



PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 151/96
(22) Anmeldetag: 29. 1.1996
(42) Beginn der Patentdauer: 15. 9.1999
(45) Ausgabetag: 25. 4.2000

(51) Int. Cl.⁷: **C21C 5/52**
C22B 9/18, B22D 21/10

(30) Priorität:

(73) Patentinhaber:

INTECO - INTERNATIONALE TECHNISCHE
BERATUNG GESELLSCHAFT M.B.H.
A-8600 BRUCK A.D. MUR, STEIERMARK
(AT).

(56) Entgegenhaltungen:
EP 0280766A2 JP 136469A US 3921699A
US 4145563A

(72) Erfinder:
HOLZGRUBER WOLFGANG DIPL.ING. DR.
BRUCK A.D. MUR, STEIERMARK (AT).
HOLZGRUBER HARALD DIPL.ING.
BRUCK A.D. MUR, STEIERMARK (AT).

(54) VERFAHREN ZUM ELEKTROSCHLACKE-STRANGSCHMELZEN VON METALLEN

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum kontinuierlichen Umschmelzen von Metallen, insbesondere von Stählen und Ni- bzw. Co-Basislegierungen in einer kurzen unten offenen wassergekühlten Kokille zur Herstellung von Strängen, welche entweder durch kontinuierliches oder schrittweises Abziehen aus der Kokille oder bei feststehenden Strängen entsprechendes Anheben der Kokille gebildet werden.

Um einerseits eine ausreichend hohe und damit wirtschaftliche Schmelzrate und andererseits eine hohe Qualität der Umschmelzstränge im Hinblick auf die Erstarrungsstruktur sicherzustellen, soll die Abschmelzrate so eingestellt werden, daß sie dem 1,5 bis 30-fachen des aus dem Umfang des Gießquerschnitts (U) errechneten äquivalenten Strangdurchmessers (D_{aq}) gemäß der Beziehung

$$D_{aq} = U/\pi$$

entspricht, wobei das Verhältnis der Querschnittsfläche der Abschmelzelektrode zur Querschnittsfläche des Gießquerschnitts größer ist als 0,5.

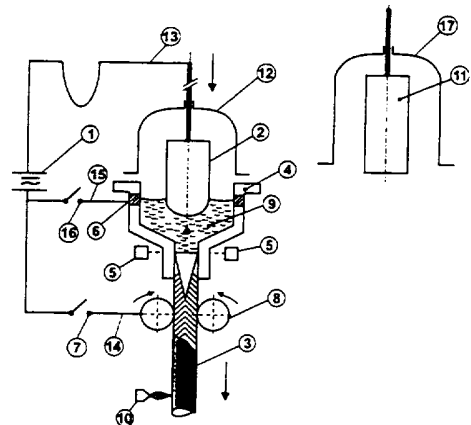


Fig. 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum kontinuierlichen Umschmelzen von Metallen, insbesondere von Stählen sowie Ni- und Co-Basislegierungen durch Abschmelzen einer oder mehrerer selbstverzehrender Elektroden in einem elektrisch leitenden Schlackenbad in einer kurzen, nach unten offenen Kokille, aus der der teilweise erstarrte Strang kontinuierlich oder schrittweise entweder durch Abziehen des Stranges nach unten oder durch Anheben der Kokille nach oben abgezogen wird und eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

Bei der Herstellung von beispielsweise hochlegierten Werkzeugstählen, wie beispielsweise Schnellarbeitsstählen, ledeburitischen Chromstählen oder anderen stark seigernden Stählen und Legierungen ist die Herstellung kontinuierlich gegossener Stränge mit kleinen bis mittleren Querschnitten mit Problemen verbunden.

Aus der DE-1 608 082A ist ein Stranggießverfahren mit hoher Gießgeschwindigkeit bekannt, wie es notwendigerweise angewendet werden muß, um eine annehmbare Oberflächenqualität, die für die Weiterverarbeitung geeignet ist, zu erreichen. Die dafür erforderlichen Gießgeschwindigkeiten zusammen mit der notwendigen Überhitzung des Metalls haben Sumpflängen von mehreren Metern zufolge, die ihrerseits die Ursache für die Ausbildung starker Kernseigerungen, gepaart mit Schwindungshohlräumen, sind.

