



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) Veröffentlichungsnummer: **0 552 460 A1**

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: **92121129.8**

(51) Int. Cl. 5: **C23C 8/38**

(22) Anmeldetag: **11.12.92**

(30) Priorität: **20.01.92 DE 4201325**
19.11.92 DE 4238993

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
28.07.93 Patentblatt 93/30

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT DE ES FR GB IT

(71) Anmelder: **LEYBOLD DURFERRIT GmbH**
Bonner Strasse 498
W-5000 Köln 51(DE)

(72) Erfinder: **Melber, Albrecht, Dr.**
Darmstrasse 25-27
W-6100 Darmstadt(DE)
Erfinder: **Schnatbaum, Frank, Dipl.-Ing.**
Am Sandkamp 10A
W-3300 Braunschweig(DE)
Erfinder: **Kyong-Tschong Rie, Prof. Dr.-Ing.**
Rostockstrasse 14
W-3300 Braunschweig(DE)

(74) Vertreter: **Zapfe, Hans, Dipl.-Ing.**
Am Eichwald 7, Postfach 20 01 51
W-6056 Heusenstamm 2 (Rembrücken) (DE)

(54) Verfahren zum Härteten von Werkstücken in einer Impuls-Plasmaentladung.

(57) Werkstücke aus Stahl werden durch Aufkohlen der Oberfläche und anschließendes Abschrecken gehärtet. Das Aufkohlen wird mittels einer Plasmaentladung im Vakuum in Anwesenheit von gasförmigen Kohlenwasserstoffen bei Spannungen zwischen 200 und 2000 Volt, vorzugsweise zwischen 300 und 1000 Volt, und vorzugsweise unter Beimischung von Argon, durchgeführt. Das Plasma wird mittels im Vakuum betriebener Elektroden erzeugt, von denen die Katode als Werkstückhalter dient und im Impulsbetrieb betrieben wird. Um dabei auch bei ungleichmäßig geformten Werkstücken eine gleichmäßige Härteteverteilung zu erzielen und den Massenstrom an Kohlenstoff zu verringern, wird

- a) das Aufkohlen bei einem Gesamtdruck zwischen 14 und 30 mbar (1400 bis 3000 Pa) durchgeführt,
- b) die Impulsdauer zwischen 110 und 10.000 µs (Mikrosekunden) gewählt,
- c) die Pausendauer zwischen 30 und 10.000 µs gewählt und
- d) die der Plasmaentladung zugeführte mittlere Leistung wird nach Beendigung der Anfahrphase

durch Verringerung der Impulsdauer und/oder durch Verlängerung der Pausendauer entweder kontinuierlich oder schrittweise zurückgenommen, derart, daß der Kohlenstoffgehalt an der besagten Oberfläche ohne Unterbrechung des Impulsbetriebes zu keinem Zeitpunkt die Sättigungsgrenze des Werkstoffs für Kohlenstoff im Austenitgebiet überschreitet.

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Härteln von Werkstücken aus Stahl, insbesondere mit mindestens einem Legierungselement aus der Gruppe Cr, Ni, Mn, Si und Mo, durch Aufkohlen der Oberfläche und anschließendes Abschrecken, wobei das Aufkohlen mittels einer Plasmaentladung im Vakuum in Anwesenheit von gasförmigen Kohlenwasserstoffen bei Spannungen zwischen 200 und 2000 Volt, vorzugsweise zwischen 300 und 1000 Volt, durchgeführt und das Plasma mittels im Vakuum betriebener Elektroden erzeugt wird, von denen die Kathode als Werkstückhalter dient und im Impulsbetrieb betrieben wird.

Durch die EP-A2-0 288 680 ist es bekannt, daß bei zu hoher Anlieferungsgeschwindigkeit (Massenstrom m_c) des Kohlenstoffs an der Werkstückoberfläche eine Übersättigung an Kohlenstoff eintritt, die eine Karbidbildung zur Folge hat. Dadurch wird die bei der Aufkohlung zwischendurch erreichte hohe Härte wieder drastisch abgesenkt. Im Idealfall sollen die Verläufe von C-Gehalt und Härte in einem Diagramm als angenähert S-förmige Kurven darstellbar sein.

Ein Abbau der Übersättigung durch Diffusion des Kohlenstoffs in die Tiefe des Werkstücks wäre allenfalls nur über extrem langdauernde Diffusionsprozesse möglich. Es wird daher in der Literatur u.a. vorgeschlagen, während der Prozeßdauer mehrfach zyklisch zwischen Kohlungsphase und Diffusionsphase umzuschalten, um dem Kohlenstoff Gelegenheit zu geben, in die erforderliche Tiefe des Werkstücks zu diffundieren. Die Zyklusdauern sind lang, und die Erfassung der Zeitpunkte für die Umschaltung ist schwierig durchzuführen und daher ungenau.

Durch die US-A-4 900 371 ist ein Plasma-Impuls-Verfahren der eingangs beschriebenen Gattung bekannt, bei dem die Wiederholungsdauer 10 ms und die Impuls- und die Pausenlängen je 5 ms betragen. Die angegebenen Parameter sollen zur Vergleichsmäßigung der Gas- und Plasmaverteilung über die Werkstückoberfläche führen, haben bei den üblichen Katodenspannungen von 500 bis 1000 V jedoch Massenströme an Kohlenstoff zur Folge, die ohne Einschaltung von kohlungsfreien Diffusionsphasen gleichfalls bereits nach wenigen Minuten zur Übersättigung des Oberflächenbereichs mit Kohlenstoff und damit zur unerwünschten Karbidbildung führen würden. Aus den angegebenen Daten ergibt sich ein Massenstrom für Kohlenstoff

$$m_c = \text{ca. } 80 \text{ g.m}^{-2}.\text{h}^{-1}.$$

Ein weiteres Problem liegt darin, daß beim Plasma-Aufkohlen im Bereich der sog. anomalen Glimmentladung gearbeitet wird, in dem bei einer Steigerung der Spannung von etwa 200 auf über

