



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
08.12.2004 Patentblatt 2004/50

(51) Int Cl.7: **C21D 8/02, C21D 8/04**

(21) Anmeldenummer: **04013061.9**

(22) Anmeldetag: **03.06.2004**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IT LI LU MC NL PL PT RO SE SI SK TR
 Benannte Erstreckungsstaaten:
AL HR LT LV MK

- **Friedrich, Karl-Ernst, Dipl.-Ing.**
47447 Moers (DE)
- **Sabatino, Giovanni, Dipl.-Ing.**
46539 Dinslaken (DE)
- **Tamler, Horst Walter, Dr.**
58453 Witten (DE)

(30) Priorität: **05.06.2003 DE 10325795**

(71) Anmelder: **ThyssenKrupp Stahl AG**
47166 Duisburg (DE)

(74) Vertreter: **COHAUSZ & FLORACK**
Patent- und Rechtsanwälte
Bleichstrasse 14
40211 Düsseldorf (DE)

(72) Erfinder:
 • **Bian, Jian, Dr.-Ing.**
47057 Duisburg (DE)

(54) **Verfahren zum Herstellen von aufgekohlten Stahlbändern**

(57) Die Erfindung ermöglicht es auf besonders wirtschaftliche Weise Stahlbänder (S) mit einer hohen Härte ihrer Oberflächenschichten und dementsprechend hoher Verschleißfestigkeit zu erzeugen, indem ein Coil (C), das aus einem einen Ausgangsgehalt an Kohlenstoff aufweisenden Stahlband (S) derart gehaspelt ist, dass seine Lagen mit Abstand zueinander angeordnet

sind, bei einer oberhalb der A_{c3} -Temperatur liegenden Reaktionstemperatur einer Glühung unterzogen wird, bei der ein aufkohlendes Gas (RGas) durch den zwischen den einzelnen Lagen des Coils (C) vorhandenen Raum geleitet wird, bis in der Randschicht des Stahlbands (S) ein gegenüber dem Ausgangsgehalt um mindestens 0,1 Gew.-% erhöhter C-Gehalt erreicht ist.

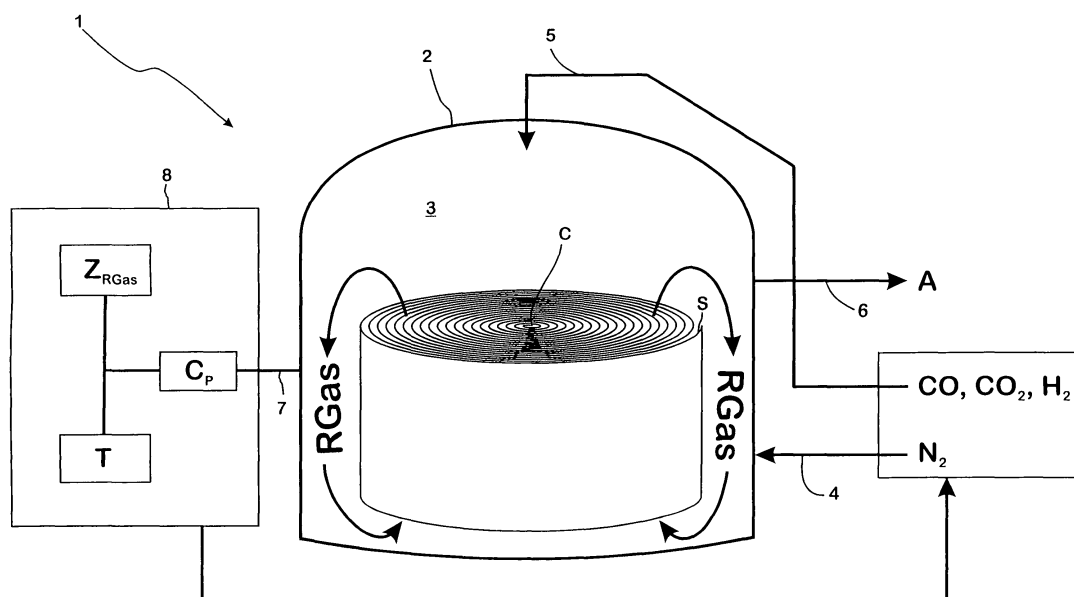


Fig. 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen von Stahlbändern, bei dem der Kohlenstoffgehalt in einer Oberflächenschicht des jeweiligen Stahlbands in einem separaten Arbeitsgang erhöht wird.

