

12 **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

21 Anmeldenummer: 88102679.3

51 Int. Cl.⁴: **C23C 8/22**

22 Anmeldetag: 24.02.88

30 Priorität: 29.04.87 DE 3714283

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:
 02.11.88 Patentblatt 88/44

84 Benannte Vertragsstaaten:
 AT CH DE ES FR GB IT LI NL SE

71 Anmelder: **IPSEN INDUSTRIES
 INTERNATIONAL GESELLSCHAFT MIT
 BESCHRÄNKTER HAFTUNG**
 Flutstrasse 52
 D-4190 Kleve 1(DE)

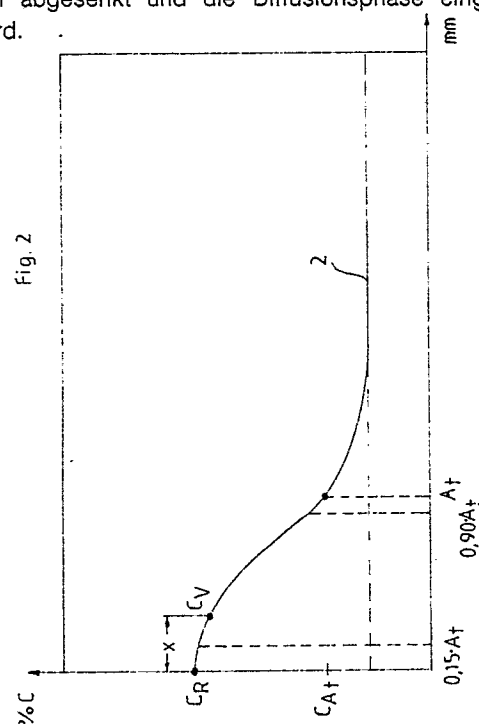
72 Erfinder: **Edenhofer, Bernd, Dr. mont.**
 Linzerstrasse 91 a
 D-7000 Stuttgart 30(DE)
 Erfinder: **Pfau, Hans, Dipl.-Ing.**
 Loo'sche Heide 11 a
 D-4194 Bedburg-Hau(DE)

74 Vertreter: **Patentanwälte Dipl.-Ing. Alex
 Stenger Dipl.-Ing. Wolfram Watzke Dipl.-Ing.
 Heinz J. Ring**
 Kaiser-Friedrich-Ring 70
 D-4000 Düsseldorf 11(DE)

54 **Verfahren zur Gasaufkohlung von Stahl.**

57 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Gasaufkohlung von Stahl, bei dem das aufzukohlende Werkstück in einer kohlenstoffreichen Gasatmosphäre in einer ersten Kohlungsphase einem möglichst hohen C-Angebot an der Rußgrenze ausgesetzt wird und bei dem in einer sich anschließenden Diffusionsphase ein demgegenüber abgesenktes, dem angestrebten Randkohlenstoffgehalt entsprechendes C-Angebot eingestellt wird, wobei die Aufkohlung über die beiden Zielgrößen Randkohlenstoffgehalt C_R und die Aufkohlungstiefe A_t geregelt wird. Um unabhängig von der Carbidgrenze eine Regelung vorzuschlagen, mit der es möglich ist, die gewünschte Kohlenstoffverlaufskurve (Kohlenstoffprofil) im Werkstück sicher und reproduzierbar in einfacher Weise zu erreichen, wird vorgeschlagen, daß zusätzlich zu den Zielgrößen Randkohlenstoffgehalt C_R und Aufkohlungstiefe A_t der Regelung der Aufkohlung zumindest eine weitere, für die Kohlenstoffverlaufskurve charakteristische Zielgröße vorgegeben wird, bei deren Erreichen der für die Kohlungsphase kennzeichnende Kohlenstoffpe-

gel abgesenkt und die Diffusionsphase eingeleitet wird.



Verfahren zur Gasaufkohlung von Stahl

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Gasaufkohlung von Stahl, bei dem das aufzukohlende Werkstück in einer kohlenstoffreichen Gasatmosphäre in einer ersten Kohlungsphase einem möglichst hohen C-Angebot an der Rußgrenze ausgesetzt wird und bei dem in einer sich anschließenden Diffusionsphase ein demgegenüber abgesenktes, dem angestrebten Randkohlenstoffgehalt entsprechendes C-Angebot eingestellt wird, wobei die Aufkohlung über die beiden Zielgrößen Randkohlenstoffgehalt C_R und die Aufkohlungstiefe A_t geregelt wird.

Bei der Aufkohlung von Stählen besteht grundsätzlich die Zielsetzung, in einer Randschicht des aufzukohlenden Werkstücks eine Kohlenstoffanreicherung dadurch vorzunehmen, daß in der Werkstücksumgebung, insbesondere einer Ofenatmosphäre, ein erhöhtes Kohlenstoffangebot bei einer entsprechenden Temperatur vorliegt. Der Kohlenstoff aus der Umgebung diffundiert in das Werkstück und innerhalb des Werkstücks selbst aus der Randschicht heraus in das Werkstücksinnere hinein, wo sich in einer Entfernung vom Werkstücksrand bis zu einer Aufkohlungstiefe von etwa 3 mm die Aufkohlung durch einen gegenüber dem Grundwerkstoff deutlich erhöhten Kohlenstoffgehalt bemerkbar macht. Die Kohlenstoffverteilung im Werkstück vom Rand hin bis zum Kern läßt sich graphisch in Form eines sogenannten Kohlenstoffprofils darstellen. Zielsetzung ist es, einen S-förmigen Kohlenstoffverlauf mit einem vorbestimmten Randkohlenstoffgehalt und möglichst breitem Horizontalbereich am Rande durch die Prozeßführung zu erreichen.

Es ist bekannt, bei der Aufkohlung von Stählen die Prozeßführung auf die beiden Zielgrößen Randkohlenstoffgehalt C_R und die Aufkohlungstiefe A_t auszurichten. Praktisch wird dies derart durchgeführt, daß zunächst in einer ersten Behandlungsphase der C-Pegel auf einen Wert kurz unterhalb der Rußgrenze eingestellt und gehalten wird (Kohlungsphase) und anschließend in einer Endstufe (Diffusionsphase) ein niedrigerer Kohlenstoffpegel zur Erzielung des gewünschten Kohlenstoffprofils verwendet wird. Hierzu werden Rechner eingesetzt, denen zumindest in gewissen Zeitabständen die für den Aufkohlungsvergang beachtlichen Prozeßwerte, wie Temperatur, Sauerstoffpotential, C-Pegel, C-Strom und dgl. eingegeben und als Steuergrößen für die Regelung des Aufkohlungsverganges verwertet werden. Nachteiligerweise ist durch eine derartige Prozeßführung beim Aufkohlen, die allein auf die beiden Zielgrößen Randkohlenstoffgehalt C_R und Aufkohlungstiefe A_t ausgerichtet ist, die gewünschte S-Kurvenform des Koh-

lenstoffprofils in der Randschicht des aufgekohlten Werkstückes nicht exakt und reproduzierbar festlegbar. Dies beruht darauf, daß der Zeitpunkt des Umschaltens von der Kohlungsphase in die Diffusionsphase entscheidenden Einfluß auf die Form des Kohlenstoffprofils im Werkstück hat. Wird dieser Zeitpunkt zu früh gewählt, erhält man vom Rand nach innen sehr schnell abfallende C-Profile, wohingegen bei zu spät gewähltem Zeitpunkt Kohlenstoffprofile mit Überkohlung (zeichnerisch: Buckelform) auftreten. Es wird versucht, durch mehrmalige Simulationsrechnungen den optimalen Umschaltzeitpunkt zu bestimmen, der zu dem gewünschten S-förmigen Kohlenstoffprofil führt. Trotz dieses zusätzlichen Rechnungs- und Versuchsaufwandes können in der Praxis Abweichungen, insbesondere bei Störungen im Kohlenstoffangebot, nicht vermieden werden, da die Steuerung nur die Zielgrößen Randkohlenstoffgehalt C_R und Aufkohlungstiefe A_t berücksichtigt.