1000 Volt die Stromdichte überproportional zunimmt, bis die anomale Glimmentladung nach Überschreiten eines Grenzwertes der Spannung schlagartig in eine Bogenentladung umschlägt (siehe: (1) Bell/Loh/Staines "Thermodynamische Behandlung im Plasma", NEUE HÜTTE, 28. Jahrgang, Heft 10, Oktober 1983, Seiten 373 bis 379; (2) Booth/Farrell/Johnson "The Theory and Practice of Plasma Carburising" HEAT TREATMENT OF METALS, 1983, S. 45 bis 52).

Dieser Vorgang ist unter allen Umständen zu vermeiden, da eine Schädigung des Werkstücks die Folge wäre. Unter den Bedingungen der US-A-4 900 371 ist ein Umschlagen der anomalen Glimmentladung in eine Bogenentladung nicht mit hinreichender Sicherheit auszuschließen.

Durch die US-A-4 490 190 und die EP-B1-0 062 550 ist es bei einem Verfahren der eingangs beschriebenen Gattung bekannt, bei einem über die Verfahrensdauer mit konstanter Leistung betriebenen Verfahren die Impulsdauer sehr viel kleiner als die Periodendauer zu wählen, um zwei Behandlungsparameter voneinander unabhängig zusammen, nämlich das Plasma einerseits und die Behandlungstemperatur andererseits. Diese Problematik ist jedoch nur beim Nitrieren und Nitrokarburierten gegeben, da die Behandlungstemperaturen hierbei deutlich unter 600 °C liegen müssen. Unter den angegebenen Bedingungen ist ein Aufkohlen innerhalb wirtschaftlich vertretbarer Behandlungszeiten nicht möglich, da dieser Prozeß erst bei Temperaturen oberhalb von etwa 800 °C mit brauchbarer Geschwindigkeit abläuft.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs angegebenen Gattung dahingehend zu verbessern, daß bei reproduzierbarer und einfacherer Prozeßüberwachung und -führung auch bei unregelmäßig geformten Werkstücken eine gleichmäßige Härteverteilung erzielt und eine Karbidbildung an der Oberfläche ohne die Zwischenschaltung einer ausgesprochenen Diffusionsphase unterbleibt, daß der Kohlenstoffgehalt an der Oberfläche des Werkstücks auf jeden Wert zwischen dem Kohlenstoffgehalt des Kerns im Werkstück und der Sättigungsgrenze des Werkstoffs eingestellt werden kann und daß ein Umschlagen der Glimmentladung in eine Bogenentladung zuverlässig verhindert wird.

Die Lösung der gestellten Aufgabe erfolgt bei dem eingangs angegebenen Verfahren erfindungsgemäß dadurch, daß

- a) das Aufkohlen bei einem Gesamtdruck zwischen 14 und 30 mbar (1400 bis 3000 Pa) durchgeführt wird,
- b) die Impulsdauer zwischen 110 und 10.000 µs (Mikrosekunden) gewählt wird,
- c) die Pausenlänge zwischen 30 und 10.000 µs gewählt wird und daß

d) die der Plasmaentladung zugeführte mittlere Leistung nach Beendigung der Anfahrphase durch Verringerung der Impulsdauer und/oder durch Verlängerung der Pausendauer zurückgenommen wird, derart, daß der Kohlenstoffgehalt an der besagten Oberfläche ohne Unterbrechung des Impulsbetriebes zu keinem Zeitpunkt die Sättigungsgrenze des Werkstoffs für Kohlenstoff im Austenitgebiet überschreitet.

Durch die Maßnahmen nach der Erfindung wird die Aufgabe in vollem Umfange gelöst, d.h., das eingangs angegebene Verfahren wird dahingehend verbessert, daß bei einfacherer Prozeßüberwachung und -führung eine Karbidbildung an der Oberfläche ohne die Zwischenschaltung einer ausgesprochenen Diffusionsphase unterbleibt, daß der Kohlenstoffgehalt an der Oberfläche des Werkstücks auf jeden Wert zwischen dem Kohlenstoffgehalt des Kerns im Werkstück und dessen Sättigungsgrenze reproduzierbar eingestellt werden kann und daß ein Umschlag der Glimmentladung in eine Bogenentladung zuverlässig verhindert wird.

Dabei wird insbesondere der Massenstrom m_c des Kohlenstoffs reduziert, so daß dessen Löslichkeit im Austenit nicht überschritten wird und keine Karbide gebildet werden können. Man kann das erfindungsgemäße Verfahren quasi-stationär mit ständig gepulstem Plasma betreiben.

Durch die oxidationsfreie Aufkohlung der Oberfläche durch das Plasma erfolgt eine Steigerung der Dauerfestigkeit, der Verzug des Werkstücks wird reduziert, und es entstehen geringere Kosten für die Nachbearbeitung der Werkstücke.

Besonders vorteilhafte Verhältnisse von Impulsdauer zu Pausendauer liegen zwischen 0,3 und 0,02. Bei einem Verhältnis von 0,2 ergab sich ein Massenstrom an Kohlenstoff von

$$m_c = 30 \text{ g.m}^{-2}.\text{h}^{-1}.$$

Wichtig ist dabei die Einhaltung des Merkmals d). Bei einer Absenkung des besagten Verhältnisses auf 0,025 ergab sich ein Massenstrom von noch

$$m_c = 5 \text{ g.m}^{-2}.\text{h}^{-1}.$$

Es ist dabei besonders vorteilhaft, wenn die mittlere Leistung nach einer Anfahrphase mit möglichst schnellem Ansteigen des Kohlenstoffgehalts an der Oberfläche vor Erreichen der besagten Sättigungsgrenze auf einen Wert zurückgenommen wird, bei dem der Impulsbetrieb unter kontinuierlicher Ausbreitung des Kohlenstoffgehalts unterhalb der Sättigungsgrenze in die Tiefe des Werkstückes fortgesetzt wird.

