

19



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



11 Veröffentlichungsnummer: **0 288 680 B1**

12

## EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

45 Veröffentlichungstag der Patentschrift: **30.09.92**

51 Int. Cl.<sup>5</sup>: **C23C 8/22**

21 Anmeldenummer: **88102679.3**

22 Anmeldetag: **24.02.88**

54 **Verfahren zur Gasaufkohlung von Stahl.**

30 Priorität: **29.04.87 DE 3714283**

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**02.11.88 Patentblatt 88/44**

45 Bekanntmachung des Hinweises auf die  
Patenterteilung:  
**30.09.92 Patentblatt 92/40**

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

56 Entgegenhaltungen:  
**EP-A- 0 156 378 EP-A- 0 213 011**  
**DE-A- 3 139 622 DE-A- 3 507 527**  
**DE-B- 1 222 762 US-E- 26 935**

**PATENT ABSTRACTS OF JAPAN, Band 7, Nr.**  
**235 (C-191)[1380], 19 Oktober 1983; & JP-A-58**  
**126 975 (KOMATSU SEISAKUSHO K.K.)**  
**28-07-1983**

73 Patentinhaber: **IPSEN INDUSTRIES INTERNA-**  
**TIONAL GESELLSCHAFT MIT BESCHRÄNK-**  
**TER HAFTUNG**  
**Flutstrasse 52**  
**W-4190 Kleve 1(DE)**

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

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

**EP 0 288 680 B1**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

## Beschreibung

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 Regelung der Aufkohlung zumindest über die Zielgrößen Randkohlenstoffgehalt  $C_R$ , Aufkohlungstiefe  $A_t$  sowie eine weitere Zielgröße erfolgt.

Bei der Aufkohlung von Stählen besteht grundsätzlich die Zielsetzung, in einer Randschicht des aufzukohlenden Werkstücks eine Kohlenstoffanreicherung dadurch vorzunehmen, daß in der Werkstückumgebung, 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 Werkstückrand bis zu einer Aufkohlungstiefe von etwa 3 mm die Aufkohlung durch einen gegenüber dem Grundwerkstoff deutlich erhöhten Kohlenstoffgehalt bemerkbar macht. Die Kohlenstoffverteilung in 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 Kohlenstoff-Pegel zur Erzielung des gewünschten Kohlenstoffprofils verwendet wird. Hierzu werden Rechner eingesetzt, denen zumindest in gewissen Zeitabständen die für den Aufkohlungsvorgang beachtlichen Prozeßwerte, wie Temperatur, Sauerstoffpotential, C-Pegel, C-Strom und dgl. eingegeben und als Steuergrößen für die Regelung des Aufkohlungsvorgangs 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 Kohlenstoffprofils 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 von 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  $C_{R \max}$  erreicht. Als Grenze  $C_{R \max}$  wird das Einsetzen der Carbidbildung vorgegeben.

Trotz dieser Durchführung der Kohlungsphase zur Vermeidung einer Carbidbildung hinzugefügten Regelgröße  $C_{R \max}$  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.

Eine Weiterentwicklung des eingangs beschriebenen Verfahrens findet sich ferner in der EP 0 156 378 A3. Dieses Verfahren erbeitet neben den Zielgrößen "Randkohlenstoffgehalt" und "Aufkohlungstiefe" mit einer dritten Zielgröße in Form des Kohlenstoffverlaufs am Werkstückrand. Dabei dient der durch die Oberfläche des Werkstücks diffundierende Kohlenstoff-Strom als Meßgröße, in deren Abhängigkeit die Zufuhr des Kohlenstoffs gesteuert wird.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, unabhängig von der Carbidgrenze eine Regelung vorzuschlagen, mit der es möglich ist, die gewünschte Kohlenstoffverlaufskurve (Kohlenstoffprofil) in 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

Einsetzhärtetiefe erreicht werden und dabei die Kohlenstoffverlaufskurve einen möglichst horizontalen Verlauf am Rand erhält.

Die Aufgabe ist erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß als weitere, für die Kohlenstoffverlaufskurve charakteristische Zielgröße ein Kohlenstoffgehalt  $C_V$  mit Randabstand  $x$  auf der berechneten Kohlenstoffverlaufskurve vorgegeben wird, der zwischen 15 % und 90 % der Aufkohlungstiefe  $A_t$  liegt und bei dessen Erreichen von einem Kohlungspegel an der Rußgrenze, beispielsweise bei 1,2 Gew. % C, auf die Diffusionsphase mit beispielsweise 0,8 Gew. % C umgeschaltet wird, wobei die Größe des Kohlenstoffgehaltes  $C_V$  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, mit  $F_1$  als jener Fläche, die oberhalb des angestrebten C-Soll-Profils liegt, und  $F_2$  als jener Fläche, die unterhalb des angestrebten C-Soll-Profils liegt.

Durch den Vorschlag, neben den bisherigen Zielgrößen der Regelung der Aufkohlung eine weitere Zielgröße in Form des Kohlenstoffgehaltes  $C_V$  mit Randabstand  $x$  auf der berechneten Kohlenstoffverlaufskurve zugrunde zu legen, die charakteristisch für die gewünschte S-förmige Kohlenstoffverlaufskurve ist, ist es möglich geworden, das optimale Verhältnis von Kohlungsdauer zu Diffusionsdauer zu erhalten, damit als Endresultat der gewünschten Randkohlenstoffgehalt, die gewünschte Einsetzhärtetiefe und außerdem eine Kohlenstoffverlaufskurve im Werkstück erreicht werden, die einen weitgehend horizontalen Verlauf am Rand aufweist.