Gemäß der DE-PS 31 39 622 wird als Weiterentwicklung dieses Verfahrens zur Gasaufkohlung von Stahlteilen vorgeschlagen, in der Kohlungsphase in Form einer der Endphase vorgeschalteten Zwischenphase den Kohlenstoffpegel langsam und geringfügig abzusenken, und zwar zu dem Zeitpunkt, zu dem der Randkohlenstoffgehalt C_R eine bestimmte Grenze C_{Rmax} erreicht. Als Grenze C_{Rmax} wird das Einsetzen der Carbidbildung vorgegeben.

Trotz dieser die Durchführung der Kohlungsphase zur Vermeidung einer Carbidbildung hinzugefügten Regelgröße C_{Rmax} ist das geschilderte Problem des richtigen Zeitpunkts der Umschaltung von der Kohlungsphase auf die Diffusionsphase hiermit nicht gelöst. Weiterhin können Unter- bzw. Überkohlungen auftreten und ist die Einstellung des gewünschten S-förmigen Kohlenstoffprofils nicht gewährleistet.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, unabhängig von der Carbidgrenze eine Regelung vorzuschlagen, mit der es möglich ist, die gewünschte Kohlenstoffverlaufskurve (Kohlenstoffprofil) im Werkstück sicher und reproduzierbar in einfacher Weise zu erreichen. Insbesondere soll es mit der Erfindung ermöglicht werden, bei der zweistufigen Prozeßführung das Verhältnis von Kohlungsdauer und Diffusionsdauer derart einzustellen, daß als Endresultat der gewünschte Kohlenstoffgehalt und Einsatzhärte erreicht werden und dabei die Kohlenstoffverlaufskurve einen möglichst horizontalen Verlauf am Rand erhält.

Die Aufgabe ist erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß zusätzlich zu den Zielgrößen Randkohlenstoffgehalt C_R und Aufkohlungstiefe A_t der Rege-

lung der Aufkohlung zumindest eine weitere, für die Kohlenstoffverlaufskurve charakteristische Zielgröße vorgegeben wird, bei deren Erreichen der für die Kohlunphase kennzeichnende Kohlenstoffpegel abgesenkt und die Diffusionsphase eingeleitet wird.

Durch den Vorschlag, neben den bisherigen Zielgrößen der Regelung der Aufkohlung eine weitere Zielgröße zugrunde zu legen, die charakteristisch für die gewünschte S-förmige Kohlenstoffverlaufskurve ist, ist es möglich geworden, das optimale Verhältnis von Kohlunsdauer zu Diffusionsdauer zu erhalten, damit als Endresultat der gewünschten Randkohlenstoffgehalt, die gewünschte Einsatzhärte und außerdem eine Kohlenstoffverlaufskurve im Werkstück erreicht werden, die einen weitgehend horizontalen Verlauf am Rand aufweist. Dabei kann es zweckmäßig sein, mehrere, vorzugsweise drei für die Kohlenstoffverlaufskurve charakteristische Zielgrößen der Regelung zusätzlich vorzugeben, um die Übereinstimmung zwischen Soll- und Ist-Kohlenstoffprofil sicherzustellen.

Hierzu kann es ebenfalls von Vorteil sein, die Aufkohlung aus der Diffusionsphase heraus erneut in die Kohlunphase zu fahren, sobald die Kohlenstoffverlaufskurve unter die zusätzliche Zielgröße fällt, wobei bei deren erneutem Erreichen wieder auf die Diffusionsphase zurückgeschaltet wird. Häufig kann eine mehrmalige zyklische Umschaltung zwischen Kohlunphase und Diffusionsphase zu einer kürzeren und genaueren Aufkohlung führen.

Gemäß einem bevorzugten Lösungsvorschlag der Erfindung ist die zusätzliche Zielgröße ein Kohlenstoffgehalt C_v mit Randabstand $= x$ auf der berechneten Kohlenstoffverlaufskurve, der zwischen 15 % und 90 % der Aufkohlungstiefe A_t liegt und bei dessen Erreichen von einem Kohlunspiegel an der Rußgrenze, beispielsweise bei 1,2 Gew. % C, auf die Diffusionsphase mit beispielsweise 0,8 Gew. % C umgeschaltet wird. Es kann auch zweckmäßig sein, mehrere Kohlenstoffgehalte C_v^1 bis C_v^n mit entsprechenden Randabständen x_1 bis x_n auf der Kohlenstoffverlaufskurve als zusätzliche Zielgrößen der Regelung zugrunde zu legen, um eine größere Sicherheit und Genauigkeit zu erzielen.

Bei diesem Verfahren wird vorzugsweise die erfindungsgemäße C-Profilregelung durchgeführt, indem die angestrebte Kohlenstoffverlaufskurve rechnerisch definiert wird, die zusätzliche Zielgröße bzw. Zielgrößen C_v aufgrund von Erfahrungswerten festgelegt wird, die im Prozeßrechner abgelegt sind, wobei dann in der Kohlunphase des Aufkohlungsprozesses mit einem möglichst hohen C-Pegel kurz unterhalb der Rußgrenze der Aufkohlungsprozeß begonnen wird, dabei der in das Werkstück eindiffundierende Kohlenstoff über die

Zunahme des Randkohlenstoffgehalts C_R durch den Prozeßrechner rechnerisch verfolgt wird und der C-Pegel solange konstantgehalten wird, solange die errechnete Kohlenstoffverlaufskurve die vorgegebene Zielgröße C_v noch nicht tangiert, daß bei Erreichen der Zielgröße C_v durch die Kohlenstoffverlaufskurve der C-Pegel auf einen Wert herabgesetzt wird, der dem vorgegebenen Randkohlenstoffgehalt C_R entspricht und daß mit diesem herabgesetzten C-Pegel in der Diffusionsphase der Kohlunprozeß solange fortgesetzt wird, bis die gewünschte Aufkohlungstiefe erreicht ist. Fällt im Rahmen dieses Kohlunprozesses die ermittelte Kohlenstoffverlaufskurve in der Diffusionsphase wieder unter den Wert der Zielgröße C_v , wird vorgeschlagen, den C-Pegel wieder auf den Wert der Kohlunphase anzuheben, wobei dieser Vorgang der zyklischen Schaltung des C-Pegels zwischen den zwei Zielgrößen C_R und C_v solange fortgesetzt wird, bis die vorgegebene Aufkohlungstiefe erreicht ist. Mit diesem Verfahren ist es möglich, die Kohlenstoffverlaufskurve in einem Punkt immer nahe der zusätzlichen Zielgröße C_v zu halten, während die Eindringtiefe des Kohlenstoffs immer mehr zunimmt, bis die vorgegebene Aufkohlungstiefe erreicht ist.