Der Massenstrom ist dann gerade so groß wie die Wanderung im Werkstück durch Diffusion. Hier-

durch kann der Prozeß beschleunigt werden, d.h. die Aufkohlungsgeschwindigkeit kann am Anfang sehr hoch gewählt werden, wird danach jedoch der Diffusionsgeschwindigkeit angepaßt.

5 Folgende Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens führen zu weiteren Vorteilen:

- Die Zurücknahme der mittleren Leistung erfolgt kontinuierlich, oder in einer oder mehreren Stufen.
- In einem weiteren Schritt kann der Massenstrom m_c soweitreduziert oder auf 0 eingestellt werden, daß durch weitere Eindiffusion von der Oberfläche in das Werkstückinnere der Rand-C-Gehalt auf den gewünschten Wert abgesenkt und (in der Kurvendarstellung des Härteverlaufs) im Randbereich ein waagrechter Verlauf eingestellt wird.
- das dem Plasma zugeführte Prozeßgas besteht aus 2 bis 50 %, vorzugsweise 10 bis 30 %, Argon, 3 bis 50 %, vorzugsweise 10 bis 30 %, Kohlenwasserstoffgas, Rest Wasserstoff (jeweils Volumenprozente).
- Mit zunehmendem Druck im Prozeßraum, d.h. am oberen Ende des Druckbereichs erfolgt eine noch bessere "Anschmiebung" des Plasmas an eine profilierte, strukturierte oder gar hinterschnittene Werkstückoberfläche, wie dies beispielsweise bei Zahnrädern, Lagerkäfigen o.dgl. der Fall ist.

30 Durch den Zusatz von Argon wird ein Teil der eingebrachten Energie für die Ionisierung des Argons verwendet, wodurch der Prozeß vorteilhaft gestaltet wird.

Als gasförmige Kohlenwasserstoffverbindungen kommen beispielsweise folgende Gase infrage: Methan, Äthan, Propan, Äthylen und Propen.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand der Figuren 1 bis 6 näher erläutert.

Es zeigen:

- | | | |
|----|---------|--|
| 40 | Figur 1 | einen Vertikalschnitt durch eine Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens, |
| 45 | Figur 2 | eine Parameterdarstellung der Abhängigkeit der Kohlenstoffkonzentration in verschiedenen Tiefen des Werkstücks nach unterschiedlicher Verfahrensdauer, |
| 50 | Figur 3 | die zu Figur 2 gehörenden Härtewerte, |
| 55 | Figur 4 | ein Diagramm über die Abhängigkeit der Kohlenstoffkonzentration ausgehend von der Oberfläche in die Tiefe des Werkstücks beim Ausführungsbeispiel, |
| | Figur 5 | ein Diagramm mit einer vergleichsweisen Darstellung des Härteverlaufs an Flanke und Fuß eines Zahns eines Zahnrades nach Anwendung ei- |

Figur 6 nes Prozeßdrucks von 2500 Pa, und ein Diagramm analog Figur 5, jedoch nach Anwendung eines Prozeßdrucks von nur 600 Pa.

In Figur 1 ist ein Vakuumofen 1 mit einer Ofenkammer 2 gezeigt, die mit einer Wärmedämmleinrichtung 3 ausgekleidet ist. Vor den Seitenwänden 3a der Wärmedämmleinrichtung 3 befindet sich eine an Masse gelegte Elektrode, die als Anode 4 des Stromkreises dient. Durch die Ofendecke 2a ist mittels einer Isolierdurchführung 5 eine senkrechte Tragstange 6 hindurchgeführt, die an ihrem unteren Ende einen plattenförmigen waagrechten Werkstückhalter trägt, der gleichfalls Elektrodenfunktion hat, d.h. als Katode 7 dient. Von den auf diesem Werkstückhalter angeordneten Werkstücken 8 ist nur ein einziges dargestellt.

Zwischen der Katode 7 und der Anode 4 befindet sich eine Stromversorgung 9 für die Erzeugung der Spannungsimpulse für die Bildung des Plasmas. Der Stromversorgung 9 ist ein Steuergerät 10 zugeordnet, mit dem die elektrischen Verfahrensparameter für die Beeinflussung des Plasmas einstellbar sind.

Katode 7 und Werkstücke 8 sind konzentrisch von einem Widerstandsheizkörper 11 umgeben, der an eine regelbare Stromquelle 12 angeschlossen ist. Die Energiebilanz des Ofens und damit die Werkstücktemperatur wird von den Verlusten einerseits und von der Summe der Energiebeiträge des Plasmas und der Strahlung des Widerstandsheizkörpers andererseits bestimmt.

In die Ofenkammer 2 mündet eine Versorgungsleitung 13, die von einer regelbaren Gasquelle 14 kommt und durch die gewünschten Prozeßgase oder Gasgemische zugeführt werden. Die Gasbilanz wird durch die Gaszufuhr, den Verbrauch durch die Werkstücke und ggf. Verlustsenken, nicht zuletzt aber durch den Einfluß der Vakumpumpe 15 bestimmt, die über eine Saugleitung 16 mit der Ofenkammer 2 verbunden ist und auch als Pumpensatz ausgebildet sein kann.