[0002] Ein Verfahren, bei dem kaltgewalzte Stahlbänder mit Ausgangsgehalten an Kohlenstoff von deutlich weniger als 0,01 Gew.-% einer Aufkohlungsglühung unterzogen werden, ist beispielsweise aus der JP 63038556 A1 bekannt. Gemäß dem bekannten Verfahren wird das aus dem kaltgewalzten Stahlband gehaspelte Coil einer so genannten "Open Coil-Glühung" in einer aufkohlenden Atmosphäre bei im Bereich der Rekristallisationstemperatur (ca. 830 °C) liegenden Temperaturen unterzogen. Auf diese Weise sollen in einer Randschicht des Stahlbands, deren Dicke 1/4 bis 1/12 der Gesamtdicke des Stahlbands beträgt, durchschnittliche Kohlenstoffgehalte von 0,02 - 0,10 Gew.-% eingestellt werden. Der so erhaltene Stahl soll besonders gute Tiefzieheigenschaften besitzen.

[0003] In der Praxis wird das "Open-Coil"-Glühverfahren hauptsächlich angewendet, um Kaltband zur Direkt-Emaillierung von Feinblech für Elektrogeräte (Weißware) zu entkohlen. Ein weiteres Einsatzgebiet stellt das Randentkohlen von gebeiztem Warmband aus Güten C55 und C45 dar.

[0004] Kohlenstoffhaltige Stähle mit C-Gehalten von mindestens 0,1 Gew.-% werden üblicherweise zunächst zu einem Bauelement umgeformt, um dann stückweise der aufkohlenden Glühbehandlung unterzogen zu werden. Diese stückweise erfolgende Aufkohlung ist sowohl hinsichtlich der zu absolvierenden Arbeitsschritte als auch hinsichtlich der dabei entstehenden Kosten aufwendig.

[0005] Die Aufgabe der Erfindung bestand darin, ein Verfahren anzugeben, mit dem sich auf besonders wirtschaftliche Weise Stahlbänder mit einer hohen Härte ihrer Oberflächenschichten und dementsprechend hoher Verschleißfestigkeit erzeugen lassen.

[0006] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren zum Herstellen von Stahlbändern gelöst, bei dem ein Coil, das aus einem einen Ausgangsgehalt an Kohlenstoff aufweisenden Stahlband derart gehaspelt ist, dass seine Lagen mit Abstand zueinander angeordnet sind, bei einer oberhalb der A_{c3} -Temperatur liegenden Reaktionstemperatur einer Glühung unterzogen wird, bei der ein aufkohlendes Gas durch den zwischen den einzelnen Lagen des Coils vorhandenen Raum geleitet wird, bis in der Randschicht des Stahlbands ein gegenüber dem Ausgangsgehalt um mindestens 0,1 Gew.-%, insbesondere mindestens 0,3 Gew.-% erhöhter C-Gehalt erreicht ist. Der Kohlenstoff-Ausgangsgehalt der erfindungsgemäß verarbeiteten Stahlbänder beträgt dabei bevorzugt mindestens 0,1 Gew.-%. Insbesondere liegt er im Bereich von bis zu 0,4 Gew.-%.

[0007] Gemäß der Erfindung wird das jeweils zu verarbeitende Stahlband zunächst in an sich bekannter Weise zu einem "Open Coil" gehaspelt. Bei einem solchen Coil sind die einzelnen Lagen voneinander getrennt. Auf diese Weise kann das aufkohlende Reaktionsgas in den zwischen den einzelnen Lagen des Coils vorhandenen Zwischenräumen hindurch strömen, so dass bei optimierter Gasstromführung jede Oberfläche des Coils in gleicher Weise von dem Gas überstrichen wird.

[0008] Die Glühbehandlung findet dann beispielsweise in einer aufkohlenden Atmosphäre in einem Haubenglühofen statt, der nach Maßgabe der sich aus dem erfindungsgemäßen Verfahren ergebenden Regelungsmöglichkeiten modifiziert worden ist. Die beim erfindungsgemäßen Aufkohlungsglühn eingestellte Reaktionstemperatur liegt dabei über der Umwandlungstemperatur A_{c3} , bevorzugt um bis zu 30 °C oberhalb der A_{c3} -Temperatur, insbesondere mindestens 900 °C.

[0009] Typischerweise beträgt die Glühzeit, über die das Coil auf der Reaktionstemperatur gehalten wird, bis zu zehn Stunden.