Zweckmäßigerweise wird die Aufkohlung erst beendet, wenn neben dem Erreichen des Randkohlenstoffgehalts C_R , der Aufkohlungstiefe A_t und der zusätzlichen Zielgröße C_v auch keine höheren Kohlenstoffgehalte als C_R im Kurvenverlauf zwischen C_R und C_v vorhanden sind. Hierdurch wird ein völlig gerader Kohlenstoffverlauf in der äußersten Randschicht erzielt und wird auch die kleinste Wölbung der Kohlenstoffverlaufskurve in diesem Bereich nach oben verhindert.

Anstelle der Regelung über einen oder mehrere zusätzliche Profilpunkte des Kohlenstoffprofils kann auch derart vorgegangen werden, daß die zusätzliche Zielgröße durch den Vergleich des Inhalts zweier Flächen F_1 und F_2 bestimmt ist, die durch die Flächen zwischen dem zum jeweiligen Zeitpunkt erzielten Ist-C-Profil und dem angestrebten Soll-C-Profil gegeben sind, wobei mit F_1 die Fläche definiert ist, die oberhalb des angestrebten C-Soll-Profils und mit F_2 die Fläche, die unterhalb des angestrebten C-Soll-Profils liegt, wobei das Umschalten von der Kohlunphase in die Diffusionsphase vorgenommen wird, sobald $F_1 \geq K \times F_2$ ist, wobei der Faktor K Werte zwischen 1,0 und 1,3 aufweisen kann.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren wird eine erhebliche Zeitersparnis im Vergleich zu bekannten Verfahren zur Gasaufkohlung erreicht und erstmals sichergestellt, daß die rechnerisch festgelegte Kohlenstoffverlaufskurve durch ein Regelverfahren am Werkstück eingehalten wird. Weitere Einzelheiten, Merkmale und Vorteile des Ge-

genstandes der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung der zugehörigen Zeichnung, in der das erfindungsgemäße Verfahren schematisch unter Bezugnahme auf verschiedene Ausführungsbeispiele dargestellt ist. In der Zeichnung zeigt:

Fig. 1 verschiedene Kohlenstoffverlaufskurven (Kohlenstoffprofile) mit Prozeßführung nach dem Stand der Technik,

Fig. 2 eine Kohlenstoffverlaufskurve nach der Erfindung mit der Regelgröße C_V für Aufkohlungstiefen $A_t < 1,0$ mm,

Fig. 3 eine Kohlenstoffverlaufskurve mit der Regelgröße C_V für große Aufkohlungstiefen $A_t > 1$ mm,

Fig. 4 ein Ausführungsbeispiel für eine erfindungsgemäß durchgeführte Gasaufkohlung eines Stahles 20 Mn Cr 5,

Fig. 5 eine zu einem weiteren Ausführungsbeispiel gehörende Kohlenstoff-Verteilung,

Fig. 6 eine zu einem dritten Ausführungsbeispiel gehörende Kohlenstoff-Verteilung,

Fig. 7 eine C-Profilregelung über mehrere zusätzliche Zielgrößen und

Fig. 8 eine C-Profilregelung durch Flächenvergleich.

In Fig. 1 der Zeichnung ist gemäß Stand der Technik verdeutlicht, daß Kohlenstoffprofile sehr unterschiedliche Formen bei falscher Prozeßführung, insbesondere bei falscher Wahl der Zykluszeiten von Kohlungs- und Diffusionsphasen bei zweistufigen Aufkohlungs-Behandlungen annehmen können. Dabei treten Kohlenstoffprofile ähnlich den Verlaufskurven 1 und 3 beim Aufkohlen in nicht geringer Häufigkeit auf. Sie haben zur Folge, daß die Qualität der Einsatzhärteschicht solcher Teile durch zu hohen Restaustenitgehalt (Kurve 3) oder Unterhärtung, d.h. zu geringe Härtung (Kurve 1) erheblich gemindert ist. Aus diesem Grund ist ein S-förmiges Kohlenstoffprofil mit einem möglichst breiten horizontalen Bereich am Rand, wie ihn die Kohlenstoffverlaufskurve 2 in Fig. 1 der Zeichnung zeigt, bei der Aufkohlung prozeßtechnisch anzustreben.

Zur Erreichung dieses Ziels wird als dritte Zielgröße neben dem Randkohlenstoffgehalt C_R und der Aufkohlungstiefe A_t ein Punkt auf der angestrebten Kohlenstoffverlaufskurve (Kurve 2) ausgewählt, der zwischen 15 % und 90 % der gewünschten Aufkohlungstiefe A_t liegt und mit C_V bezeichnet ist, wie in Fig. 2 der Zeichnung schematisch dargestellt ist. Dabei verdeutlicht Fig. 2 im Vergleich zu Fig. 3 die Lage der Zielgröße C_V für kleine Aufkohlungstiefen $A_t < 1$ mm, während bei schematisch gleichem S-förmigen Verlauf Fig. 3 eine Aufkohlungskurve mit einer Zielgröße C_V verdeutlicht, die für große Aufkohlungstiefen $A_t > 1$ mm mit Vorteil angewandt werden kann. In beiden

Fällen wird der Aufkohlungsprozeß mit Hilfe eines Prozeßrechners so gesteuert, daß alle drei Zielgrößen C_R , C_V und A_t und damit der vorgegebene S-förmige C-Verlauf erreicht werden.

Dazu wird die angestrebte Zielkurve des C-Profils definiert und der zusätzliche Zielpunkt C_V im genannten Bereich des Profils festgelegt. Die Festlegung des Punktes C_V erfolgt aufgrund von Erfahrungswerten, die geeigneterweise im Prozeßrechner abgelegt sind. Im Falle der C-pegelgesteuerten Gasaufkohlung erfolgt dann die erste Phase des Aufkohlungsprozesses auf konventionelle Art durch Einstellung und Regelung eines möglichst hohen C-Pegels knapp unterhalb der Rußgrenze. Der eindiffundierende Kohlenstoff wird zusammen mit der Zunahme des Randkohlenstoffgehaltes C_R durch den Prozeßrechner rechnerisch verfolgt und der C-Pegel solange konstantgehalten, solange die errechnete C-Verlaufskurve den vorgegebenen Zielgrößenwert C_V noch nicht tangiert.

Bei Erreichen des Zielgrößenwertes C_V durch die errechnete C-Verlaufskurve wird der C-Pegel Sollwert auf einen Wert herabgesetzt, der dem vorgegebenen Randkohlenstoffgehalt C_R entspricht und dort geregelt, bis die C-Verlaufskurve wieder unter den Wert der Zielgröße C_V fällt.

Ab diesem Moment wird der C-Pegel wieder auf seinen ursprünglichen Sollwert, d.h. knapp unterhalb der Rußgrenze, angehoben. Dadurch steigt die C-Verlaufskurve wieder an. Erreicht sie in einem Punkt wieder den Wert der Zielgröße C_V , so wiederholt sich der oben beschriebene Vorgang.

Durch die zyklische Schaltung des C-Pegels zwischen zwei Sollwerten in dieser Phase der Behandlung gelingt es, die C-Verlaufskurve immer nahe dem Zielgrößenwert C_V zu halten, während die Eindringtiefe des Kohlenstoffs immer mehr zunimmt, bis die vorgegebene Aufkohlungstiefe A_t erreicht ist.

Bei oder kurz vor Erreichen der Aufkohlungstiefe A_t hält der Prozeßrechner den C-Pegel auf dem unteren Sollwert, damit der Randkohlenstoffgehalt C_R eingestellt wird.