Der Kohlenstoffgehalt  $C_V$  weist einen Randabstand  $x$  auf der berechneten Kohlenstoffverlaufskurve auf, der zwischen 15 % und 90 % der Aufkohlungstiefe  $A_t$  liegt und bei dessen Erreichen von einem Kohlungspegel 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 Zielgröße der Regelung zugrunde zu legen, um eine größere Sicherheit und Genauigkeit zu erzielen. Der Kohlenstoffgehalt  $C_V$  wird durch den Vergleich des Inhalts zweier Flächen  $F_1$  und  $F_2$  bestimmt, 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. Das Umschalten von der Kohlungsphase in die Diffusionsphase wird dann vorgenommen, sobald  $F_1 \geq K \times F_2$  ist, wobei der Faktor

K Werte zwischen 1,0 und 1,3 aufweisen kann.

Es kann 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 Kohlungsphase zu fahren, sobald die Kohlenstoffverlaufskurve unter die zusätzliche Zielgröße fällt, wobei bei deren erneuten Erreichen wieder auf die Diffusionsphase zurückgeschaltet wird. Häufig kann eine mehrmalige zyklische Umschaltung zwischen Kohlungsphase und Diffusionsphase zu einer kürzeren und genaueren Aufkohlung führen.

Die erfindungsgemäße C-Profilregelung wird vorzugsweise 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 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 Randkohlenstoffgehaltes  $C_R$  durch den Prozeßrechner rechnerisch verfolgt wird und der C-Pegel solange konstant gehalten 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. Fällt im Rahmen dieses Kohlungsprozesses die ermittelte Kohlenstoffverlaufskurve in der Diffusionsphase wieder unter den Wert der Zielgröße  $C_V$ , wird vorgeschlagen, den C-Pegel wieder auf den Wert der Kohlungsphase 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 Randkohlenstoffgehaltes  $C_R$ , 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.

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 Gegenstandes 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 Ziel-

größe 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-Profiles 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:

- $C_R = 0,80 \% C$
- $A_t = 0,2 \text{ mm}$  bei 0,35 % 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:

- $C_R = 0,80 \% C$
- $A_t = 0,90 \text{ mm}$
- 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:

- $C_R = 0,80 \% C$
- $A_t = 2,00 \text{ mm}$
- 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:

- Aufkohlen bei hohen Werten  $C_P^1$  solange, bis die Zielgröße  $C_V^1$  erreicht ist.
- 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  $> C_{RP}^1$  ist und Aufkohlen solange, bis die zusätzliche Zielgröße  $C_V^2$  erreicht ist.
- 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.
- 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 Kohl- lung bei hohem C-Pegel wird dann gemäß Auf- angsphase 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 Diffusionspha- se weiter gearbeitet, bis  $F_1$  ungefähr gleich 0 ein- gestellt ist.

Mit den beschriebenen 2-stufigen Prozeßfüh- rungen, bestehend aus Kohlun- gsphase und Diffu- sionsphase ist es über die zusätzliche Zielgröße möglich, das optimale Verhältnis von Kohlun- gsdauer zu Diffusionsdauer zu erhalten oder im Koh- lungsprozeß zu korrigieren, damit als Endresultat der gewünschte Randkohlenstoffgehalt bei der vor- gegebenen Einsatzhärte- tiefe erreicht wird, wobei die Kohlenstoffverlaufskurve einen horizontalen Randverlauf aufweist.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Gasaufkohlung von Stahl, bei dem das aufzukohlende Werkstück in einer kohlenstoffreichen Gasatmosphäre in einer ersten Kohlun- gsphase einem möglichst hohen C-Angebot an der Rußgrenze ausgesetzt wird und bei dem in einer sich anschließenden Dif- fusionsphase ein demgegenüber abgesenktes, dem angestrebten Randkohlenstoffgehalt ent- sprechendes C-Angebot eingestellt wird, wobei die Regelung der Aufkohlung zumindest über die Zielgrößen Randkohlenstoffgehalt  $C_R$ , Auf- kohlungstiefe  $A_t$  sowie eine weitere Zielgröße erfolgt,

### **dadurch gekennzeichnet,**

daß als weitere, für die Kohlenstoffverlaufskur- ve charakteristische Zielgröße ein Kohlenstoff- gehalt  $C_V$  mit Randabstand  $x$  auf der berechne- ten Kohlenstoffverlaufskurve vorgegeben wird, der zwischen 15 % und 90 % der Aufkoh- lungstiefe  $A_t$  liegt und bei dessen Erreichen von einem Kohlun- gspiegel an der Rußgrenze, beispielsweise bei 1,2 Gew. % C, auf die Diffu- sionsphase mit beispielsweise 0,8 Gew. % C umgeschaltet wird, wobei die Größe des Koh- lenstoffgehaltes  $C_V$  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, mit  $F_1$  als jener Fläche, die oberhalb des an- gestrebten C-Soll-Profiles liegt und mit  $F_2$  als jener Fläche, die unterhalb des angestrebten C-Soll-Profiles liegt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekenn- zeichnet, daß mehrere, vorzugsweise drei, für