Im Boden 2b der Ofenkammer 2 befindet sich eine Öffnung 17, die durch einen Absperrschieber 18 verschließbar ist und unter der sich - vakuumdicht angeschlossen - ein beheizbarer Ölbehälter 19 mit einem Abschrecköl befindet. Über der Öffnung 17 befindet sich in der Katode 7 eine Öffnung 20, durch die die Werkstücke 8 mittels eines nicht gezeigten Manipulators in das Abschrecköl abgesenkt werden können. Die Wirkungsweise dieser Vorrichtung ergibt sich aus der allgemeinen Beschreibung und aus den Ausführungsbeispielen.

Figur 2 zeigt eine Parameterdarstellung der Abhängigkeit der Kohlenstoffkonzentration in verschiedenen Tiefen des Werkstücks nach unterschiedlicher Verfahrensdauer für den Fall, daß man eines der Verfahren nach dem Stande der Technik

(Gasaufkohlung) ohne Unterbrechung der Aufkohlung durch eine Diffusionspause anwendet. Auf der Abszisse sind die Tiefenwerte in Millimetern, ausgehend von der Werkstückoberfläche aufgetragen, auf der Ordinate die Kohlenstoffkonzentration in Gewichtprozenten. Die einzelnen Kurven gelten (von unten nach oben) für die unter der Abszisse aufgetragenen Verfahrensdauern von 0,5, 1, 2 und 4 Stunden. Es ist zu erkennen, daß die Kohlenstoffkonzentration an der Oberfläche bei einer Verfahrensdauer von 2 h den Sättigungswert bereits überschritten hat, was sich in einem Härteabfalls nach Figur 3 äußert.

Figur 3 zeigt die zu Figur 2 gehörenden Härtewerte. Die Abszisse trägt die gleiche Skala, und auf der Ordinate sind die Zugehörigen Härtewerte in HV aufgetragen. Es ist zu erkennen daß die Oberflächenhärte nach 2 h einen Spitzenwert von 800 HV mit einem steilen Abfall zur Tiefe hin erreicht, bereits bei einer Verfahrensdauer von 3 h aber durch Karbidbildung wieder abzunehmen beginnt und nach 4 h auf rund 700 HV absinkt. Bei Fortsetzung der Versuche verschlechtern sich die Verhältnisse noch weiter, was auch aus der Literatur allgemein bekannt ist (z.B. EP-A2-0 288 680).

Beispiel 1:

In einer Vorrichtung nach Figur 1 wurden als Substrate Zylinderzapfen aus der Stahllegierung 16MnCr5 mit einem Durchmesser von 20 mm charakteristisch aufgekohlt. Zunächst wurde die Vorrichtung zur Entfernung der Restgase auf einen Druck von 10^{-3} mbar evakuiert, worauf ein Gemisch aus 15 % Argon, Rest Wasserstoff bis zum einem Druck von 15 mbar eingelassen wurde. Durch gleichzeitigen Betrieb der Widerstandsheizung und Anlegen einer negativen Spannung von 600 V an die Substrate wurden diese durch Sputtern gereinigt und auf 900 °C aufgeheizt. Die Vorbehandlung dauerte 60 min. Danach wurde die Gasatmosphäre durch eine solche aus 5% Methan, 80% Wasserstoff und 15% Argon ersetzt, bis ein Druck von 15 mbar erreicht war. Anschließend wurde die eigentliche Aufkohlung mittels eines Impulsbetriebes durchgeführt, bei dem die Impulsspannung zu 600 V, das Verhältnis von Impulsdauer zu Pausendauer zu 0,07 an der Stromquelle eingestellt wurde. Die erste Phase der Behandlungsdauer betrug hierbei 240 min, wobei die Substrattemperatur durch Anpassung der Leistung der Widerstandsheizung auf konstanten 900 °C gehalten wurde. Danach wurde das besagte Verhältnis bei sonst gleichen Parametern auf 0,023 abgesenkt und die Aufkohlung bei 900 °C unter entsprechender Anpassung der Leistung der Widerstandsheizung für die Dauer von 90 min fortgesetzt. Während des gesamten Verfahrensablaufs traten zu keiner Zeit Lichtbogenentla-

dungen auf. Danach wurden die Zylinderzapfen durch einen Manipulator mit senkrechter Lage der Zylinderachse in das Ölbad eingeführt, das auf einer Temperatur von 60 °C gehalten wurde.

Messungen des Verlaufs des C-Gehalts führten zu dem Diagramm nach Figur 4. Auf der Abszisse ist in Analogie zu Fig. 2 die Tiefe in mm, ausgehend von der Oberfläche, und auf der Ordinate der C-Gehalt in Gewichtsprozent aufgetragen. Die Kurve zeigt den gewünschten S-förmigen Verlauf.

Der gleichfalls gemessene Härteverlauf betrug, von der Oberfläche ausgehend, bis zu einer Tiefe von 0,4 mm im gesamten Bereich 800 HVI. Die Einhärtetiefe betrug bei 0,9 mm 550 HVI. Dies entsprach in vollem Umfange den gestellten Forderungen.

Beispiel 2:

Der Versuch nach Beispiel 1 wurde wiederholt, jedoch mit folgenden Abwandlungen:

Als Substrate wurden Zahnräder mit einem Verhältnis von Zahnhöhe h_z zu Zahnlückenweite l_o von 1,5 aus der Stahllegierung 16CrMo4 eingesetzt. Die Behandlungstemperatur betrug 925 °C bei einem Gesamtdruck von 2500 Pa. In der ersten Aufkohlungsphase von 195 Minuten betrug das Verhältnis von Impulsdauer zu Pausendauer = 0,07, in einer zweiten Aufkohlungsphase von 70 Minuten = 0,04.