Aus derartigen Gußsträngen hergestellter Stabstahl ist für einen großen Teil der Einsatzfälle nicht verwendbar.

Aus den DE-1 483 646A und DE-1 932 763 A sind ebenso wie aus der AT 320 884 B verschiedene Varianten des Elektroschlacke-Umschmelzverfahrens bekannt. Die dort beschriebenen Verfahren mit selbstverzehrenden Elektroden ermöglichen die Herstellung von Umschmelzblöcken mit guter Oberfläche bei langsamer Blockaufbaugeschwindigkeit. Die dabei auftretenden geringen Sumpftiefen führen zu einer gleichmäßigen Erstarrung zwischen Rand und Kern und damit zu einer guten Innenqualität der umgeschmolzenen Blöcke. Die Anwendung kurzer Kokillen mit absenkbaaren Bodenplatten und Elektrodenwechsel erlaubt auch hier die Herstellung relativ langer Stränge. Bei der Herstellung kleiner Abmessungen wird jedoch die Erzeugung der erforderlichen Abschmelzelektroden schwierig und die Verfahrenskosten aufgrund der dann geringen Umschmelzraten werden hoch.

Um das Problem der Herstellbarkeit von Elektroden mit kleinen Querschnitten zu umgehen, wurde die Verwendung sogenannter Trichter- oder T- Kokillen vorgeschlagen, bei welchen die Kokille in einem nach oben trichterförmig erweiterten Teil das Schlackenbad aufnimmt und so ein Abschmelzen von Elektroden ermöglicht, deren Querschnitt größer als der Querschnitt des herzustellenden Umschmelzblockes ist, wie dies in der US 4,145.563 A beschrieben ist. Im weiteren wird in der US 4,145.563 A ausgeführt, dass die Wachstumsgeschwindigkeit des umgeschmolzenen brammenförmigen Blockes zur Vorschubgeschwindigkeit der Abschmelzelektrode sich verhält wie die Querschnittsflächen von Elektrode zu Gießquerschnitt. Angaben betreffend die Umschmelzrate werden allerdings nicht gemacht.

Auch aus der US 3,921.699 A ist ein Verfahren zur Herstellung von Hohlblöcken bekannt, bei welchem die Kokille trichterförmig erweitert ist und Abschmelzelektroden verwendet werden, deren Querschnitt größer ist als der Querschnitt des Umschmelzblockes. Der in einer feststehenden Kokille erzeugte Hohlblock wird nach unten abgezogen. Zwecks Vermeidung der Ausbildung einer schlechten Oberfläche ist hier eine Beheizung des Meniskus über nichtverzehrbare Hilfselektroden vorgesehen. Damit können vor allem niedrige Abschmelzraten angewendet werden, da die Zusatzbeheizung über nichtverzehrbare Elektroden ein Voreilen der Erstarrung über den Meniskus hinweg verhindert.

Der Einsatz von Hohlelektroden mit einem kleineren Außendurchmesser als der Durchmesser des hergestellten Umschmelzblocks ist aus der JP 6-136.469 A bekannt, in welcher ein Verfahren zur Herstellung einer Ni-Fe-Superlegierung beschrieben ist.

Während beim Stranggießen bei Formaten zwischen 100 und 200 mm rund oder quadrat selbst bei langsamem Gießen Gießleistungen von mindestens 5 - 10 t je Stunde und Strang erforderlich sind, betragen die Abschmelzraten beim ESU- Verfahren maximal 100 - 200 kg je Stunde bei denselben Formaten. Beim Stranggießen ergeben sich damit Sumpftiefen zwischen 4 und 8 Meter. Die Sumpftiefen beim ESU- Verfahren betragen dagegen 100 - 300 mm.