die Kohlenstoffverlaufskurve charakteristische Zielgrößen der Regelung zusätzlich vorgege- ben werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Aufkohlung aus der Diffusionsphase heraus erneut in die Kohlun- gsphase gefahren wird, sobald die Kohlenstoff- verlaufskurve unter die zusätzliche Zielgröße fällt, wobei bei deren erneutem Erreichen wie- der auf die Diffusionsphase zurückgeschaltet wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, gekennzeichnet durch eine mehrmalige zyklische Umschaltung zwischen Kohlun- gsphase und Diffusionsphase.
5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekenn- zeichnet, daß mehrere Kohlenstoffgehalte  $C_V^1$  bis  $C_V^n$  mit entsprechenden Randabständen  $x_1$  bis  $x_n$  auf der Kohlenstoffverlaufskurve als zu- sätzliche Zielgröße der Regelung zugrundege- legt werden.
6. Verfahren nach Anspruch 1 und 5, dadurch gekennzeichnet, daß die angestrebte Kohlen- stoffverlaufskurve rechnerisch definiert wird, die zusätzliche Zielgröße bzw. Zielgrößen  $C_V$  aufgrund von Erfahrungswerten festgelegt wird, die im Prozeßrechner abgelegt sind, wobei dann in der Kohlun- gsphase des Aufkohlungs- prozesses mit einem möglichst hohen C-Pegel kurz unterhalb der Rußgrenze der Aufkohlungs- prozeß begonnen wird, dabei der in das Werk- stück eindiffundierende Kohlenstoff über die Zunahme des Randkohlenstoffgehalts  $C_R$  durch den Prozeßrechner rechnerisch verfolgt wird und der C-Pegel konstantgehalten wird, solange die errechnete Kohlenstoffverlaufskur- ve 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  $C_R$  ent- spricht und daß mit diesem herabgesetzten C- Pegel in der Diffusionsphase der Kohlun- gsp- rozeß solange fortgesetzt wird, bis die ge- wünschte Aufkohlungstiefe erreicht ist.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekenn- zeichnet, daß bei einem Fallen der Kohlenstoff- verlaufskurve in der Diffusionsphase unter den Wert der Zielgröße  $C_V$  der C-Pegel wieder auf den Wert der Kohlun- gsphase angehoben wird, wobei dieser Vorgang dem zyklischen Schal- tung des C-Pegels zwischen den zwei Zielgrö- ßen  $C_R$  und  $C_V$  solange fortgesetzt wird, bis die vorgegebene Aufkohlungstiefe  $A_t$  erreicht ist.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, 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  $\% C_R \geq \% C_{x_1} \geq \% C_{x_2} \dots \geq \% C_V$  gegeben ist.

## Claims

1. Method for the gas carburization of steel, in which the workpiece to be carburized is exposed to the highest possible C supply at the carbon black threshold in a high-carbon gaseous atmosphere in a first carburization phase, and in which a C supply which is in contrast reduced and corresponds to the desired surface carbon content is set in a subsequent diffusion phase, with the carburization being controlled at least via the target quantities surface carbon content  $C_R$ , carburization depth  $A_t$  and a further target quantity, characterised in that a carbon content  $C_V$  at a distance  $x$  from the surface on the calculated carbon gradient curve is predetermined as the further target quantity which is characteristic of the carbon gradient curve, which distance lies between 15% and 90% of the carburization depth  $A_t$  and upon attaining which there is a changeover from a carburization level at the carbon black threshold, for example with 1.2% C by weight, to the diffusion phase with, for example, 0.8% C by weight, with the magnitude of the carbon content  $C_V$  being determined by comparing the content of two areas  $F_1$  and  $F_2$ , which are produced by the areas between the actual C profile which is obtained at the instant in question and the desired C profile, with  $F_1$  as the area lying above the desired C profile and  $F_2$  as the area lying below the desired C profile.
2. Method according to claim 1, characterised in that a plurality, preferably three, control target quantities which are characteristic of the carbon gradient curve are additionally predetermined.
3. Method according to claims 1 and 2, characterised in that the carburization is again moved from the diffusion phase to the carburization phase as soon as the carbon gradient curve drops below the additional target quantity, again changing back to the diffusion phase when this quantity is attained again.
4. Method according to claim 3, characterised by a repeated cyclic changeover between the car-

burization phase and the diffusion phase.

5. Method according to claim 1, characterised in that a plurality of carbon contents  $C_V^1$  to  $C_V^n$  at corresponding distances  $x_1$  to  $x_n$  from the surface on the carbon gradient curve are taken as a basis as an additional control target quantity.
6. Method according to claims 1 and 5, characterised in that the desired carbon trend curve is mathematically defined and the additional target quantity or quantities  $C_V$  is/are determined on the basis of empirical values which are stored in the process control computer, with the carburization process then being started with the highest possible C level just below the carbon black threshold in the carburization phase of the carburization process, while the carbon diffusing into the workpiece beyond the increase in the surface carbon content  $C_R$  is mathematically tracked by the process control computer and the C level is maintained constant as long as the calculated carbon gradient curve does not attain the predetermined target quantity  $C_V$ , that when the target quantity  $C_V$  is attained by the carbon gradient curve the C level is reduced to a value which corresponds to the predetermined surface carbon content  $C_R$ , and that the carburization process is continued with this reduced C level in the diffusion phase until the desired carburization depth is attained.
7. Method according to claim 6, characterised in that if the carbon gradient curve drops below the value of the target quantity  $C_V$  in the diffusion phase, the C level is again raised to the value of the carburization phase, with this operation of cyclically switching the C level between the two target quantities  $C_R$  and  $C_V$  being continued until the predetermined carburization depth  $A_t$  is attained.
8. Method according to one of claims 1 to 7, characterised in that the carburization is not terminated until, in addition to attaining  $C_R$ ,  $A_t$  and  $C_V$ , there are no carbon contents higher than  $C_R$  in the carbon gradient curve between  $C_R$  and  $C_V$ , with the truncation condition  $\% C_R \geq \% C_{x_1} \geq \% C_{x_2} \dots \geq \% C_V$  applying in particular.