In Figur 5 sind die Ergebnisse dieses Versuchs dargestellt: Rechts oben im Fenster sind das Zahnprofil (schräffiert) und der sogenannte Plasmasaum (dicke schwarze Linie) dargestellt, desgleichen die Meßorte M1 und M2. Das Plasma schmiegt sich außerordentlich gut dem Zahnprofil an. Der Meßort M1 liegt in der Zahntandflanke, der Meßort M2 am Zahnhals. Im Diagramm ist die Härte "HVI" über der Tiefe "t" dargestellt. Die Kurve K1 zeigt den Härteverlauf am Meßort M1, die Kurve K2 den Härteverlauf am Meßort M2. Es ist zu erkennen, daß die Meßwerte recht gut übereinstimmen und daß insbesondere die Eindringtiefe "t" bei M1 und M2 im wesentlichen gleich ist, was auf die gute Anschmiegeung des Plasmas an das Zahnprofil zurückzuführen ist.

Beispiel 3 (Vergleichsbeispiel):

Der Versuch nach Beispiel 2 wurde wiederholt, und zwar mit dem einzigen Unterschied, daß der Gesamtdruck im Prozeßraum auf 600 Pa abgesenkt wurde.

In Figur 6 sind die Ergebnisse dieses Versuchs dargestellt: Rechts oben im Fenster sind auch hier das (identische) Zahnprofil (schräffiert) und der sogenannte Plasmasaum (dicke schwarze Linie) dargestellt, desgleichen die Meßorte M3 und M4. Das Plasma schmiegt sich nur am Zahnhals gut an,

und hat am Zahnhals einen deutlich größeren Abstand vom Zahnprofil. Der Meßort M3 liegt in der Zahntandflanke, der Meßort M4 am Zahnhals. Im Diagramm ist die Härte "HVI" über der Tiefe "t" dargestellt. Die Kurve K3 zeigt den Härteverlauf am Meßort M3, die Kurve K4 den Härteverlauf am Meßort M4. Es ist zu erkennen, daß die Meßwerte stark voneinander abweichen und daß insbesondere die Eindringtiefe "t" bei M4 deutlich geringer ist als bei M3, was auf die geringere Anschmiegeung des Plasmas im Fußbereich des Zahnprofils zurückzuführen ist.

Dieser Vergleichsversuch zeigt klar, daß dem Gesamtdruck im Prozeßraum erhebliche Bedeutung zukommt.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Härteln von Werkstücken aus Stahl, insbesondere mit mindestens einem Legierungselement aus der Gruppe Cr, Ni, Mn, Si und Mo, durch Aufkohlen der Oberfläche und anschließendes Abschrecken, wobei das Aufkohlen mittels einer Plasmaentladung im Vakuum in Anwesenheit von gasförmigen Kohlenwasserstoffen bei Spannungen zwischen 200 und 2000 Volt, vorzugsweise zwischen 300 und 1000 Volt, durchgeführt und das Plasma mittels im Vakuum betriebener Elektroden erzeugt wird, von denen die Kathode als Werkstückhalter dient und im Impulsbetrieb betrieben wird, dadurch gekennzeichnet, daß
 - a) das Aufkohlen bei einem Gesamtdruck zwischen 14 und 30 mbar (1400 bis 3000 Pa) durchgeführt wird,
 - b) die Impulsdauer zwischen 110 und 10.000 µs (Mikrosekunden) gewählt wird,
 - c) die Pausendauer zwischen 30 und 10.000 µs gewählt wird und daß
 - d) die der Plasmaentladung zugeführte mittlere Leistung nach Beendigung der Anfahrphase durch Verringerung der Impulsdauer und/oder durch Verlängerung der Pausendauer zurückgenommen wird, derart, daß der Kohlenstoffgehalt an der besagten Oberfläche ohne Unterbrechung des Impulsbetriebes zu keinem Zeitpunkt die Sättigungsgrenze des Werkstoffes für Kohlenstoff im Austenitgebiet überschreitet.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die mittlere Leistung nach einer Anfahrphase mit möglichst schneller Wachstumsrate des Kohlenstoffgehalts an der Oberfläche vor Erreichen der besagten Sättigungsgrenze auf einen Wert zurückgenommen wird, bei dem der Impulsbetrieb unter kontinuierlicher Ausbreitung des Kohlenstoffgehalts unter-

halb der Sättigungsgrenze in die Tiefe des Werkstückes fortgesetzt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß in einem letzten Schritt der Massenstrom an Kohlenstoff soweit reduziert oder auf O eingestellt wird, daß durch weitere Ein-diffusion von der Oberfläche in das Werkstück innere der Rand-C-Gehalt auf den gewünschten Wert abgesenkt und (in der Kurvendarstellung) im Randbereich ein waagrechter Verlauf eingestellt wird. 5
4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die mittlere Leistung kontinuierlich zurückgenommen wird. 10
5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die der Katode zugeführte Impulsspannung zwischen 200 und 900 V, vorzugsweise zwischen 500 und 700 V, gewählt wird. 15
6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das dem Plasma zugeführte Prozeßgas aus 2 bis 50 %, vorzugsweise 10 bis 30 %, Argon, 3 bis 50 %, vorzugsweise 10 bis 30 %, Kohlenwasserstoffgas, Rest Wasserstoff, besteht (jeweils Volumenprozente). 20
7. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein Defizit der den Werkstücken durch das Plasma zugeführten Leistung durch eine vom Plasma unabhängige Wärmequelle zugeführt wird. 25

