 1 bis 8, g e k e n n -
25 z e i c h n e t dadurch, dass der spezifische
elektrische Widerstand des unteren Abschnittes im
Bereich von 10 bis 30 $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ liegt.
10. Elektrode nach Punkt 1 bis 9, g e k e n n -
30 z e i c h n e t dadurch, dass der spezifische
elektrische Widerstand des unteren Abschnittes
im Bereich von 10 bis 20 $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ liegt.

11. Elektrode nach Punkt 1 bis 10, g e k e n n -
z e i c h n e t dadurch, dass der Durchmesser des
unteren Abschnittes im Bereich von ca. 200 bis
800 mm liegt.
- 5
12. Elektrode nach Punkt 1 bis 11, g e k e n n -
z e i c h n e t dadurch, dass der Durchmesser
des unteren Abschnittes im Bereich von ca. 300 bis
400 mm liegt.
- 10
13. Elektrode nach Punkt 1 bis 12, g e k e n n -
z e i c h n e t dadurch, dass der Durchmesser
des unteren Abschnittes geringer als der des obe-
ren Abschnittes aus Metall ist.
- 15
14. Elektrode nach Punkt 1 bis 13, g e k e n n -
z e i c h n e t dadurch, dass die Rohdichte im
Bereich zwischen 1,50 und 1,65 g/cm³ liegt.
- 20
15. Verfahren zur Erzeugung von Stahl im Lichtbogenofen-
betrieb unter Verwendung von Elektroden nach Punkt
1 bis 14.
- 25
16. Verfahren nach Punkt 15, g e k e n n z e i c h -
n e t dadurch, dass man bei Elektrodendurchmes-
sern von ca. 300 bis 400 mm maximale Phasenströme
von 10 bis 30 KA einsetzt.

239230 4