## Revendications

1. Procédé de cémentation gazeuse de l'acier, dans lequel la pièce d'oeuvre à cémenter est soumise dans une atmosphère gazeuse riche en carbone, dans une première phase de car-

buration, à un apport de C aussi élevé que possible à la limite de formation de suie, et dans lequel dans une phase de diffusion suivante un apport de C, réduit par rapport au premier et correspondant à la teneur superficielle en carbone recherchée, est ajusté, la mise au point de la cémentation se faisant au moins par l'intermédiaire des grandeurs cibles teneur superficielle en carbone  $C_R$ , épaisseur de cémentation  $A_t$  ainsi que d'une autre grandeur cible

caractérisé en ce que,

comme autre grandeur cible, caractéristique pour la courbe du carbone, une teneur en carbone  $C_V$  à une distance  $x$  du bord est prédéfinie sur la courbe du carbone calculée et se situe entre 15 % et 90 % de l'épaisseur de cémentation  $A_t$  et lorsqu'elle est atteinte par un niveau de carbone à la limite de la formation de suie, par exemple à 1,2 % de C en poids, le passage à la phase de diffusion se fait avec par exemple 0,8 % de C en poids, la valeur de la teneur en carbone  $C_V$  étant définie par la comparaison du contenu de deux surfaces  $F_1$  et  $F_2$  qui sont données par les surfaces entre le profil effectif du C au moment correspondant et le profil de consigne recherché du C,  $F_1$  étant la surface située au-dessus du profil de consigne recherché du C et  $F_2$  la surface située au-dessous du profil de consigne recherché du C.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que plusieurs grandeurs cibles du réglage, caractéristiques pour la courbe du carbone, et de préférence trois, sont en outre prédéterminées.

3. Procédé selon la revendication 1 et la revendication 2, caractérisé en ce que la cémentation est ramenée de la phase de diffusion de nouveau à la phase de carburation dès que la courbe du carbone tombe au-dessous des grandeurs cibles supplémentaires, et que dès qu'elles sont de nouveau atteintes, la phase de diffusion est reprise.

4. Procédé selon la revendication 3, caractérisé par une permutation cyclique multiple entre la phase de carburation et la phase de diffusion.

5. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que plusieurs teneurs en carbone  $C_V^1$  à  $C_V^n$  à des distances correspondantes du bord  $x_1$  à  $x_n$  sont prises comme bases sur la courbe du carbone en tant que grandeurs cibles supplémentaires du réglage.

6. Procédé selon la revendication 1 et la revendication 5, caractérisé en ce que la courbe du carbone recherchée est définie par le calcul, que la grandeur cible ou les grandeurs cibles  $C_V$  supplémentaires sont déterminées sur la base de valeurs empiriques qui sont conservées dans l'ordinateur, le traitement commençant dans la phase de carburation du processus de cémentation avec un niveau de C aussi élevé que possible, légèrement au-dessous de la limite de formation de suie, le carbone qui se diffuse dans la pièce d'oeuvre du fait de l'augmentation de la teneur superficielle en carbone  $C_R$  étant suivi par l'ordinateur au moyen de calculs et le niveau de C étant maintenu constant tant que la courbe du carbone calculée ne touche pas encore la grandeur cible prédéterminée  $C_V$ , en ce que lorsque la grandeur cible  $C_V$  est atteinte par la courbe du carbone, le niveau de C est abaissé à une valeur qui correspond à la teneur superficielle en carbone  $C_R$  prédéterminée et en ce que le processus se poursuit dans la phase de diffusion avec ce niveau de C réduit jusqu'à ce que l'épaisseur de cémentation désirée soit obtenue.

7. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que, si la courbe du carbone dans la phase de diffusion tombe au-dessous de la valeur de la grandeur cible  $C_V$ , le niveau de C est de nouveau augmenté à la valeur de la phase de carburation, cette opération de permutation cyclique du niveau de C entre les deux grandeurs cibles  $C_R$  et  $C_V$  se poursuivant jusqu'à ce que l'épaisseur de cémentation  $A_t$  prédéterminée soit obtenue.

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que la cémentation n'est terminée que lorsque, outre l'obtention de  $C_R$ ,  $A_t$  et  $C_V$ , aucune teneur en carbone supérieure à  $C_R$  n'est présente sur la courbe du carbone entre  $C_R$  et  $C_V$ , et en particulier lorsque la condition d'interruption  $\% C_R \geq \% C_{X1} \geq \% C_{X2} \dots \geq \% C_V$  est présente.