Um einen völligen horizontalen Kohlenstoffverlauf in der äußersten Randschicht des Werkstücks zu erzielen, wird dem Prozeßrechner als zusätzliche Bedingung aufgegeben, die Aufkohlung erst zu beenden, wenn neben dem Erreichen von C_R , A_t und C_V auch keine höheren Kohlenstoffgehalte als C_R im Kurvenverlauf zwischen C_R und C_V vorhanden sind. Diese Zusatzbedingung ist geeignet, auch die kleinste Wölbung der Kohlenstoffverlaufskurve nach oben zu verhindern.

Am Beispiel der C-pegelgesteuerten Gasaufkohlung eines Werkstückes aus Stahl 20 Mn Cr 5 sei die erfindungsgemäße C-Profilregelung nachfolgend für drei verschiedene Aufkohlungstiefen von 0,2 mm, 0,9 mm und 2,0 mm erläutert.

1. Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 4:

Die Figur zeigt den Fall der niedrigen Aufkohlungstiefe von 0,2 mm. Die Kohlungstemperatur ist mit 900° C und der C-Pegel mit 1,10 % C unterhalb der Rußgrenze zu Beginn des Prozesses eingestellt. Die vorgegebenen Zielgrößen sind:

- a. $C_R = 0,80 \% C$
- b. $A_t = 0,2 \text{ mm}$ bei 0,35 % C
- c. S-förmige Kohlenstoffverlaufskurve.

Zur Durchführung des Gasaufkohlungsverfahrens mit obigen Zielgrößen wird die Lage des Regelpunktes C_V auf der C-Verlaufskurve mit 0,65 % C bei 0,08 mm Randabstand im Werkstück festgelegt. Anschließend führt der Prozeßrechner die Aufkohlung bei dem C-Pegel von 1,10 % C solange durch, bis der errechnete Kohlenstoffverlauf den Punkt C_V erreicht. Es wird dann der C-Pegel auf den Wert 0,8 % C, nämlich der Zielgröße des Randkohlenstoffgehalts, erniedrigt. Weitere Werte ergeben sich aus der Zeichnung.

Nach insgesamt 21 min. Behandlung ist der Randkohlenstoffgehalt mit 0,79 % C, die Aufkohlungstiefe A_t mit 0,20 mm und C_V mit 0,66 % C erreicht.

2. Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 5:

Die Figur zeigt den Fall der mittleren Aufkohlungstiefe von 0,9 mm. Die vorgegebenen Zielgrößen sind:

- a. $C_R = 0,80 \% C$
- b. $A_t = 0,90 \text{ mm}$
- c. S-förmiges C-Profil.

Die Kohlungstemperatur wird zu 940° C und der Kohlungs-C-Pegel zu 1,20 % C gewählt. Die Lage der dritten Zielgröße C_V auf dem angestrebten S-förmigen C-Profil wird mit 0,68 % C bei 0,40 mm vorgegeben.

Die erfindungsgemäße Prozeßführung erreicht die drei Zielgrößen C_R , A_t , C_V nach einer gesamten Aufkohlungsdauer von genau 188 min.

3. Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 6:

Die Figur zeigt den Fall der großen Aufkohlungstiefe von 2,0 mm. Die vorgegebenen Zielgrößen lauten:

- a. $C_R = 0,80 \% C$
- b. $A_t = 2,00 \text{ mm}$
- c. S-förmiges C-Profil.

Die Kohlungstemperatur wird zu 950° C und der Kohlungs-C-Pegel zu 1,20 % C gewählt. Die

Lage der dritten Zielgröße C_V auf dem angestrebten S-förmigen C-Profil wird mit 0,60 % C bei 1,20 mm vorgegeben.

Die erfindungsgemäße Prozeßführung erreicht diese Werte nach einer gesamten Aufkohlungsdauer von 847 min. Die Zielgrößen A_t und C_V sind mit 2,01 mm (statt 2,00 mm) und mit 0,62 % C (statt 0,60 % C) leicht überschritten. Dies kommt daher, daß der Prozeßrechner die Aufkohlung solange weitergeführt hat, bis zwischen C_R und C_V kein höherer C-Wert als C_R mehr war.

Fig. 7 der Zeichnung zeigt eine C-Profilregelung über mehrere zusätzliche Zielgrößen C_V^1 , C_V^2 und C_V^3 , die auf der Kohlenstoffverlaufskurve liegen. Dabei wird die Steuerung des Aufkohlungsprozesses wie folgt vorgenommen:

a. Aufkohlen bei hohen Werten C_P^1 solange, bis die Zielgröße C_V^1 erreicht ist.

b. Absenken des Kohlenstoffpegels von C_P^1 auf C_P^2 ungefähr gleich $C_R + 1/2 \times (C_P^1 - C_R)$, d.h. auf einen Wert, der $> C_R$ ist und $< C_P^1$ ist und Aufkohlen solange, bis die zusätzliche Zielgröße C_V^2 erreicht ist.

c. Absenken des Kohlenstoffpegels von C_P^2 auf $C_P^3 = C_R$ und Aufkohlen, bis die zusätzliche Zielgröße C_V^3 erreicht ist, womit gleichzeitig auch die Aufkohlungstiefe A_t eingestellt ist.

d. Fällt das C-Profil vorher unter eine der Zielgrößen C_V^1 und C_V^2 wird der Kohlenstoffpegel C_P noch einmal auf das nächsthöhere Niveau heraufgesetzt, z.B. von C_P^3 auf C_P^2 (oder von C_P^2 auf C_P^1), je nachdem welches C_V als zusätzliche Zielgröße unterschritten wurde. Auf diesem C_P -Wert wird solange gehalten, bis das vorher unterschrittene C_V wieder überschritten ist. Anschließend wird die Aufkohlung nach obiger Anweisung fortgesetzt, bis die Endwerte erreicht sind.

Fig. 8 der Zeichnung zeigt eine C-Profilregelung durch Flächenvergleich. Dabei wird die Kohlung bei hohem C-Pegel in der Kohlungsphase durchgeführt bis die Fläche $F_1 \geq K \times F_2$ ist, wobei die K-Werte zwischen 1,0 und 1,3 liegen können. Es erfolgt dann das Umschalten auf die Diffusionsphase mit abgesenktem Kohlenstoffpegel C_P (z. B.: $C_P = C_R$). Die Diffusionsphase wird durchgeführt bis $F_1 = 0$ und $F_2 = 0$ eingestellt sind. Dies wird durch den Prozeßrechner ermittelt.

Wird $F_1 = 0$, ohne daß F_2 ungefähr gleich 0 ist, d.h. wenn F_2 noch deutlich > 0 ist, dann soll der Kohlenstoffpegel C_P noch einmal etwas erhöht werden, womit auch F_1 wieder > 0 wird. Die Kohlung bei hohem C-Pegel wird dann gemäß Anfangsphase fortgesetzt.

Wird dagegen $F_2 = 0$, ohne daß F_1 bereits ungefähr gleich 0 ist, d.h. wenn F_1 noch deutlich > 0 ist, dann wird noch solange in der Diffusionsphase weiter gearbeitet, bis F_1 ungefähr gleich 0 eingestellt ist.

Mit den beschriebenen 2-stufigen Prozeßführungen, bestehend aus Kohlungsphase und Diffusionsphase ist es über die zusätzliche Zielgröße möglich, das optimale Verhältnis von Kohlungsdauer zu Diffusionsdauer zu erhalten oder im Kohlungsprozeß zu korrigieren, damit als Endresultat der gewünschte Randkohlenstoffgehalt bei der vorgegebenen Einsatzhärtetiefe erreicht wird, wobei die Kohlenstoffverlaufskurve einen horizontalen Randverlauf aufweist.

Ansprüche

1. Verfahren zur Gasaufkohlung von Stahl, bei dem das aufzukohlende Werkstück in einer kohlenstoffreichen Gasatmosphäre in einer ersten Kohlungsphase einem möglichst hohen C-Angebot an der Rußgrenze ausgesetzt wird und bei dem in einer sich anschließenden Diffusionsphase ein demgegenüber abgesenktes, dem angestrebten Randkohlenstoffgehalt entsprechendes C-Angebot eingestellt wird, wobei die Aufkohlung über die beiden Zielgrößen Randkohlenstoffgehalt C_R und Aufkohlungstiefe A_t geregelt wird,

dadurch gekennzeichnet,

daß zusätzlich zu den Zielgrößen Randkohlenstoffgehalt C_R und Aufkohlungstiefe A_t der Regelung der Aufkohlung zumindest eine weitere, für die Kohlenstoffverlaufskurve charakteristische Zielgröße vorgegeben wird, bei deren Erreichen der für die Kohlungsphase kennzeichnende Kohlenstoffpegel abgesenkt und die Diffusionsphase eingeleitet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere, vorzugsweise drei, für die Kohlenstoffverlaufskurve charakteristische Zielgrößen der Regelung zusätzlich vorgegeben werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Aufkohlung aus der Diffusionsphase heraus erneut in die Kohlungsphase gefahren wird, sobald die Kohlenstoffverlaufskurve unter die zusätzliche Zielgröße fällt, wobei bei deren erneutem Erreichen wieder auf die Diffusionsphase zurückgeschaltet wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, gekennzeichnet durch eine mehrmalige zyklische Umschaltung zwischen Kohlungsphase und Diffusionsphase.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die zusätzliche Zielgröße ein Kohlenstoffgehalt C_V mit Randabstand x auf der berechneten Kohlenstoffverlaufskurve ist, der zwischen 15 % und 90 % der Aufkohlungstiefe A_t liegt und bei dessen Erreichen von einem Kohlungspegel an der Rußgrenze, beispiels-

weise bei 1,2 Gew. % C, auf die Diffusionsphase mit beispielsweise 0,8 Gew. % C umgeschaltet wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Kohlenstoffgehalte C_V^1 bis C_V^n mit entsprechenden Randabständen x_1 bis x_n auf der Kohlenstoffverlaufskurve als zusätzliche Zielgröße der Regelung zugrundegelegt werden.

7. Verfahren nach Anspruch 5 und 6, dadurch gekennzeichnet, daß die angestrebte Kohlenstoffverlaufskurve rechnerisch definiert wird, die zusätzliche Zielgröße bzw. Zielgrößen C_V aufgrund von Erfahrungswerten festgelegt wird, die im Prozeßrechner abgelegt sind, wobei dann in der Kohlungsphase des Aufkohlungsprozesses mit einem möglichst hohen C-Pegel kurz unterhalb der Rußgrenze der Aufkohlungsprozeß begonnen wird, dabei der in das Werkstück eindiffundierende Kohlenstoff über die Zunahme des Randkohlenstoffgehalts C_R durch den Prozeßrechner rechnerisch verfolgt wird und der C-Pegel konstantgehalten wird, solange die errechnete Kohlenstoffverlaufskurve die vorgegebene Zielgröße C_V noch nicht tangiert, daß bei Erreichen der Zielgröße C_V durch die Kohlenstoffverlaufskurve der C-Pegel auf einen Wert herabgesetzt wird, der dem vorgegebenen Randkohlenstoffgehalt C_R entspricht und daß mit diesem herabgesetzten C-Pegel in der Diffusionsphase der Kohlungsprozeß solange fortgesetzt wird, bis die gewünschte Aufkohlungstiefe erreicht ist.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß bei einem Fallen der Kohlenstoffverlaufskurve in der Diffusionsphase unter den Wert der Zielgröße C_V der C-Pegel wieder auf den Wert der Kohlungsphase angehoben wird, wobei dieser Vorgang der zyklischen Schaltung des C-Pegels zwischen den zwei Zielgrößen C_R und C_V solange fortgesetzt wird, bis die vorgegebene Aufkohlungstiefe A_t erreicht ist.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die zusätzliche Zielgröße durch den Vergleich des Inhalts zweier Flächen F_1 und F_2 bestimmt wird, die durch die Flächen zwischen dem zum jeweiligen Zeitpunkt erzielten Ist-C-Profil und dem angestrebten Soll-C-Profil gegeben sind, wobei mit F_1 die Fläche definiert ist, die oberhalb des angestrebten C-Soll-Profils und mit F_2 die Fläche, die unterhalb des angestrebten C-Soll-Profils liegt.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Aufkohlung erst beendet wird, wenn neben dem Erreichen von C_R , A_t und C_V keine höheren Kohlenstoffgehalte als C_R in der Kohlenstoffverlaufskurve zwischen C_R und C_V vorhanden sind, insbesondere die Abbruchbedingung $\% C_R \geq \% C_{x1} \geq \% C_{x2} \dots \geq \% C_V$ gegeben ist.