30

35

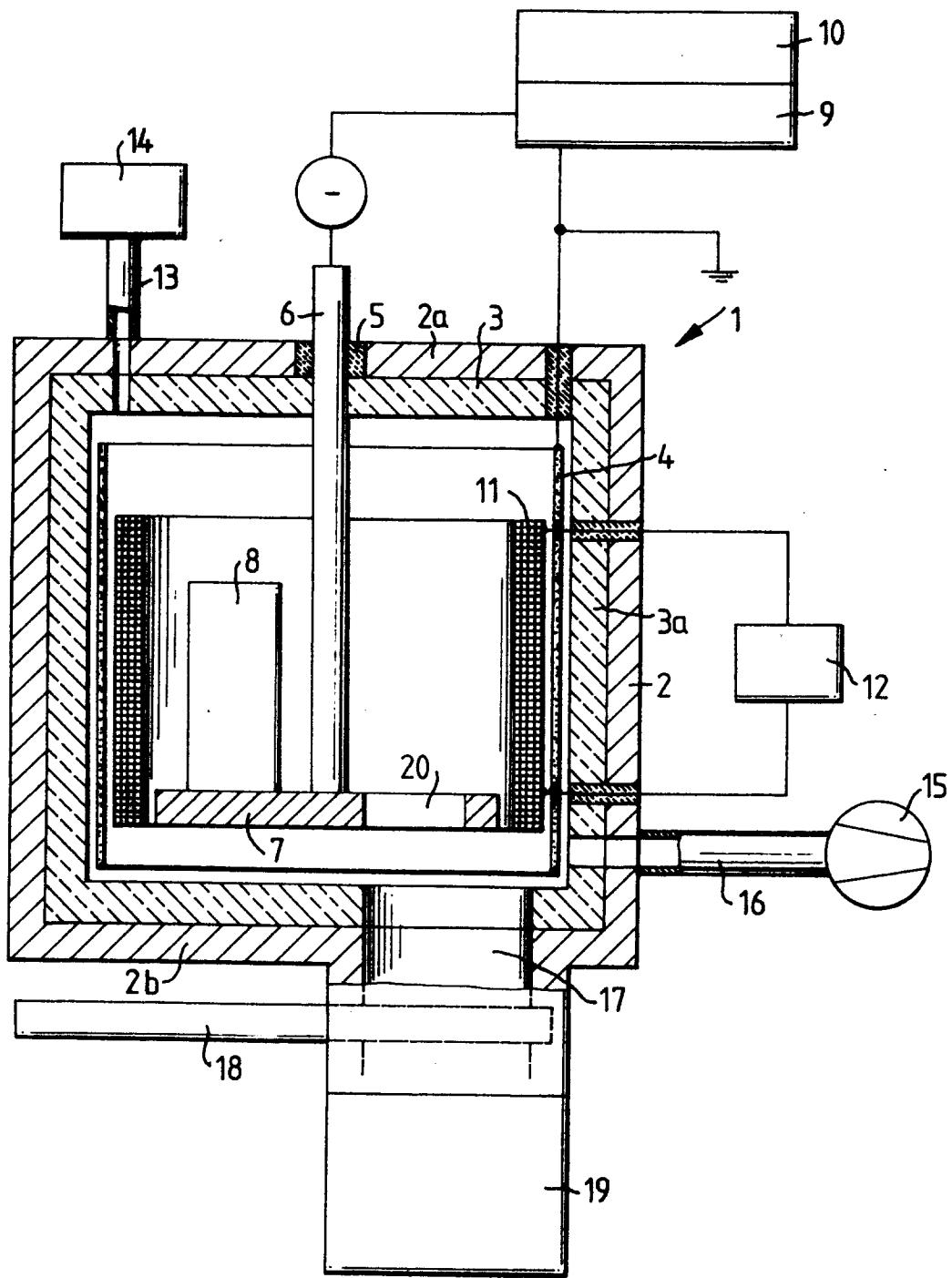
40

45

50

55

FIG.1



C [%]