Fig.1

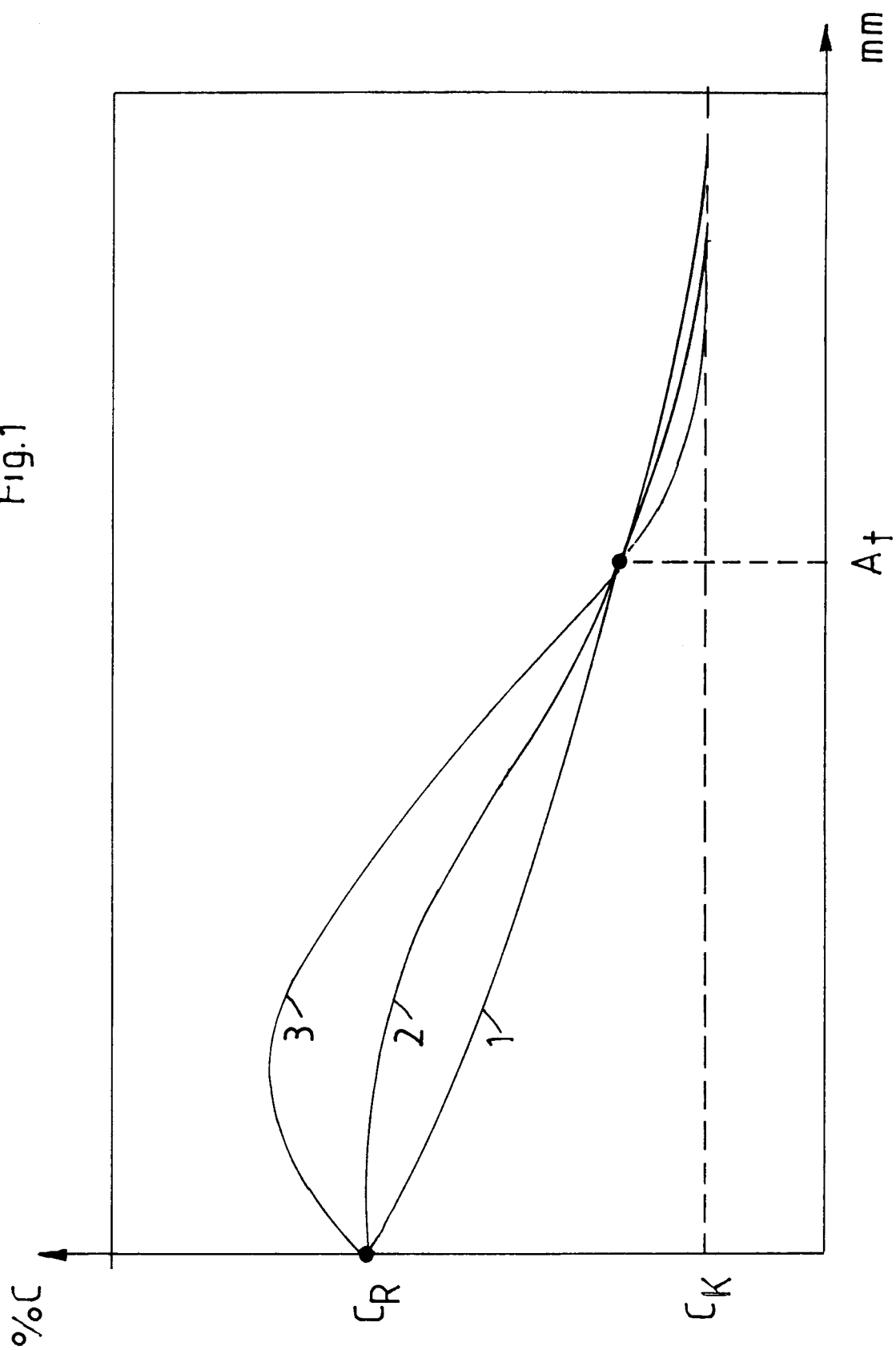


Fig. 2