[0010] Es hat sich gezeigt, dass es bei einer bei derart hohen Temperaturen erfolgenden Glühung zu einem besonders intensiven Aufkohlen in den Randschichten des verarbeiteten Blechs kommt. Überraschend war dabei, dass die Coilform trotz der thermischen Spannungen beim Aufheiz-, Halte- und Abkühlvorgang formbeständig erhalten bleibt.

[0011] Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren lassen sich so auf besonders wirtschaftliche Weise Stahlbänder erzeugen, die eine gehärtete, verschleißbeständige Oberfläche bei gleichzeitig guten Umformeigenschaften des Grundwerkstoffs besitzen.

[0012] Als Werkstoffe eignen sich dazu beispielsweise sämtliche Stahllegierungen, wie Einsatz- oder Vergütungsstähle mit typischen Kohlenstoffgehalten, die im Bereich von 0,1 - 0,25 Gew.-% bzw. 0,2 - 0,4 Gew.-% liegen. Ausgehend von derartigen Stahllegierungen lässt sich durch Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens eine Oberflächenschicht erzeugen, in der der Kohlenstoffgehalt gegenüber dem C-Gehalt des Ausgangswerkstoffs um mindestens 0,1 Gew.-%, insbesondere mindestens 0,3 Gew.-% gesteigert ist.

[0013] Die Erhöhung des Kohlenstoffgehalts in der Randschicht sowie die Tiefe, über die der Kohlenstoffgehalt bei Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens erhöht wird, lassen sich über die Glühtemperatur, die Glühzeit und die Zusammensetzung des Reaktionsgases steuern. Bei geeigneter Prozessführung kann der Kohlenstoffgehalt in der jeweiligen Oberflächenschicht auf 0,4 - 0,9 Gew.-% gesteigert werden. Insbesondere lassen sich Kohlenstoffgehalte in der Oberflächenschicht erreichen, die 0,6 Gew.-% bis 0,9 Gew.-% betragen. Die Dicke der aufgekohlten Randschicht liegt dabei regelmäßig zwischen 50 - 500 µm, wobei auch die Tiefe, über die es zur Aufkohlung der Randschicht des

Stahlbands kommt, über die genannten Prozessparameter gesteuert werden kann. Abhängig vom gewünschten Arbeitsergebnis kann es dabei zweckmäßig sein, die Prozessparameter während des Aufkohlungsprozesses zu variieren.

[0014] Als aufkohlendes Gas kann ein Gasgemisch eingesetzt werden, das CO, H₂ und/oder CO₂ enthält. Derartige Gasgemische sind beispielsweise aus 20 % CO, 40 % H₂ und als Rest N₂ zusammengesetzt.

[0015] Für die Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens kann eine Haubenglühvorrichtung eingesetzt werden, die basierend auf eine Haubenglühe konventioneller Bauart um die Möglichkeit einer hinsichtlich Art, Dauer und Menge gesteuerten Gasbeaufschlagung erweitert ist.

[0016] Um eine Oxidation des Stahlbandes bei seiner Erwärmung auf die Glühtemperatur zu vermeiden, ist es vorteilhaft, die Aufheizung des Coils unter Schutzgas durchzuführen. Ebenso ist es vorteilhaft, nach Beendigung der Glühbehandlung das aufgekohlte Stahlband unter Schutzgas abzukühlen, um eine ungewollte Entkohlung der Oberflächenschicht zu vermeiden.

[0017] Das nach der Glühbehandlung erhaltene Band kann kaltgewalzt und zu Halbzeugen verarbeitet werden. Erforderlichenfalls kann es dazu einer Weichglühung unterzogen werden. Die Herstellung der Halbzeuge kann dabei eine Trennoperation, wie Stanzen oder Schneiden, und / oder eine Umformoperation, wie Tiefziehen oder Biegen, umfassen. Erforderlichenfalls können die derart erzeugten Halbzeuge eine Vergütungsbehandlung durchlaufen.

[0018] Mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens lassen sich aufhärtbare, verschleißbeständige Oberflächen von Blechen in Verbindung mit guten Umformeigenschaften des Grundwerkstoffs schaffen. Aufgrund dieser Eigenschaftskombination lässt sich der erfindungsgemäß erzeugte Werkstoff besonders gut als Verbundwerkstoff einsetzen.

[0019] Als typische Verwendungen, für die sich erfindungsgemäß erzeugte, hoch verschleißfeste, oberflächenharte Stahlbänder besonders eignen, sind beispielsweise Nockenwellen, Lagerschalen und andere Bauelemente zu nennen, die im praktischen Einsatz hohen lokal wirkenden Belastungen ausgesetzt sind.