Gemäß einer anderen Verfahrensweise (AT-399.463 B bzw. EP 280.766 A2) wird vorgeschlagen, Stränge aus hochlegierten Stählen, mit wesentlich geringeren Gießgeschwindigkeiten als beim Stranggießen üblich, zu gießen, um eine verbesserte Kernzone zu erreichen bei gleichzeitiger Abdeckung des Gießspiegels durch ein elektrisch beheiztes Schlackenbad, um keine Nachteile hinsichtlich der Ausbildung der Oberfläche aufgrund zu starker

Abkühlung in Kauf nehmen zu müssen. Dabei wird vorausgesetzt, daß das flüssige Metall über längere Zeit mit konstanter Temperatur aus einer beheizbaren Pfanne verfügbar gemacht werden kann.

Bei diesem Verfahren stellt sich vielfach wieder das Problem des Warmhaltens größerer Flüssigmetallmengen über einen längeren Zeitraum. Dies ist insbesondere dann von Bedeutung, wenn nur mit einem Strang gearbeitet wird. So ergeben sich beispielsweise beim Vergießen von Schmelzen mit 25 t Gesamtgewicht zu einem Strang mit z.B. 150 mm Ø mit einer Gießrate von beispielsweise 2000 kg/h Gießzeiten von 12,5 Stunden. Während dieser Zeit muß die Schmelze in einem Zwischengefäß oder einer Pfanne warmgehalten werden, was wieder entsprechende Energieverluste und einen Verbrauch an feuerfester Ausmauerung zur Folge hat.

Andererseits besteht auch das Problem der Kontrolle der Gießgeschwindigkeit im Bereich von 2000 kg/h, da die hier zum Einsatz kommenden Ausgüsse mit etwa 8 mm Ausgußöffnung bei niedrigen Gießtemperaturen zum Einfrieren oder Zuschmieren neigen. Um dies zu vermeiden, muß mit einer überaus hohen Überhitzung des Metalls im Verteiler gearbeitet werden, was wieder zu einer Erhöhung der Sumpftiefe im gegossenen Strang führt und so der Zielsetzung der Verringerung der Sumpftiefe entgegenwirkt.

Wie Versuche gezeigt haben, können die oben geschilderten Nachteile der einzelnen bekannt gewordenen Verfahren in überraschend einfacher Weise vermieden bzw. umgangen werden, wenn beim an sich bekannten Elektroschlacke- Umschmelzverfahren mit erheblich höheren Abschmelzraten gearbeitet wird, als dies dem Stand der Technik entspricht. Dabei werden Abschmelzelektroden mit einem im Vergleich zum Gießquerschnitt großen Querschnitt verwendet, um eine unerwünschte Überhitzung des von der Elektrodenstirnfläche abschmelzenden Metalls möglichst gering zu halten.

Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist somit ein Verfahren zum Elektroschlacke- Umschmelzen, bei welchem bei Verwendung von Abschmelzelektroden von vergleichsweise großem Querschnitt wesentlich höhere Abschmelzraten angewendet werden, als dies der herkömmlichen Arbeitsweise beim Elektroschlacke- Umschmelzen entspricht.

Gute Ergebnisse werden bereits erzielt, wenn die Querschnittsfläche der Abschmelzelektrode(n) mindestens 50 % der Querschnittsfläche des herzustellenden Stranges beträgt. Die Querschnittsfläche der Abschmelzelektrode(n) kann aber auch größer sein als der Gießquerschnitt.

Hinsichtlich der Abschmelzrate in kg/h hat sich gezeigt, daß diese bei Rundquerschnitten schon aus Gründen der Wirtschaftlichkeit mindestens das 1,5-fache, aus Gründen einer dichten Erstarrungsstruktur im Kern aber nicht mehr als das 30-fache des Durchmessers in mm betragen soll. Bei Strangformen, welche vom Rundquerschnitt abweichen, kann mit einem Wert für den äquivalenten Durchmesser $D_{\text{äq}}$ gearbeitet werden, der aus dem Umfang abgeleitet werden kann gemäß

$$D_{\text{äq}} = U/\pi.$$

Besonders gute Ergebnisse hinsichtlich Energieverbrauch und Qualität der Oberfläche bei gleichzeitig guter Zentrumsstruktur werden erzielt, wenn die Abschmelzrate in kg/h dem 5 - 15-fachen des äquivalenten Durchmessers $D_{\text{äq}}$ in mm entspricht und das Verhältnis der Querschnittsfläche der Abschmelzelektrode(n) zur Querschnittsfläche des herzustellenden Gießquerschnitts gleich oder größer ist als 1,0. In diesem Fall muß in einer an sich bekannten Trichter- oder T- Kokille umgeschmolzen werden, wobei der neue, umgeschmolzene Strang im unteren, engeren Teil der Kokille gebildet wird und das über dem Gießspiegel befindliche Schlackenbad bis in den trichterförmig erweiterten Teil reicht, wo dann die Spitze der Abschmelzelektrode in diese eintaucht.

Dieses hier vom Prinzip her geschilderte vorteilhafte erfindungsgemäße Verfahren kann in vielfacher Weise an die Erfordernisse des Betreibers angepaßt werden.

So kann beispielsweise die Kokille fix in eine Arbeitsbühne eingebaut sein und der Strang nach unten abgezogen werden. Diese Anordnung erweist sich insbesondere dann als zweckmäßig, wenn eine kontinuierliche Arbeitsweise wünschenswert ist. Wenn der Strangabzug durch eine dafür geeignete, unterhalb der Kokille angebrachte Vorrichtung bewirkt wird, können die erzeugten Stränge unterhalb der Strangabzugsvorrichtung, beispielsweise durch eine vom Stranggießen her bekannte Brennschneidanlage, auf die gewünschte Länge geschnitten werden. Ist die Möglichkeit des Elektrodenwechsels gegeben, so kann eine vollkontinuierliche Arbeitsweise erreicht werden.

Für die Herstellung von Einzelsträngen kann aber auch der Strang auf einer feststehenden Bodenplatte aufgebaut werden und die Kokille in der Weise angehoben werden, wie der Strang anwächst.

Das Abziehen des Stranges bzw. Anheben der Kokille können kontinuierlich oder schrittweise erfolgen.

Ferner besteht die Möglichkeit, die Kokille oszillieren zu lassen, was insbesondere bei einem kontinuierlichen Strangabzug von Interesse sein kann.

Im Falle einer schrittweisen Strangabzugs- oder Kokillenhubbewegung kann zusätzlich an jeden Hubschritt unmittelbar ein Gegenhubschritt anschließen, wobei die Schrittlänge des Gegenhubschritts bis zu 60 % der Schrittlänge des Abzugs- Hubschritts betragen kann.

Für die Herstellung höchstreiner Umschmelzstränge kann das Abschmelzen der verzehrbaren Elektrode in einem, durch beispielsweise eine die Elektrode umgebende Haube, gebildeten Raum mit kontrollierter Atmosphäre erfolgen.

Beim konventionellen Elektroschlacke-Umschmelzverfahren fließt der Schmelzstrom durch die Schlacke zwischen Elektrodenspitze und Schmelzsumpf oder bei biphilaren oder dreiphasig angespeisten Anlagen zwischen den Elektroden. Eine derartige Stromführung ist auch beim erfindungsgemäßen Verfahren möglich.

Wenn mit trichterförmigen Kokillen gearbeitet wird, werden auch gute Ergebnisse mit einer an sich bekannten Stromführung zwischen Elektrode und Kokillenwand erzielt.

Zu besonders guten Ergebnissen hinsichtlich der Wärmeverteilung im Schlackenbad führt eine Anordnung, bei welcher die Elektrode mit dem einen Pol des Transformators verbunden ist, während der zweite Pol des Transformators gleichzeitig sowohl mit dem Strang als auch mit einem oder mehreren in die Kokillenwand eingebauten stromleitenden Elementen verbunden ist.

Beispiel: Zur Erprobung der erfindungsgemäßen Technologie wurde an einer ESU- Anlage mit Hebekokille ein Versuch gefahren.

Kokille	:	Trichterkokille, Durchmesser unten 160 mm, Durchmesser oben 350 mm
Abschmelzelektrode	:	220 mm Durchmesser
Stahl	:	S-6-5-2

Nach dem Aufschmelzen von 55 kg Schlacke der Zusammensetzung 30 % CaO, 30 % Al₂O₃, 40 % CaF₂ wurde der Kokillenhub so eingestellt, daß der Stahlspiegel etwa 20 - 30 mm unterhalb des Trichteransatzes im unteren Kokillenteil mit 160 mm Ø gehalten wurde.

Die elektrische Leistung wurde auf 750 kW bei 10 KA und 75 Volt im Schlackenbad eingestellt, wobei die Energie über die Elektrode in das Schlackenbad eingebracht wurde und sowohl über den Strang als auch über die Kokillenwand des trichterförmig erweiterten oberen Teils abgeleitet wurde.

Bei diesen Bedingungen stellte sich eine Abschmelzrate zwischen 820 und 900 kg/h ein. Dementsprechend wurde die Kokille mit einer mittleren Geschwindigkeit von 87 -95 mm/min. angehoben, wobei das Heben schrittweise mit ca. 10 mm Schrittlänge erfolgte. Die Hubfrequenz wurde über eine radioaktive Gießspiegelmessung kontrolliert und gesteuert.

Es wurde ein Strang mit ca. 3,0 m Länge erzeugt. Die Strangoberfläche war gut, sodaß vor der Warmverformung keine Oberflächenbehandlung erforderlich war. Der Strang wurde ohne Schwierigkeiten auf einen Knüppel mit 100 mm quadrat auf einem Schmiedehammer vorgeschmiedet.

Die metallographische Erprobung ergab eine gleichmäßig feinkörnige Karbidverteilung. Zentrumsseigerungen wurden nicht festgestellt.

Ein Schema einer möglichen Vorrichtung für die Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens zeigt Fig. 1. Darin wird mit 1) eine Stromquelle bezeichnet, die entweder Wechselstrom oder Gleichstrom abgibt und welche mit dem einen Pol über eine Zuleitung 13) mit der Elektrode 2) verbunden ist, die durch eine geeignete, hier nicht dargestellte Vorrichtung so bewegt wird, daß die Spitze immer in das, in der Kokille 4) befindliche Schlackenbad 9) eintaucht. Die Stromrückleitung erfolgt entweder über den Strang 3) über als Stromabnehmer ausgebildete Treibrollen 8) und eine Hochstromrückleitung 14) mit einem Hochstromtrenner 7) oder über die in die Kokillenwand eingebauten Stromabnehmer 6) und die daran anschließende Hochstromrückleitung 15) mit Hochstromtrenner 16) oder aber über Strang 3) und Stromabnehmer 6) gemeinsam. Dabei ist die Wahl der Rückleitung durch Betätigung der Trenner 7) und 16) wählbar. Der Anteil der über die Kontakte 6) und 8) fließenden Ströme, wenn beide in den jeweiligen Rückleitungen 14) und 15) vorgesehenen Trenner 7) und 16) so geschaltet sind, daß ein Stromdurchgang ermöglicht wird,

hängt vom Verhältnis der Widerstände im Schlackenbad 9) ab. Diese werden vom Abstand der in das Schlackenbad 9) eintauchenden Elektrode 2) in bezug auf die Stromabnehmer 6) bzw. dem Abstand der Spitze der Elektrode 2) vom Metallspiegel des im unteren Teil der in der Kokille 4) gebildeten Stranges 3) bestimmt. Der Strang 3) wird durch Treibrollen 8), in der Weise abgesenkt, wie die Abschmelzelektrode 2) abschmilzt, wobei der Spiegel des flüssigen Metalls im engen Teil der Kokille beispielsweise durch eine radioaktive Strahlenquelle 5) überwacht wird. Die Treibrollen 8) können gleichzeitig auch als Kontakte für die Stromrückleitung 14) vom Strang 3) zur Stromquelle 1) dienen. Ein Ablängen des erzeugten Umschmelzstranges auf die benötigten Erzeugungslängen ist beispielsweise durch eine Brennschneidanlage 10) möglich. Wenn die erste Elektrode 2) verzehrt ist, kann durch geeignete, hier nicht gezeigte, jedoch zum Stand der Technik gehörende Vorrichtungen diese aus dem Schmelzbereich entfernt und eine weitere Elektrode 11) aus einer Warteposition in die Schmelzposition gebracht werden und so der Schmelzvorgang fortgesetzt werden. Damit wird durch Abschmelzen mehrerer Elektroden hintereinander ein vollkommen kontinuierlicher Betrieb möglich.