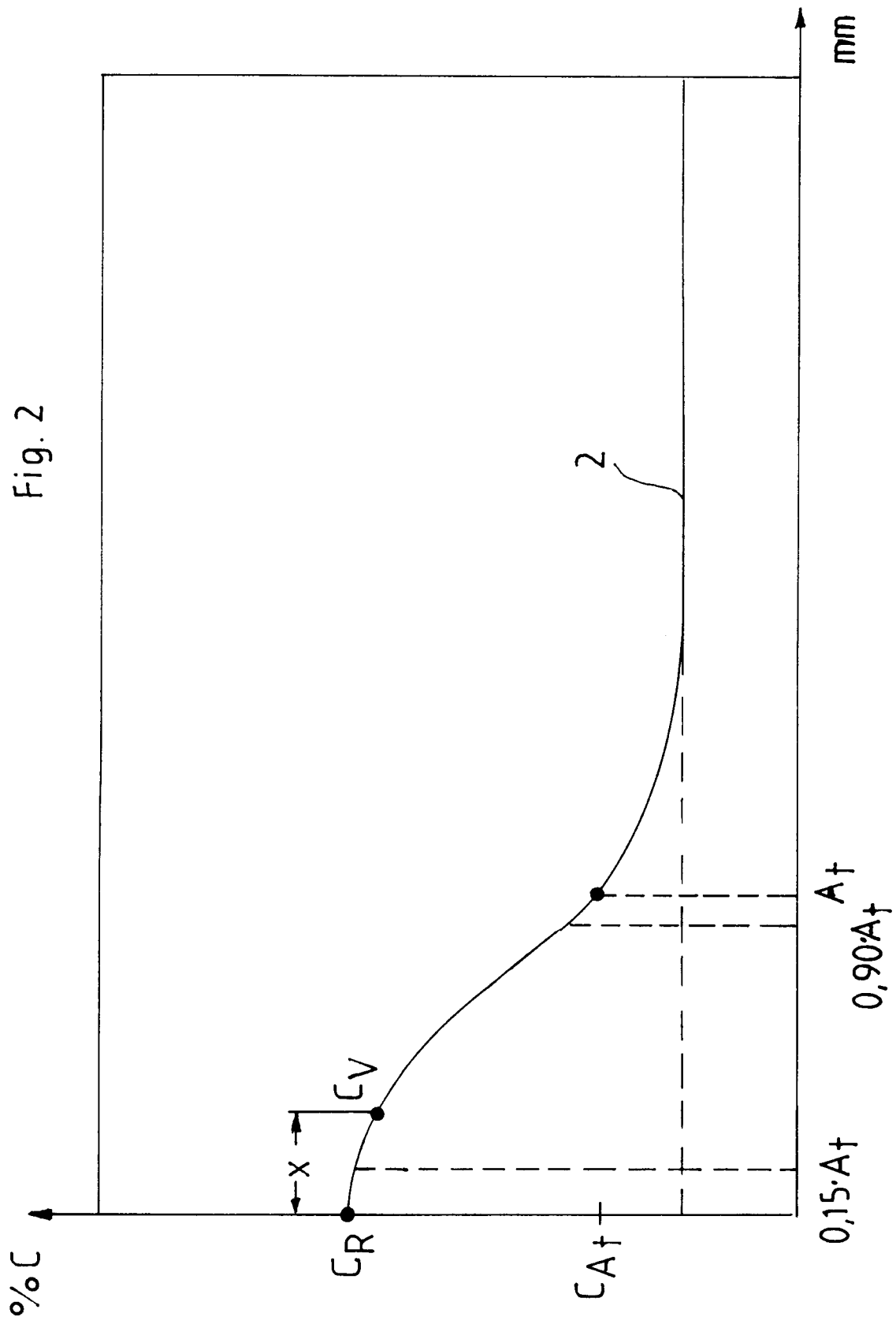
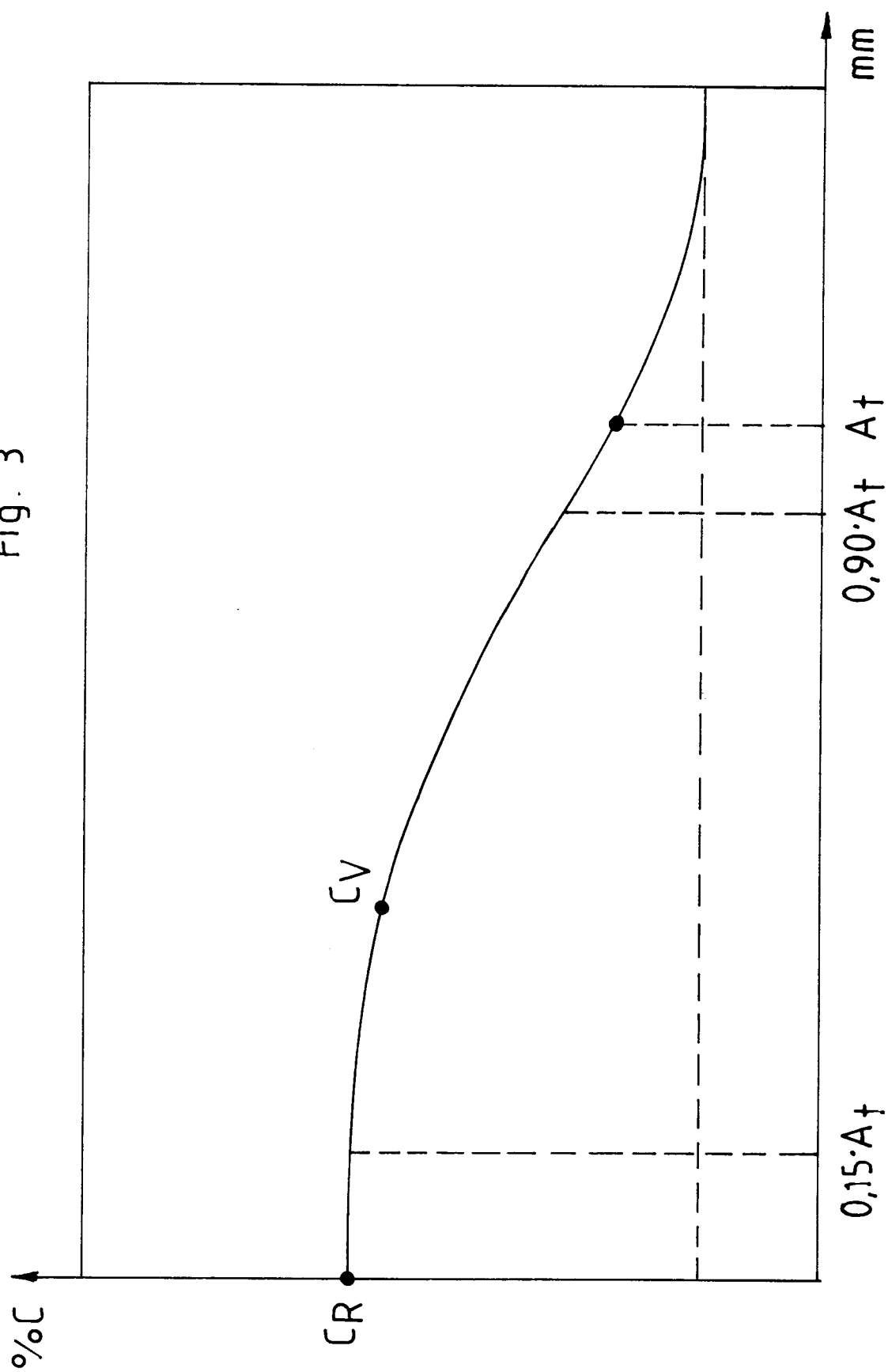


Fig. 3



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

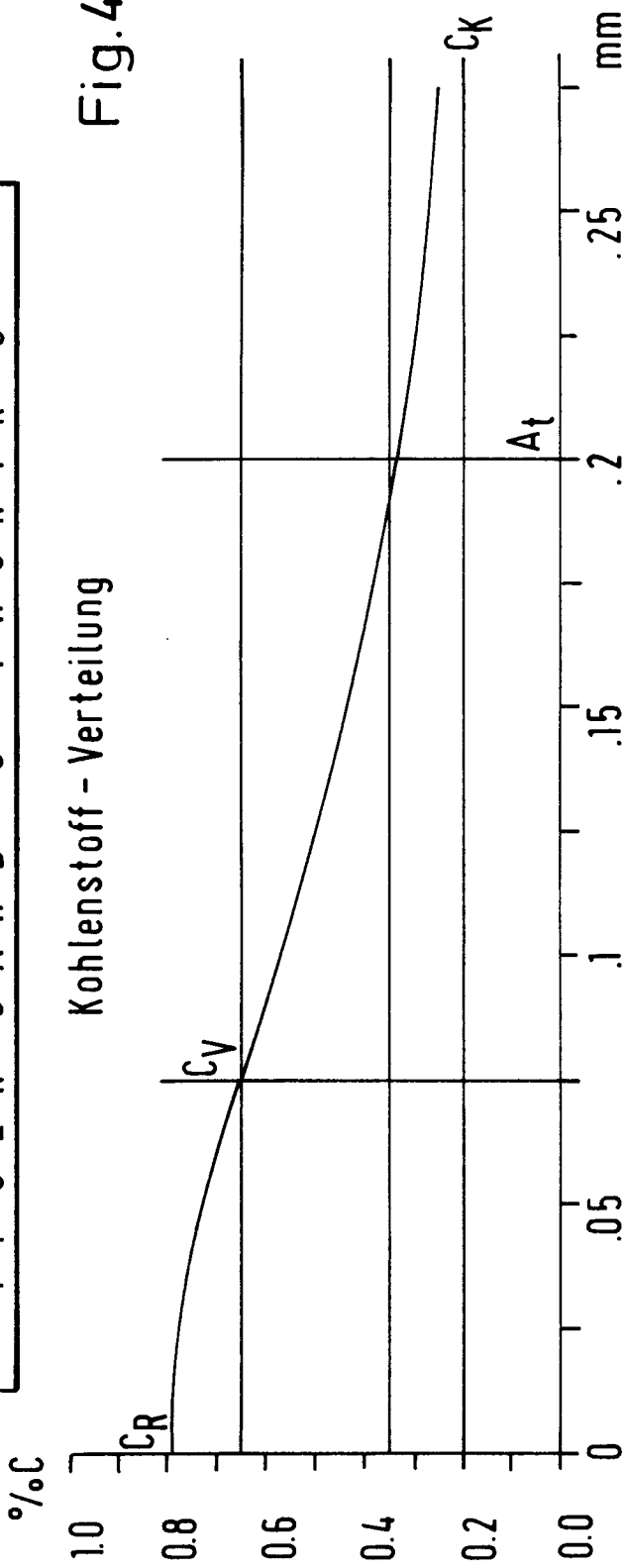
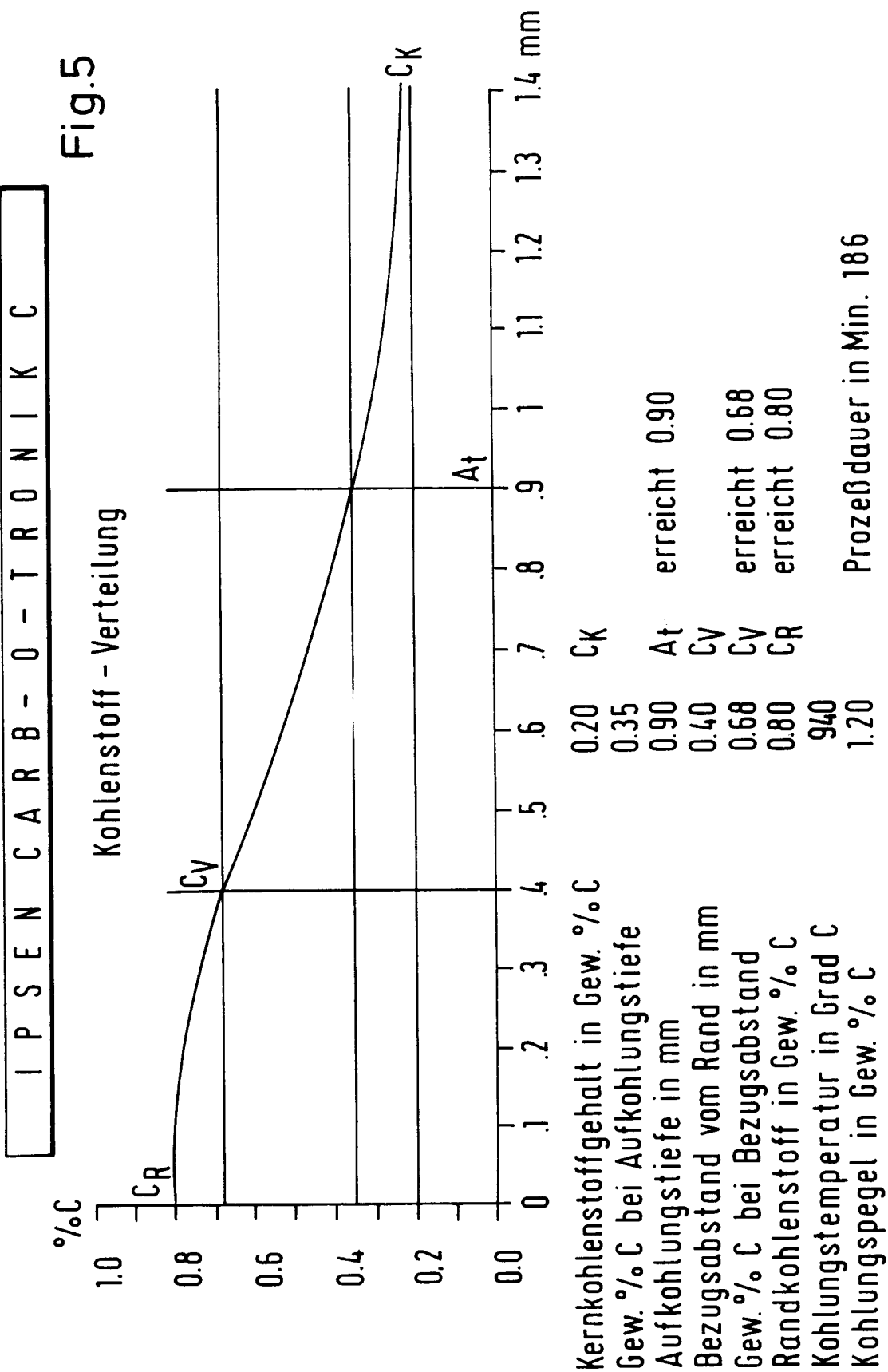
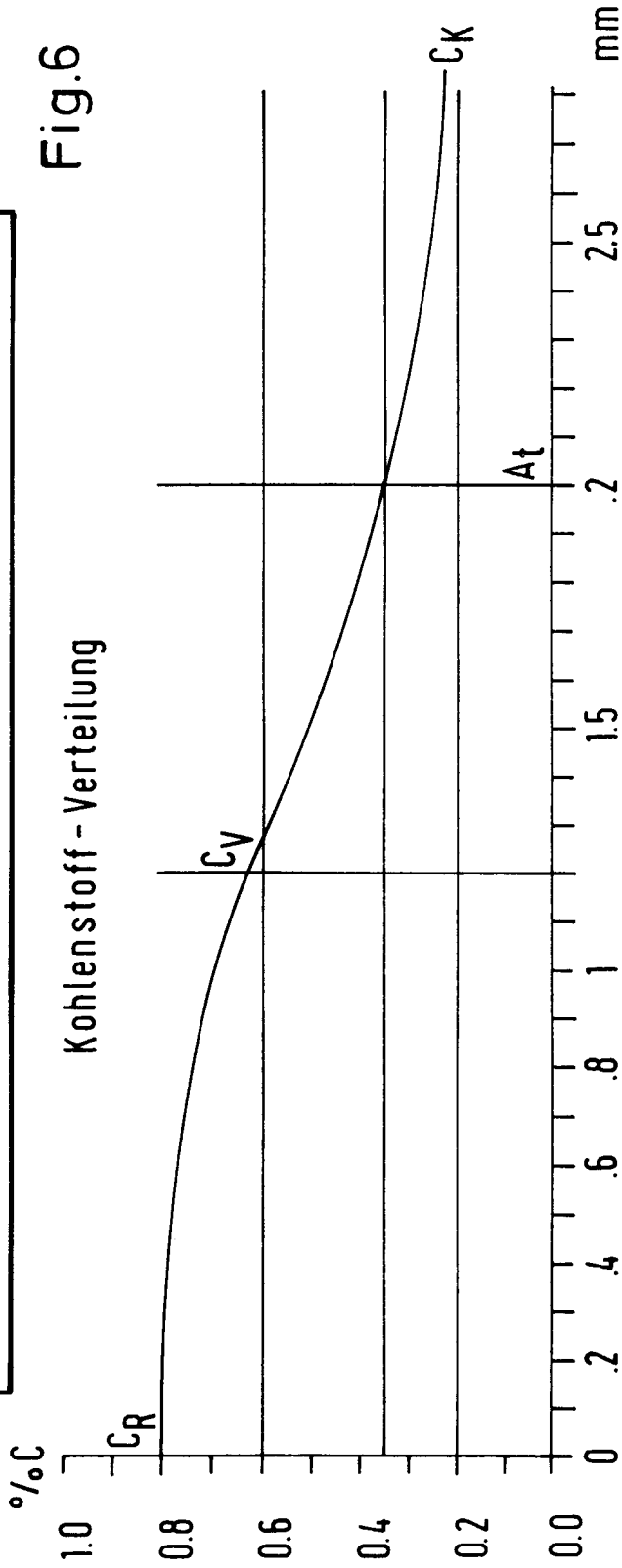


Fig.4

|                                   |      |                              |
|-----------------------------------|------|------------------------------|
| Kernkohlenstoffgehalt in Gew. % C | 0.20 | C <sub>K</sub>               |
| Gew. % C bei Aufkohlungstiefe     | 0.35 |                              |
| Aufkohlungstiefe in mm            | 0.20 | A <sub>t</sub> erreicht 0.20 |
| Bezugsabstand vom Rand in mm      | 0.08 | C <sub>V</sub>               |
| Gew. % C bei Bezugsabstand        | 0.65 | C <sub>V</sub> erreicht 0.66 |
| Randkohlenstoff in Gew. % C       | 0.80 | C <sub>R</sub> erreicht 0.79 |
| Kohlungstemperatur in Grad C      | 900  |                              |
| Kohlungspegel in Gew. % C         | 1.10 |                              |
| Prozeßdauer in Min. 21            |      |                              |



I P S E N C A R B - 0 - T R O N I K C



Kernkohlenstoffgehalt in Gew. % C 0.20 C<sub>K</sub>

Gew. % C bei Aufkohlungstiefe 0.35 C<sub>K</sub>

Aufkohlungstiefe in mm 2.00 At erreicht 2.01

Bezugsabstand vom Rand in mm 1.20 C<sub>V</sub>

Gew. % C bei Bezugsabstand 0.60 C<sub>V</sub>

Randkohlenstoff in Gew. % C 0.80 C<sub>R</sub>

Kohlungstemperatur in Grad C 950

Kohlungspegel in Gew. % C 1.20

Prozeßdauer in Min. 847

Fig.7

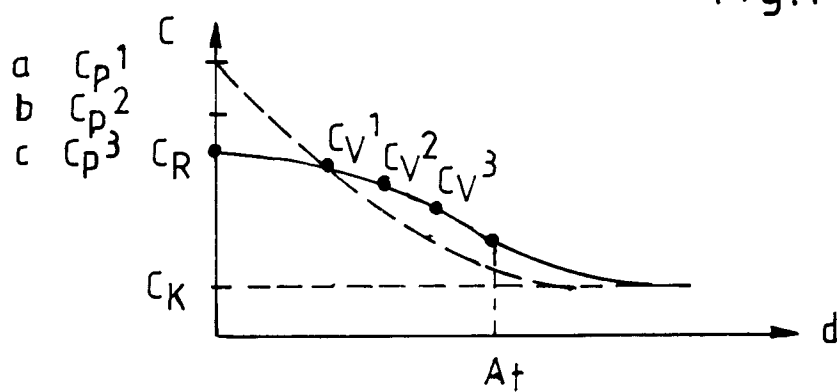


Fig.8