FIG.2

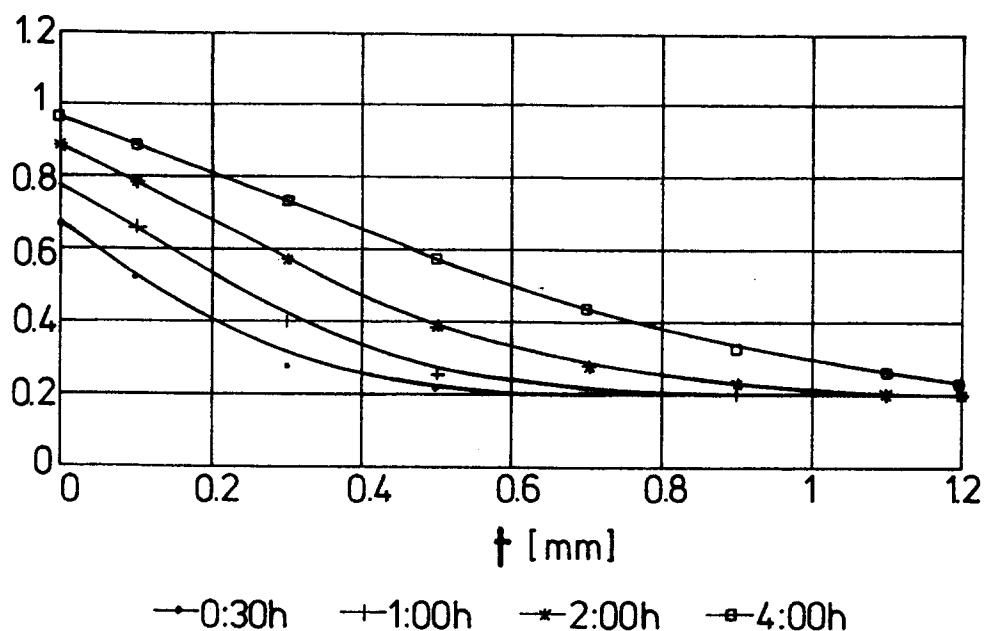


FIG.3

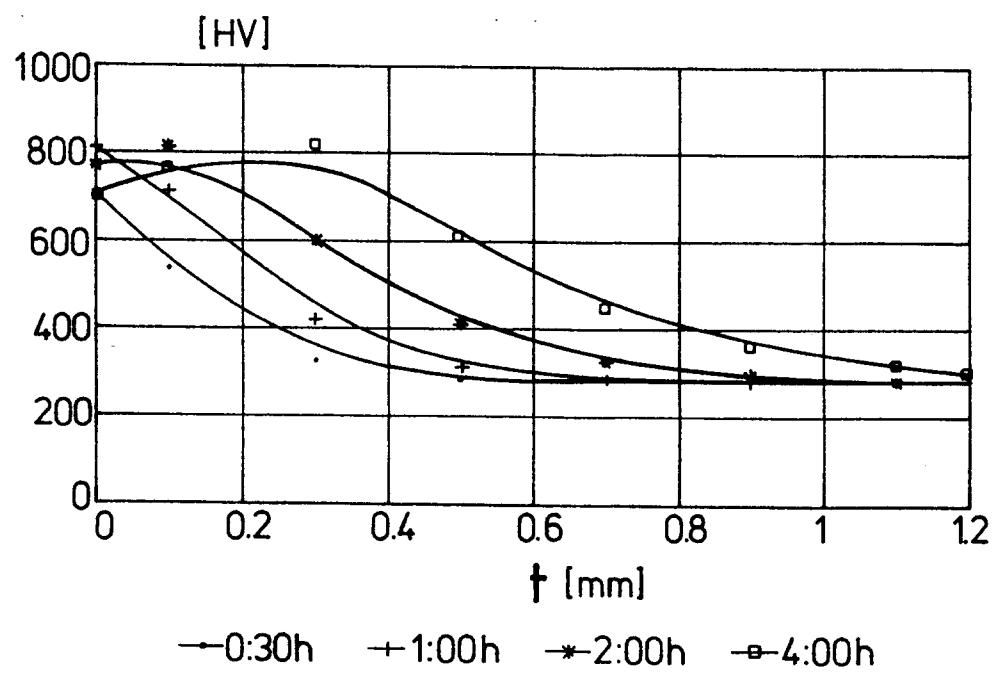
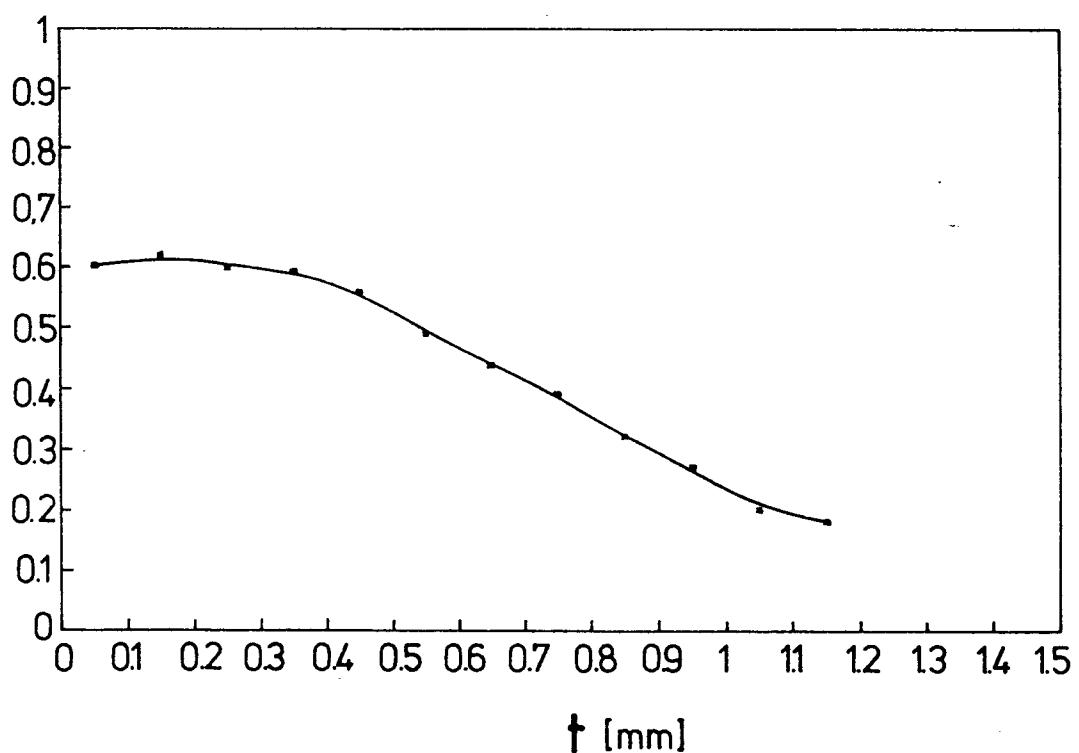


FIG.4

C [%]