[0020] Nachfolgend wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine Haubenglühe mit eingesetztem Coil in einer schematischen Darstellung;

Fig. 2 ein Zeit/Temperatur-Diagramm, in dem verschiedene für die Aufkohlungsglühung charakteristische Temperaturverläufe aufgezeichnet sind;

Fig. 3 den Schichtaufbau und Verlauf der Aufkohlung über die Dicke eines Stahlblechs nach der Aufkohlungsglühung in schematischer Darstellung.

[0021] Die Haubenglühe 1 weist einen von einer konventionell ausgebildeten Glühhaube 2 umgebenen Ofenraum 3 auf, in den ein als Open-Coil C gewickeltes Stahlband S eingesetzt ist. Die an sich bekannte Legierungsvorschrift für das eingesetzte Stahlband S ist in Tabelle 1 angegeben.

Tabelle 1

C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	Cu	Ni
0,13-0,16	<0,06	0,50-0,60	<0,02	<0,012	0,015-0,04	<0,06	<0,1	<0,06
Alle Angaben in Gew.-%, Rest Fe und unvermeidbare Verunreinigungen								

[0022] Die Haubenglühe 1 ist des Weiteren mit einem Gasanschluss 4 für ein Schutzgas, hier N₂, mit einem Gasanschluss 5 für Reaktionsgas RGas, welches hier durch ein Gemisch aus CO, CO₂ und H₂ gebildet ist, mit einer Abgasabführung 6 und mit verschiedenen Anschlüssen 7 ausgestattet, über die u. a. der Kohlenstoffpegel C_P, die Ofenraumtemperatur T_O und die Zusammensetzung der im Ofenraum vorhandenen Atmosphäre erfasst werden können. Ebenso können über die Anschlüsse 7 Messungen am Coil C selbst durchgeführt werden, um beispielsweise den Fortschritt der Erwärmung oder der Aufkohlung sowie die Gasströmung durch das Coil C zu bestimmen.

[0023] Mit den Anschlüssen 7 ist eine Steuereinrichtung 8 verbunden, die über die Dauer des gesamten Aufkohlungsprozesses die Entwicklung der Ofenraum-Temperatur T_O den Kohlenstoffpegel C_P der Atmosphäre im Ofenraum 3 sowie die Zusammensetzung ZGas der in den Ofenraum 3 geleiteten Gase (Reaktionsgas RGas / Schutzgas N₂) steuert.

[0024] Das warm- oder kaltgewalzte, erforderlichenfalls gebeizte Stahlband S, dessen Dicke beispielsweise 0,8 bis 3 mm und dessen Breite 600 bis 1200 mm betragen kann, wird als dicht gewickeltes, hier nicht gezeigtes Coil angeliefert, dessen Gewicht bis zu 20 Tonnen beträgt.

[0025] Um das für die Aufkohlungsglühung benötigte Open-Coil C zu erzeugen wird das angelieferte Coil zunächst umgehaspelt. Dabei wird in einem Abstand von ca. 30 mm an beiden Rändern des Stahlbands jeweils ein Draht in das Stahlband S eingewickelt. Der Draht ist spiralförmig gewickelt und hat eine Gesamtdicke von 3,0 mm. Auf diese Weise

werden die einzelnen Windungen des aus dem Stahlband S gebildeten Open-Coils C mit definiertem Abstand zueinander gehalten, so dass eine gleichmäßige Gasströmung zwischen den Windungen C während des Glühens möglich ist.

[0026] Um eine gleichmäßige Temperatur über die Windungen zu gewährleisten, ist jeweils ein Thermoelement in der Innen- und der Mittenwindung des Coils C angebracht worden. Mit den Thermoelementen wurde die Temperatur T_K des Coilkerns (Mittenwindung) und die Temperatur T_R des Coilrands (Innenwindung) während des gesamten Aufkohlungsprozesses online gemessen. Die Temperaturverläufe T_K , T_R und T_O sind in Fig. 2 über die Prozesszeit t dargestellt.

[0027] Beim hier erläuterten Betriebsversuch wurde das derart gewickelte Open-Coil C nach dem Umwickeln kalt in den Ofenraum 3 eingesetzt. Die Ofentemperatur T_O betrug zum Zeitpunkt des Einsetzens des kalten Coils C 750°C . Bei dieser Ofentemperatur T_O ist das Open-Coil C über mehrere Stunden gehalten worden, bis es auf die Reaktionstemperatur von 900°C weiter aufgeheizt wurde. Während der gesamten, 10 Stunden dauernden Aufheizdauer t_A ist das Coil C im Ofenraum 3 unter Schutzgas (N_2) gehalten worden. Die an der Innenwindung gemessene Aufheizgeschwindigkeit betrug $0,026^\circ\text{C/s}$.

[0028] Die Aufkohlung wurde erst eingeleitet, nachdem die Temperaturen T_K und T_R des Coils C jeweils die vorgegebene Reaktionstemperatur von 900°C erreicht hatten. Mit Erreichen der Reaktionstemperatur wurde Reaktionsgas R_{Gas} in den Ofenraum 3 geleitet. Die Einleitung in den Ofenraum 3 erfolgte über die Ofendecke. Das eingeleitete Reaktionsgas R_{Gas} wurde durch einen nicht dargestellten Ventilator in eine Gasströmung versetzt, die gleichmäßig verteilt zwischen den Windungen des Open-Coils C strömte.

[0029] Für die vorgesehene Aufkohlungstiefe d_K von $250\text{ }\mu\text{m}$ sowie den Randkohlenstoffgehalt von 0,8 Gew.-% wurde das Coil C über eine Dauer t_H von 8 Stunden aufgekühlt. Der C-Pegel, der eine entscheidende Größe für den Aufkohlungsprozess ist und in erster Linie den Randkohlenstoffgehalt sowie die Aufkohlungstiefe bestimmt, wurde in der Aufkohlungsphase durch Steuerung der zugeführten Menge an Reaktionsgas R_{Gas} bei 1,0 % konstant gehalten.

[0030] Als "C-Pegel" wird das Kohlenstoffpotential bezeichnet, das angibt, bis zu welcher Konzentration der Kohlenstoff im Gleichgewichtszustand im Austenit angereichert wird. Es ist darunter der C-Gehalt zu verstehen, der sich im Gleichgewichtszustand mit einer Reineisenprobe bei einer bestimmten Temperatur im Austenit einstellt. Der C-Pegel bildet demzufolge die in der Praxis wichtigste Kenngröße zur Überwachung des Aufkohlungsverhaltens von Gasaufkohlungsatmosphären.

[0031] Nach Ablauf der Aufkohlungszeit t_H wurde das Coil C im Ofenraum 3 wiederum unter Schutzgas (N_2) über 12 Stunden bis auf eine Endtemperatur 80°C abgekühlt, die unterhalb der Oxidationsgrenze liegt. Die während der Abkühlzeit t_K an der Innenwindung des Coils C gemessene Abkühlungsgeschwindigkeit betrug $0,014^\circ\text{C/s}$.

[0032] Nach dem Abkühlen bis auf 80°C ist das Coil C aus dem Ofen 2 genommen worden. Die Form des Coils war nach der Aufkohlung gut erhalten. Ein Zusammenkleben der Windungen während der Aufkohlung bei 900°C und der 8 Stunden dauernden Aufkohlungszeit t_H blieb aus.

[0033] In Fig. 3 ist der nach der Aufkohlungsbehandlung erhaltene Schichtaufbau des Stahlbands S dargestellt sowie schematisch der Kohlenstoff-Gehalt %C über die Dicke d des Stahlband aufgetragen. Im Bereich der oberflächennahen, harten und verschleißfesten Randschichten R liegt über die Aufkohlungstiefe d_K jeweils der hohe C-Gehalt $\%C_R$ vor, der jeweils in Richtung der zentral zwischen den Randschichten R angeordneten Grundschicht G des Stahlbands S auf den Ausgangsgehalt $\%C_A$ abfällt.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen von Stahlbändern, bei dem ein Coil (C), das aus einem einen Ausgangsgehalt ($\%C_A$) an Kohlenstoff aufweisenden Stahlband (S) derart gehaspelt ist, dass seine Lagen mit Abstand zueinander angeordnet sind, bei einer oberhalb der A_{C3} -Temperatur liegenden Reaktionstemperatur einer Glühung unterzogen wird, bei der ein aufkohlendes Gas (R_{Gas}) durch den zwischen den einzelnen Lagen des Coils (C) vorhandenen Raum geleitet wird, bis in der Randschicht (R) des Stahlbands (S) ein gegenüber dem Ausgangsgehalt ($\%C_A$) um mindestens 0,1 Gew.-% erhöhter C-Gehalt ($\%C_R$) erreicht ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Ausgangsgehalt ($\%C_A$) des Stahlbands (S) an C mindestens 0,1 Gew.-% beträgt.

3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Ausgangsgehalt ($\%C_A$) an C maximal 0,4 Gew.-% beträgt.

4. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** in der Randschicht (R) des Stahlbands (S) ein gegenüber dem Ausgangsgehalt ($\%C_A$) um mindestens 0,3 Gew.-% erhöhter C-Gehalt

erreicht wird.

5. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der in der Randschicht (R) erhaltene C-Gehalt 0,4 - 0,9 Gew.-% beträgt.
6. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das aufkohlende Gas (Rgas) durch ein CO, H₂ und/oder CO₂ enthaltendes Gasgemisch gebildet ist.
7. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Glühtemperatur mindestens um 30 °C oberhalb der A_{C3}-Temperatur liegt..
8. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Aufheizung des Coils (C) unter Schutzgas (N₂) erfolgt.
9. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Abkühlung des Coils (C) unter Schutzgas (N₂) erfolgt.
10. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das aufgekohlte Band (S) kaltgewalzt wird.
11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** aus dem kaltgewalzten Band (S) Halbzeuge hergestellt werden.
12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Herstellung der Halbzeuge ein Trennen umfasst.
13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Herstellung der Halbzeuge ein Umformen umfasst. 14. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Halbzeuge eine Vergütungsbehandlung durchlaufen.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** das kaltgewalzte Band einer Weichglühung unterzogen wird.
15. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Dicke der aufgekohlten Randschicht (R) 50 - 500 µm beträgt.

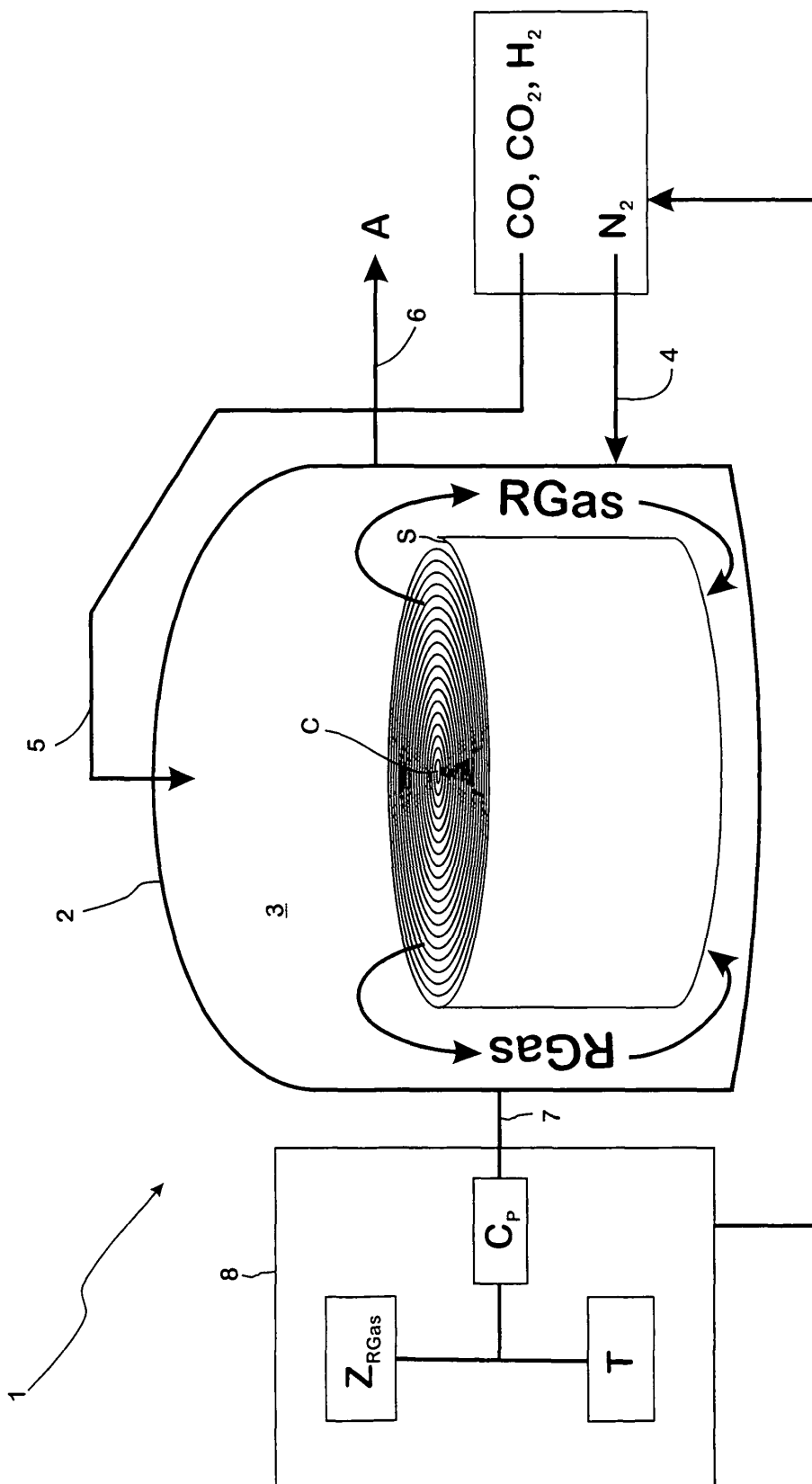


Fig. 1

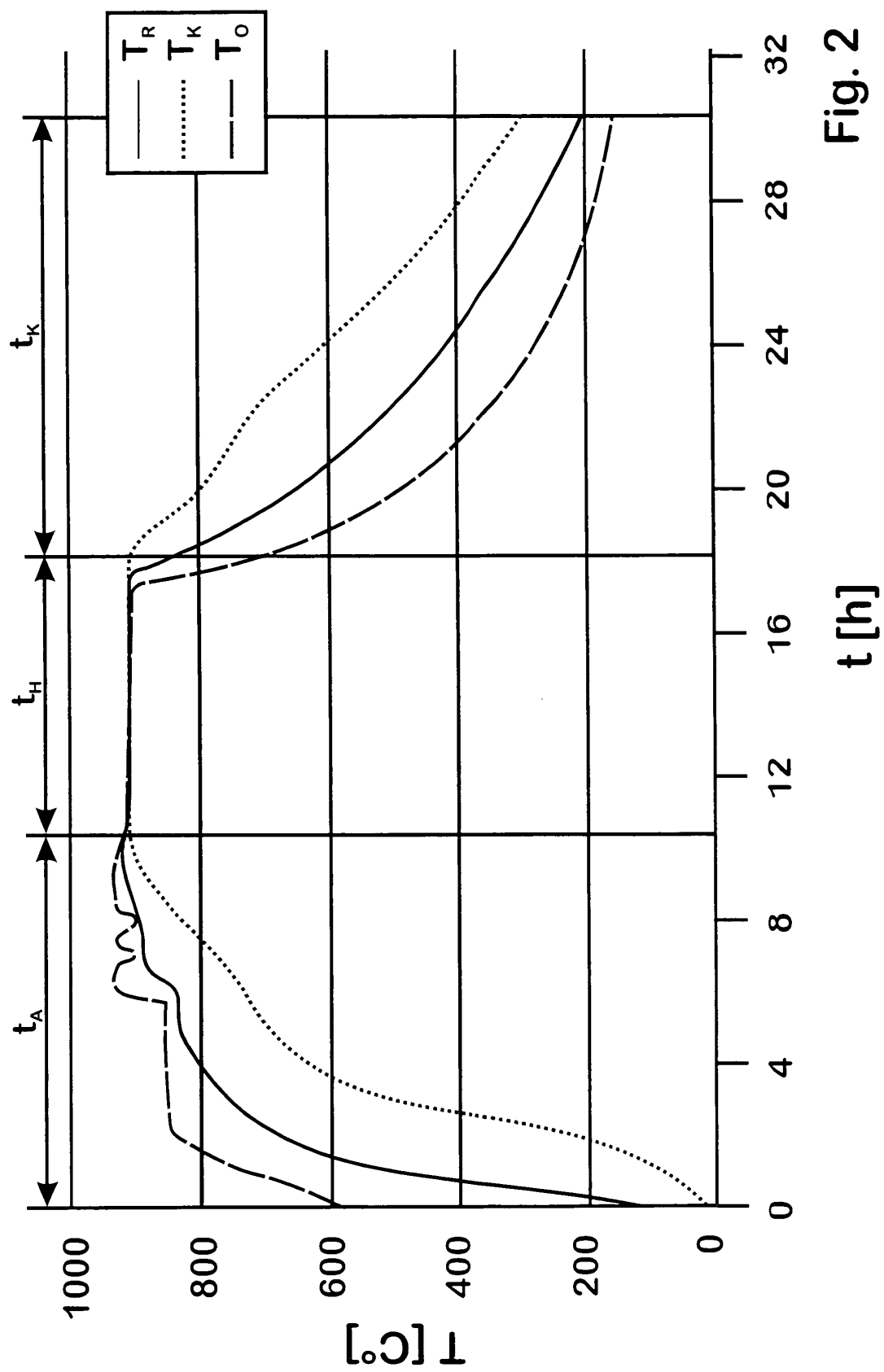


Fig. 2

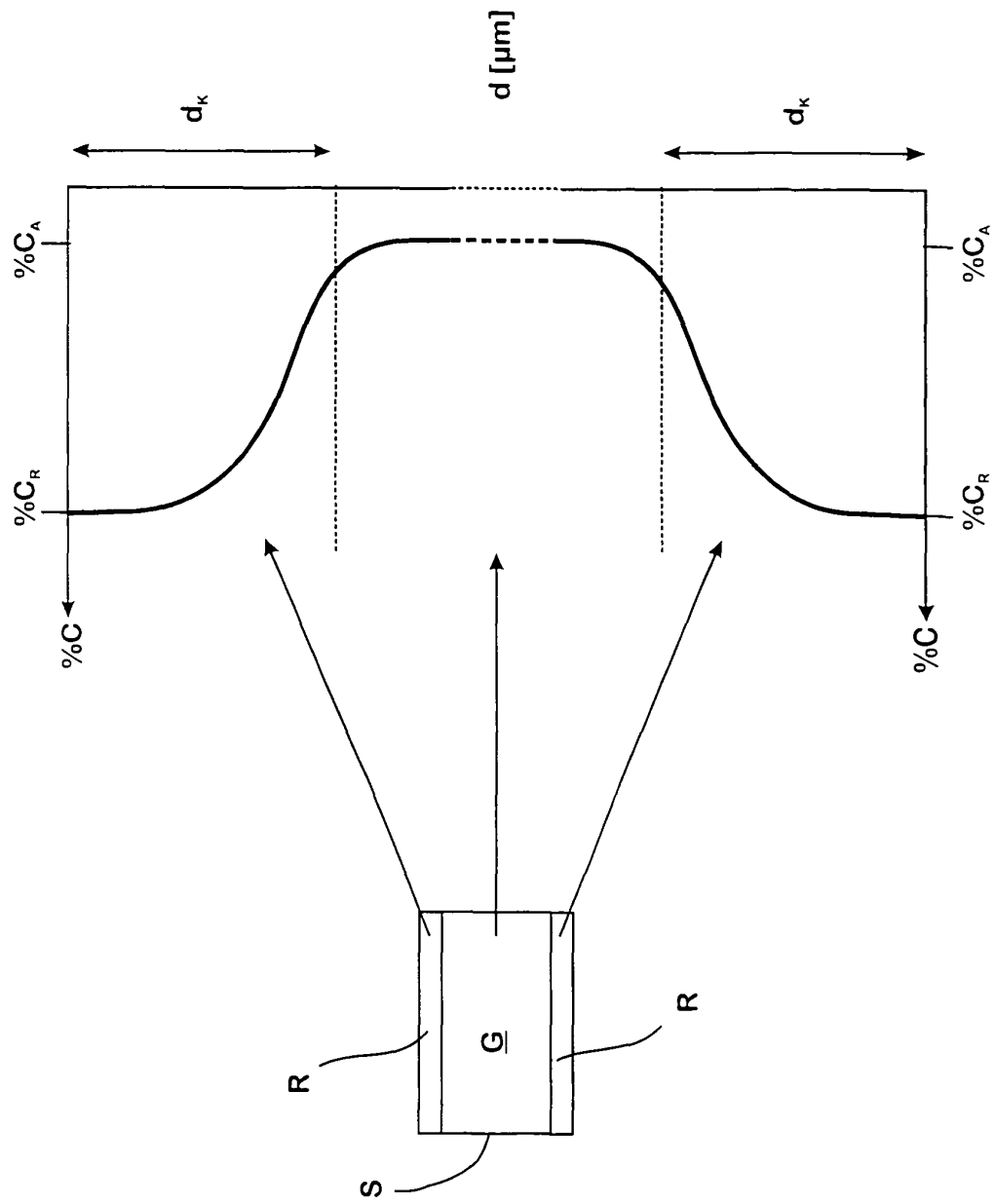


Fig. 3