Fig.1

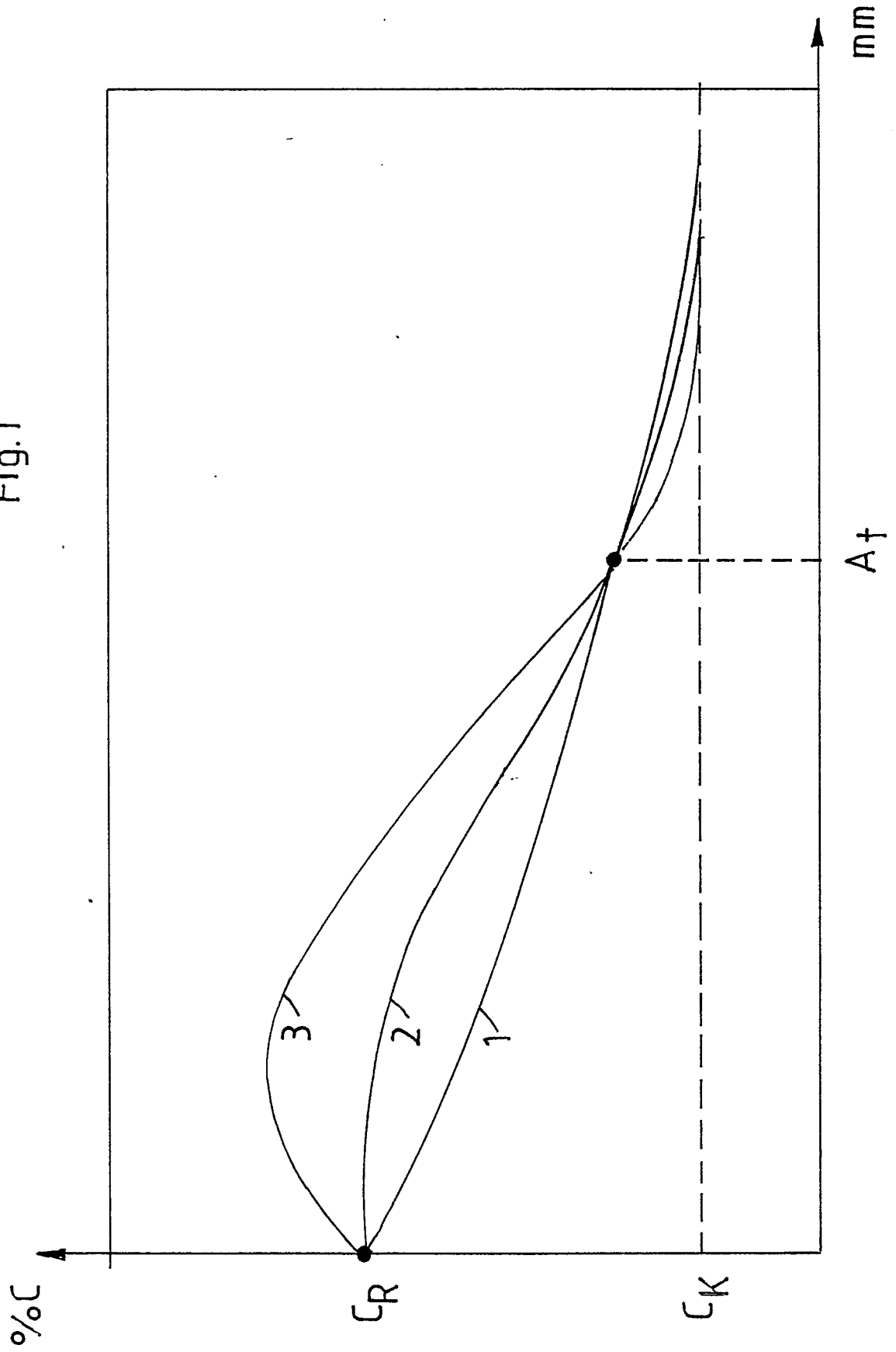


Fig. 2

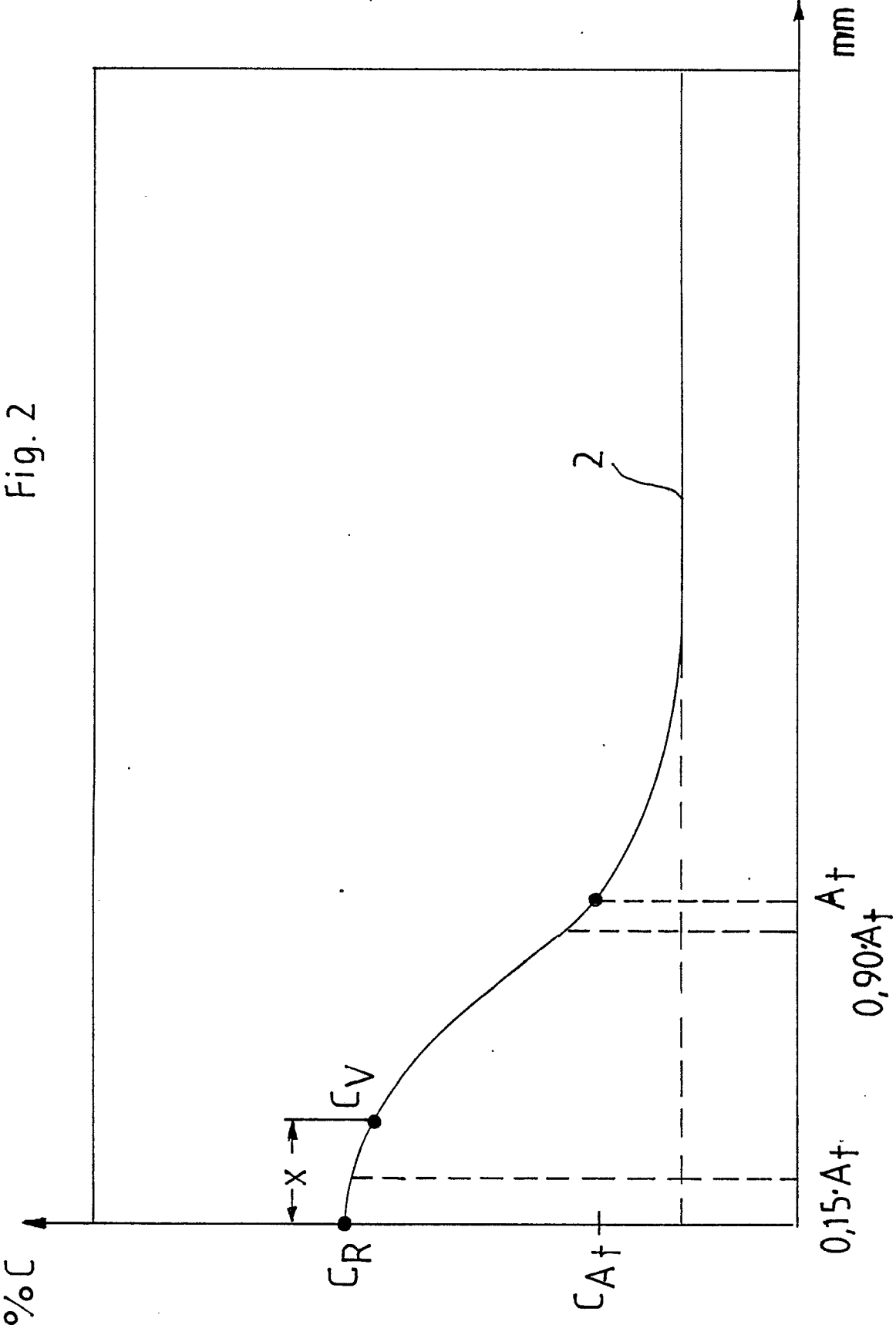
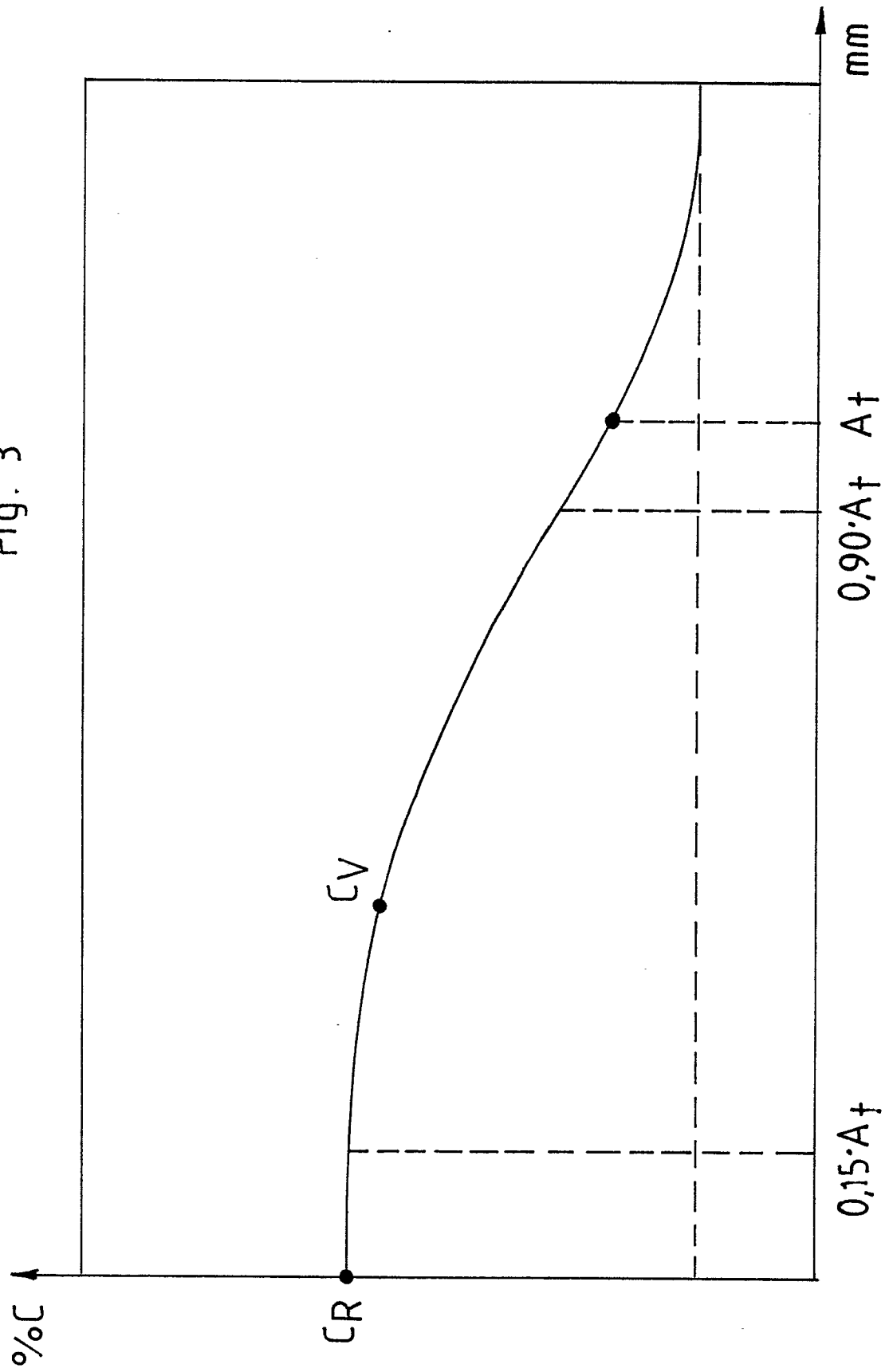


Fig. 3



I P S E N C A R B - O - T R O N I K C

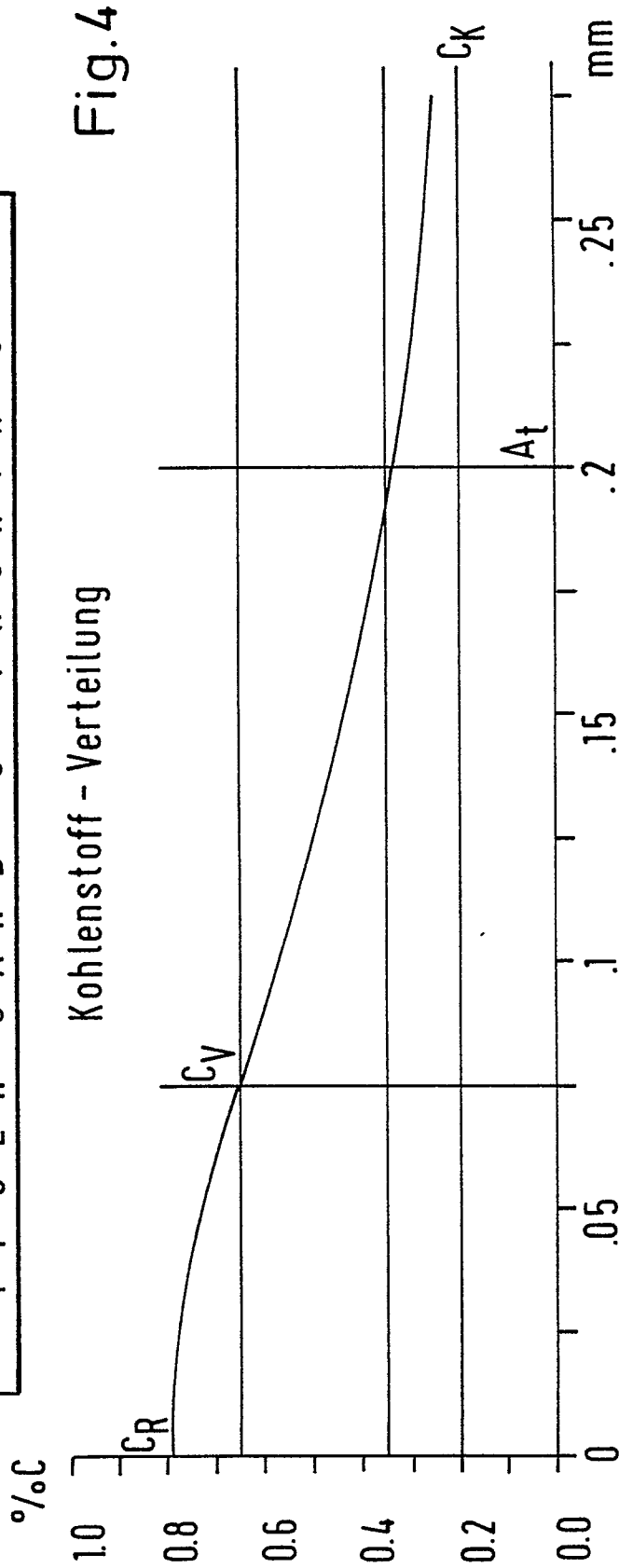


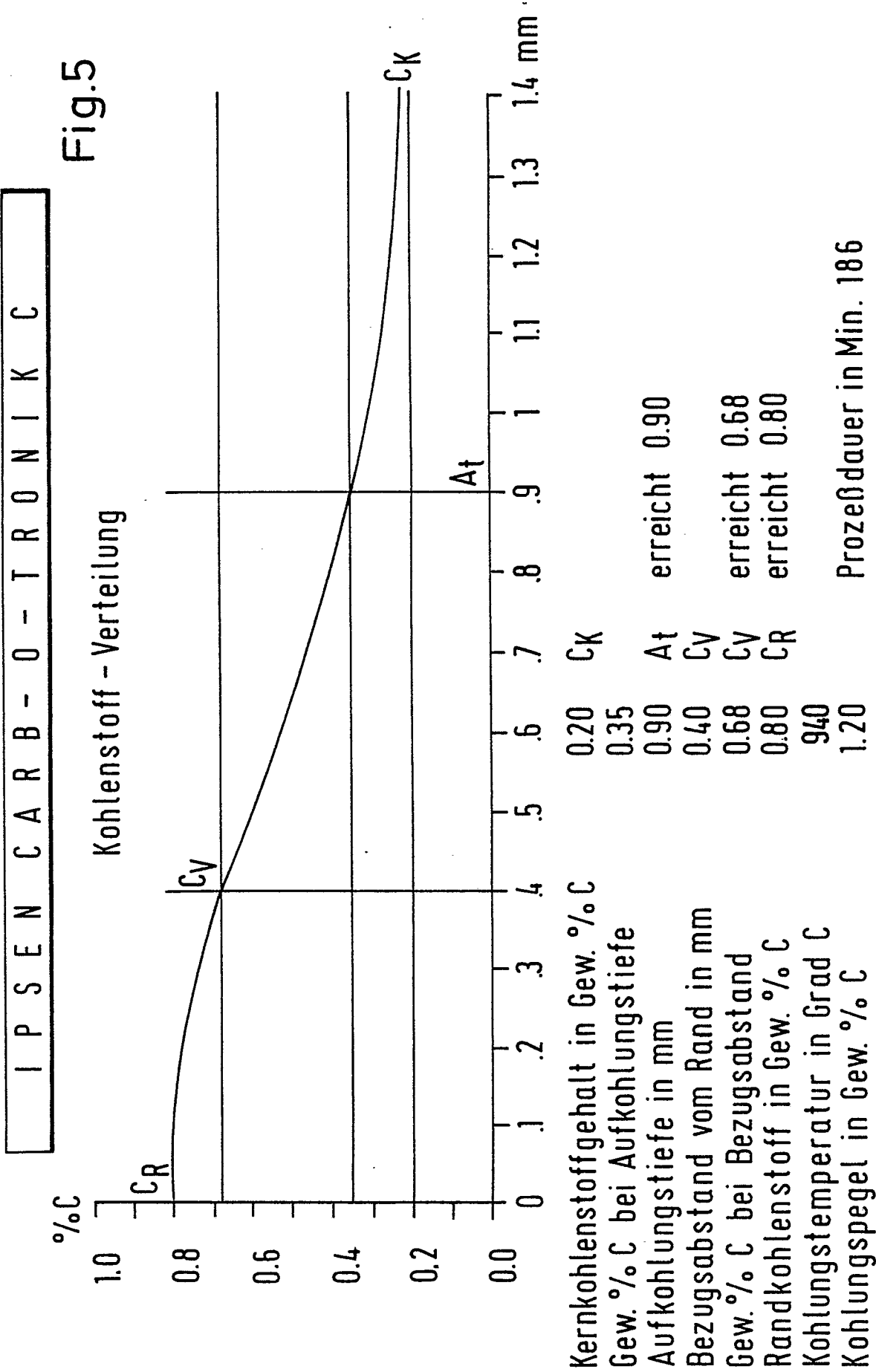
Fig.4

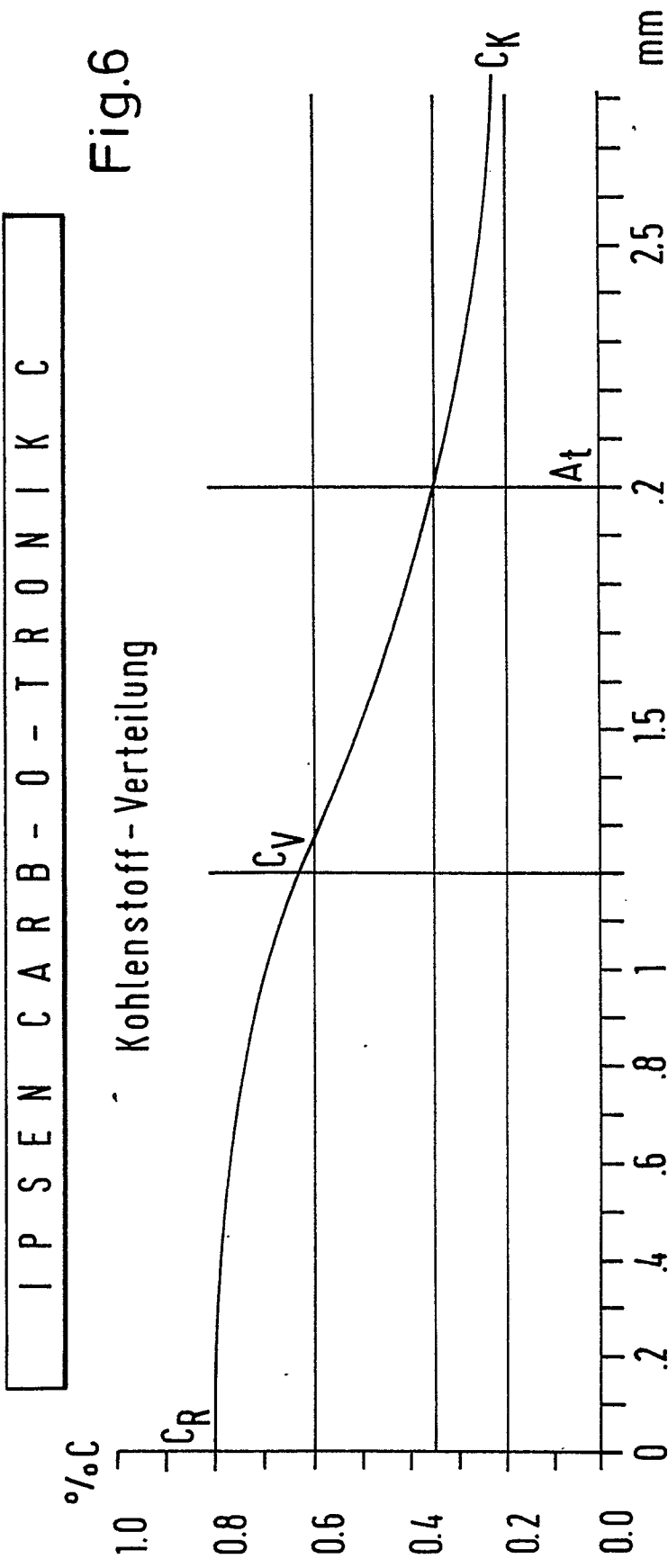
Kernkohlenstoffgehalt in Gew. % C
 Gew. % C bei Aufkohlungstiefe
 Aufkohlungstiefe in mm
 Bezugsabstand vom Rand in mm
 Gew. % C bei Bezugsabstand
 Randkohlenstoff in Gew. % C
 Kohlungstemperatur in Grad C
 Kohlungspegel in Gew. % C

CK
 At
 CV
 CV
 CR

erreicht 0.20
 erreicht 0.66
 erreicht 0.79

Prozeßdauer in Min. 21





Kernkohlenstoffgehalt in Gew. % C	0.20	C _K		
Gew. % C bei Aufkohlungsstiefe	0.35			
Aufkohlungstiefe in mm	2.00	A _t	erreicht	2.01
Bezugsabstand vom Rand in mm	1.20	C _V		
Gew. % C bei Bezugsabstand	0.60	C _V	erreicht	0.62
Randkohlenstoff in Gew. % C	0.80	C _R	erreicht	0.80
Kohlungstemperatur in Grad C	950			
Kohlungspegel in Gew. % C	1.20			
Prozeßdauer in Min. 847				

Fig.7

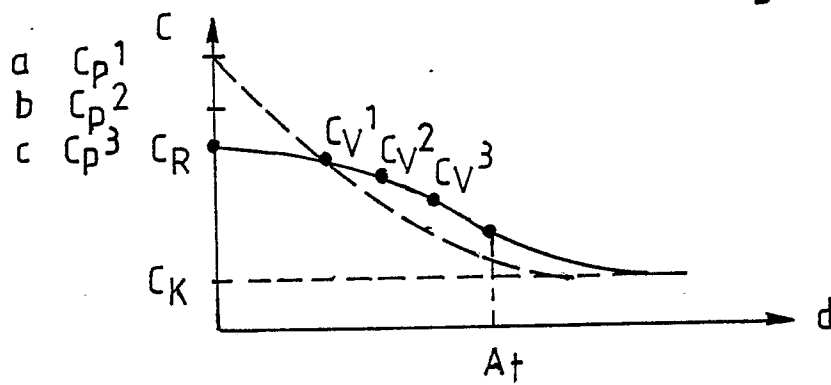


Fig.8