Die Elektrode und das Schlackenbad können durch gasdichte Hauben 12) und 17), die auch gegen den Kokillenflansch abdichtbar sind, gegen den Luftzutritt geschützt werden. Damit kann das Umschmelzen unter kontrollierter Atmosphäre und Ausschluß des Luftsauerstoffs stattfinden, womit auch die Herstellung höchstreiner Umschmelzstränge ermöglicht und ein Abbrand sauerstoffaffiner Elemente verhindert wird.

Patentansprüche:

1. Verfahren zur Herstellung von Strängen aus Metallen, insbesondere aus Stählen sowie Ni- und Co-Basislegierungen durch Abschmelzen selbstverzehrender Elektroden in einem elektrisch leitenden Schlackenbad in einer kurzen, nach unten offenen wassergekühlten Kokille, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Abschmelzrate in kg/h dem 1,5 bis 30-fachen des aus dem Umfang des Gießquerschnitts (U) in mm errechneten äquivalenten Strangdurchmessers ($D_{aq.}$) gemäß der Beziehung $D_{aq.} = U/\pi$ entspricht und daß das Verhältnis der Querschnittsfläche einer oder mehrerer Abschmelzelektroden zur Querschnittsfläche des Gießquerschnitts größer ist als 0,5.
2. Verfahren zur Herstellung von Strängen aus Metallen, insbesondere aus Stählen sowie Ni- und Co-Basislegierungen nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Abschmelzrate in kg/h dem 5 - 15-fachen des aus dem Umfang des Gießquerschnitts errechneten äquivalenten Strangdurchmessers entspricht und daß das Verhältnis der Querschnittsfläche(n) der Abschmelzelektrode(n) zur Querschnittsfläche des Gießquerschnitts gleich oder größer ist als 1,0 und daß weiters in einer an sich bekannten Trichterkokille umgeschmolzen wird, in welcher der Strang im unteren, engen Teil geformt wird, während das Schlackenbad bis in den erweiterten oberen Teil der Kokille reicht.
3. Verfahren zur Herstellung von Strängen aus Metallen, insbesondere aus Stählen sowie Ni- und Co-Basislegierungen nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß der gebildete Strang kontinuierlich aus der Kokille abgezogen wird.
4. Verfahren zur Herstellung von Strängen aus Metallen, insbesondere aus Stählen sowie Ni- und Co-Basislegierungen nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß der gebildete Strang schrittweise aus der Kokille abgezogen wird.
5. Verfahren zur Herstellung von Strängen aus Metallen, insbesondere aus Stählen sowie Ni- und Co-Basislegierungen nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß der gebildete Strang feststeht und die Kokille kontinuierlich angehoben wird.
6. Verfahren zur Herstellung von Strängen aus Metallen, insbesondere aus Stählen sowie Ni- und Co-Basislegierungen nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß der gebildete Strang feststeht und die Kokille schrittweise angehoben wird.
7. Verfahren zur Herstellung von Strängen aus Metallen, insbesondere aus Stählen sowie Ni- und Co-Basislegierungen nach einem der Ansprüche 3 oder 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Kokille eine oszillierende Bewegung ausführt.
8. Verfahren zur Herstellung von Strängen aus Metallen, insbesondere aus Stählen sowie Ni- und Co-Basislegierungen nach einem der Ansprüche 4 oder 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß nach jedem Hubschritt unmittelbar ein Gegenhubschritt in entgegengesetzter Richtung

anschließt, wobei die Hublänge des Gegenhubschritts maximal 60 % der Hublänge des vorangegangenen Hubschritts beträgt.

- 5
9. Verfahren zur Herstellung von Strängen aus Metallen, insbesondere aus Stählen sowie Ni- und Co-Basislegierungen nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Schmelzstrom zwischen Elektrode und Strang fließt.
10. Verfahren zur Herstellung von Strängen aus Metallen, insbesondere aus Stählen sowie Ni- und Co-Basislegierungen nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Schmelzstrom zwischen Elektrode und Kokille fließt.
- 10
11. Verfahren zur Herstellung von Strängen aus Metallen, insbesondere aus Stählen sowie Ni- und Co-Basislegierungen nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Schmelzstrom zwischen einerseits Elektrode und andererseits gleichzeitig sowohl Strang als auch Kokille fließt.

15

Hiezu 1 Blatt Zeichnungen

20

25

30

35

40

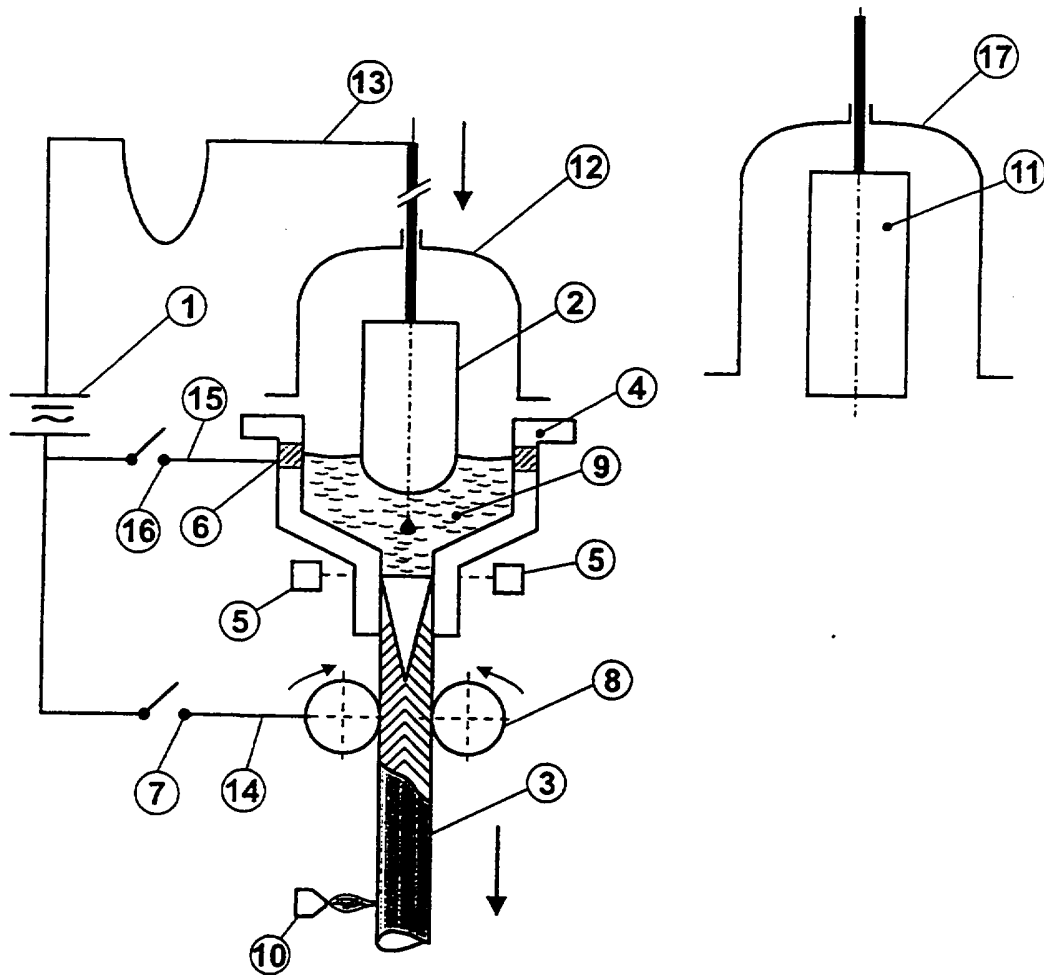


Fig. 1