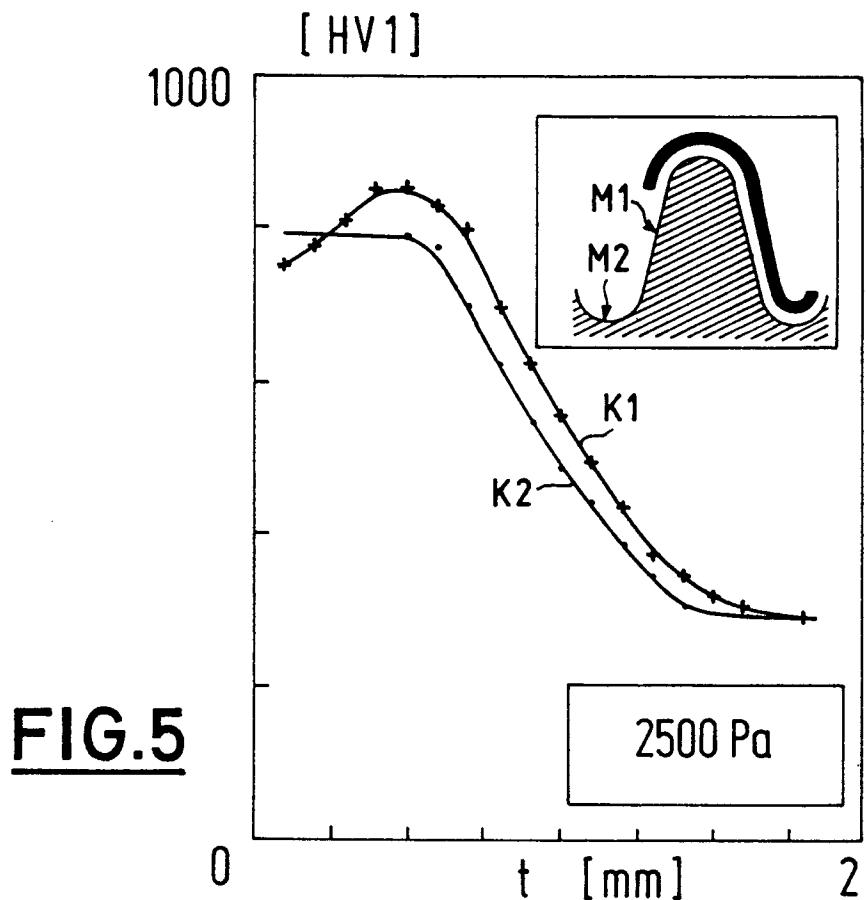


FIG.5

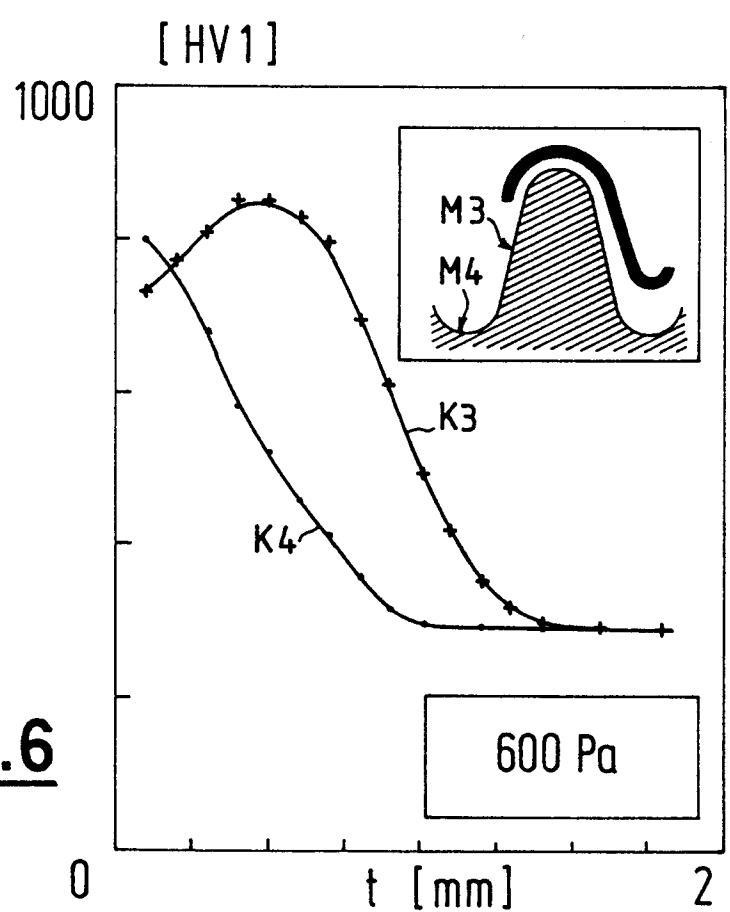


FIG.6



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 92 12 1129

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betreff Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl.5)
X	US-A-4 853 046 (STEPHEN H. VERHOFF) * Spalte 5, Zeile 66 - Spalte 6, Zeile 6 * * Spalte 7, Zeile 4 - Spalte 9, Zeile 68; Ansprüche 1-13 * ---	1-7	C23C8/38
A,D	EP-A-0 062 550 (VIDE ET TRAITEMENT) * Seite 1, Zeile 5; Ansprüche 1-8 * ---	1-6	
A	SURFACE AND COATINGS TECHNOLOGY Bd. 35, 1988, ELSEVIER SEQUOIA, LAUSANNE, CH Seiten 309 - 321 N.Y. PEHLIVANTURK 'plasma or ion carburizing of several steels' * Seite 309 - Seite 321 * ---	1	
A	METALLURGICAL TRANSACTIONS A Bd. 9A, Oktober 1978, US Seiten 1421 - 1429 WILLIAM L. GRUBE 'high-rate carburizing in a glow-discharge methane plasma' * Seite 1421 - Seite 1429 * ---	1	
A	DE-C-601 847 (SIEMENS-SCHUCKERTWERKE) ---		RECHERCHIERTE SACHGEBiete (Int. Cl.5)
A	FR-A-1 053 916 (ELEKTROPHYSIKALISCHE ANSTALT BERNHARD BERGHÄUS) -----		C23C
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenart DEN HAAG	Abschlußdatum der Recherche 04 MAI 1993	Prüfer ELSEN D.B.	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus andern Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur			