



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
06.08.2003 Patentblatt 2003/32

(51) Int Cl.7: **C23C 8/34**

(21) Anmeldenummer: **02002530.0**

(22) Anmeldetag: **04.02.2002**

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

(72) Erfinder: **Edenhofer, Bernd**
47533 Kleve (DE)

(74) Vertreter: **Stenger, Watzke & Ring Patentanwälte**
Kaiser-Friedrich-Ring 70
40547 Düsseldorf (DE)

(71) Anmelder: **Ipsen International GmbH**
47533 Kleve (DE)

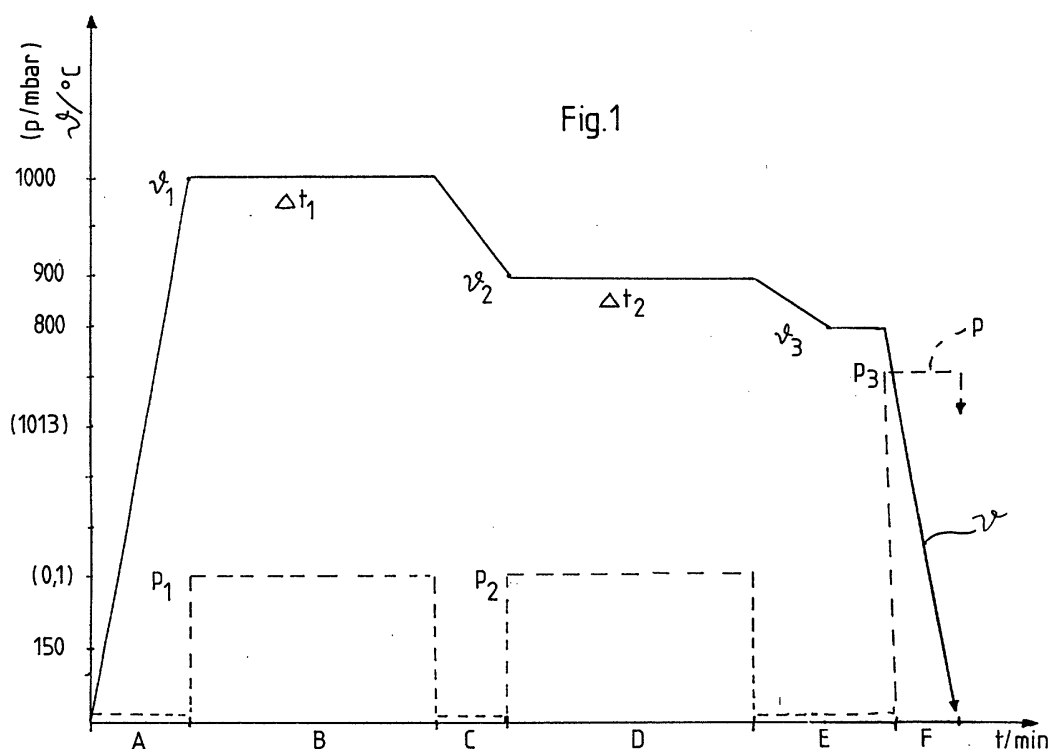
(54) **Verfahren und Vorrichtung zur Wärmebehandlung metallischer Werkstücke sowie wärmebehandeltes Werkstück**

(57) Ein Verfahren zur Wärmebehandlung metallischer Werkstücke, insbesondere zum kombinierten Aufkohlen, Borieren und Härten von Eisenwerkstoffen, weist in Hinsicht auf eine effiziente Verfahrensführung die nachstehenden, unmittelbar aufeinanderfolgenden Verfahrensschritte auf:

- a) eine Aufheizphase (A);
- b) eine Anreicherungsphase (B);

- c) eine erste Abkühlungsphase (C);
- d) eine Borierungsphase (D);
- e) eine zweite Abkühlungsphase (E) und
- f) eine abschließende Abschreckphase (F).

Die durch ein derartiges Verfahren behandelten Werkstücke zeichnen sich durch eine vergleichsweise große Zeit- und Dauerfestigkeit bei zugleich hoher Verschleißbeständigkeit aus.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Wärmebehandlung metallischer Werkstücke, insbesondere zum kombinierten Aufkohlen, Borieren und Härten von Eisenwerkstoffen. Sie bezieht sich ferner auf eine Vorrichtung, mittels der sich ein solches Verfahren durchführen läßt, und ein durch das Verfahren wärmebehandeltes Werkstück.

[0002] Zum Erzeugen von definierten Werkstückeigenschaften, wie etwa einer hohen Härte oder Verschleißbeständigkeit, werden metallische Werkstücke üblicherweise einer thermochemischen Wärmebehandlung unterzogen. Das Ziel dieser Wärmebehandlung ist beispielsweise beim Einsatzhärten, die Randschicht der Werkstücke zunächst aufzukohlen, das heißt mit Kohlenstoff anzureichern, um aufgrund der sich daraus ergebenden veränderten Werkstoffzusammensetzung den Werkstücken durch ein anschließendes Härten eine verhältnismäßig hohe Härte zu verleihen. Bekannt sind ferner Wärmebehandlungsarten, bei denen die Oberfläche der Werkstücke mit einer die geforderten mechanischen Eigenschaften hervorrufenden Schicht überzogen werden. So werden beispielsweise beim Borieren durch Eindiffusion von Bor eine harte Boridschicht auf der Oberfläche der Werkstücke erzeugt, die zu einer hohen Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit der Werkstücke führt.

[0003] Eine Zusammenstellung der unterschiedlichsten Wärmebehandlungsarten findet sich zum Beispiel in DIN 8580. Im Stand der Technik sind außerdem Verfahren bekannt, welche einzelne Wärmebehandlungsarten miteinander kombinieren. Diese sogenannten Kombinations-, Hybrid- oder Duplex-Verfahren machen sich Synergieeffekte zu nutze, die bei einer Kombination der verschiedenen Wärmebehandlungsarten entstehen (vergleiche O. H. Kessler et al.: "Combinations of coating and heat treating processes: establishing a system for combined processes and examples", Surface and Coatings Technology 108 - 109 (1998) Seiten 211 bis 216; T. Bell et al.: "Realising the potential of duplex surface engineering", Tribology International Volume 31 Nummer 1 - 3 (1998) Seiten 127 bis 137). Auf diese Weise lassen sich den Werkstücken Eigenschaften verleihen, die durch die einzelnen Wärmebehandlungsarten allein nicht zu erreichen wären. Die Werkstücke können somit komplexen Beanspruchungen, die beispielsweise sowohl eine große Dauerfestigkeit als auch eine hohe Beständigkeit gegen Verschleiß und Korrosion erfordern, genügen.

[0004] Nicht jede beliebige Kombination verschiedener Wärmebehandlungsarten ruft allerdings ein synergistisches Resultat hervor, wie Bell et al. aufzeigen (a. a. O., Seite 128). Dagegen hat eine positive Wirkung in Hinsicht auf mit einer harten Oberfläche versehene Werkstücke zum Beispiel die Kombination von CVD (Chemical Vapor Deposition) und Abschreckhärten. Denn, wie Kessler et al. (a. a. O.) darlegen, verfügt die

bei einem solchen Duplex-Verfahren durch den plasmaaktivierten Dampfabscheideprozeß erzeugte Oberflächenschicht über eine hohe Härte.

[0005] Der Erfindung liegt die **Aufgabe** zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Wärmebehandlung metallischer Werkstücke zu schaffen, mittels denen sich auf effiziente Weise eine vergleichsweise große Festigkeit, insbesondere Zeit- und Dauerfestigkeit, bei zugleich hoher Verschleißbeständigkeit der Werkstücke erzielen läßt.

[0006] Zur **Lösung** dieser Aufgabe weist ein Verfahren zur Wärmebehandlung metallischer Werkstücke, insbesondere zum kombinierten Aufkohlen, Borieren und Härten von Eisenwerkstoffen, in Übereinstimmung mit Anspruch 1 folgende Verfahrensschritte auf:

- a) Erwärmen der Werkstücke auf eine erste Temperatur unter Vakuum oder in einer neutralen oder reduzierenden Gasatmosphäre während einer Aufheizphase;
- b) Aufkohlen der Werkstücke bei der am Ende der Aufheizphase erreichten ersten Temperatur und einem ersten Druck für eine erste Zeitdauer in einer Kohlenwasserstoff enthaltenden Gasatmosphäre während einer sich unmittelbar an die Aufheizphase anschließenden Anreicherungsphase;
- c) Abkühlen der Werkstücke von der ersten Temperatur auf eine zweite Temperatur unter Vakuum oder in einer hauptsächlich Stickstoff (N₂) enthaltenden Gasatmosphäre während einer sich unmittelbar an die Anreicherungsphase anschließenden ersten Abkühlungsphase;
- d) Borieren der Werkstücke bei der am Ende der ersten Abkühlungsphase erreichten zweiten Temperatur und einem zweiten Druck für eine zweite Zeitdauer in einer Bor (B) enthaltenden Gasatmosphäre während einer sich unmittelbar an die erste Abkühlungsphase anschließenden Borierungsphase;
- e) Abkühlen der Werkstücke von der zweiten Temperatur auf eine dritte Temperatur unter Vakuum oder in einer hauptsächlich Stickstoff (N₂) enthaltenden Gasatmosphäre während einer sich unmittelbar an die Borierungsphase anschließenden zweiten Abkühlungsphase und
- f) Abschrecken der Werkstücke von der dritten Temperatur auf eine Temperatur unter 150 °C während einer sich an die zweite Abkühlungsphase anschließenden Abschreckphase.

[0007] Ein derartiges Verfahren beruht auf der Erkenntnis, daß die Borierungsphase genutzt werden kann, um den während der Anreicherungsphase in der Randschicht der Werkstücke angereicherten Kohlenstoff in das Innere der Werkstücke diffundieren zu lassen. Eine eigenständige Diffusionsphase zum Erzeugen des gewünschten Kohlenstoffgehalts in der Randschicht, wie sie beim herkömmlichen Aufkohlen üblich

ist, wird folglich entbehrlich. Unter Aufkohlen im oben genannten Sinne ist auch ein Carbonitrieren zu verstehen, wenn zusätzlich Stickstoff der Gasatmosphäre beigegeben wird.

[0008] Zu einer effizienten Verfahrensführung trägt außerdem bei, daß die während der sich an die Anreicherungsphase unmittelbar anschließenden ersten Abkühlungsphase zu überbrückende Temperaturdifferenz im allgemeinen gering ist. Denn die zum Borieren erforderliche zweite Temperatur ist etwa für die meisten kohlenstoffarmen Eisenwerkstoffen, wie zum Beispiel Einsatzstahl C 15, nicht oder nur geringfügig geringer als die für die Anreicherungsphase notwendige erste Temperatur. Je nach Anwendungsfall kann die zweite Temperatur auch größer sein als die erste Temperatur, so daß die Werkstücke in diesem Fall nicht abzukühlen sondern zu erwärmen sind.

[0009] Das während der Anreicherungsphase und der als Diffusionsphase für den Kohlenstoff dienenden Borierungsphase erzeugte Kohlenstoffprofil in der Randschicht der Werkstücke führt zusammen mit dem abschließenden Abschrecken zu Druckeigenspannungen in der Randschicht der Werkstücke und damit zu einer Zeit- und Dauerfestigkeit, die verhältnismäßig hohen dynamischen Belastungen standhält. Darüber hinaus wird die während der Borierungsphase auf der Oberfläche der Werkstücke gebildete verschleißbeständige Boridschicht durch das abschließende Abschrecken der Werkstücke höher belastbar. Denn das unterhalb der Boridschicht vorhandene aufgekohlte und gehärtete Gefüge der Werkstücke besitzt eine ausreichend hohe Härte von üblicherweise ca. 800 HV, die auf diese Weise einen tragfähigen Unterbau für die in der Regel eine Härte nach Vickers von ca. 2000 aufweisende Boridschicht bildet. Im Unterschied zu etwa einem CVD-Verfahren oder PVD-Verfahren (Physical Vapour Deposition) ist die Gefahr eines Abplatzens der harten Boridschicht bei hoher dynamischer Belastung somit ausgeschlossen.

[0010] Die erste Temperatur, auf welche die Werkstücke während der Aufheizphase erwärmt und bei der die Werkstücke während der Anreicherungsphase aufgekühlt oder carbonitriert werden, die zweite Temperatur, bei der die Werkstücke während der Borierungsphase ausgesetzt werden, die dritte Temperatur, von der aus die Werkstücke abgeschreckt werden, die Länge der ersten Zeitdauer, die Länge der zweiten Zeitdauer und die in der Anreicherungsphase und in der Borierungsphase jeweils zugeführten Mengen an Kohlenstoff und Bor spendenden Mitteln richten sich vor allem nach dem Werkstoff der zu behandelnden Werkstücke, der zum Erreichen des angestrebten Kohlenstoffgehalts in der Randschicht der Werkstücke erforderlichen spezifischen Zusammensetzung der Gasatmosphäre und dem angestrebten Behandlungserfolg, etwa der gewünschten Aufkohlungstiefe und Dicke der Boridschicht. Die von den Werkstoffeigenschaften der zu behandelnden Werkstücke abhängenden Prozeßparameter lassen

sich für einen bestimmten Werkstoff aus allgemein zugänglichen Datenbanken, wie etwa Calphad (Calculation of Phase Diagrams), entnehmen. Je nach Anwendungsfall kann es danach erforderlich sein, die Werkstücke während der ersten und/oder zweiten Abkühlungsphase auf die zweite beziehungsweise dritte Temperatur zu erwärmen. Unter Abkühlen im oben genannten Sinne ist insofern auch ein Erwärmen zu verstehen.

[0011] Vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens stellen die Gegenstände der abhängigen Ansprüche dar.

[0012] So ist es von Vorteil, die Werkstücke während der Aufheizphase auf eine für das Aufkohlen oder Carbonitrieren gängiger Eisenwerkstoffe geeignete erste Temperatur zwischen 800 °C und 1100 °C zu erwärmen. Von Vorteil ist ferner, die Werkstücke während der ersten Abkühlungsphase auf eine zweite Temperatur zwischen 800 °C und 950 °C abzukühlen, um eine für das Borieren der Werkstücke verwendbare Temperatur zu erhalten. Vorteilhaft ist zudem, die Werkstücke während der zweiten Abkühlungsphase auf eine dritte Temperatur zwischen 800 °C und 900 °C abzukühlen, um eine dem jeweiligen Werkstoff entsprechende Härtetemperatur zu erreichen. Bevorzugt werden die Werkstücke während der Abschreckphase auf Raumtemperatur abgekühlt, so daß sie sich im Anschluß unverzüglich weiterverarbeiten lassen.

[0013] Eine besonders vorteilhafte Verfahrensführung ergibt sich außerdem dann, wenn die erste Zeitdauer zwischen 60 min und 360 min und die zweite Zeitdauer zwischen 30 min und 360 min betragen. Die erste und zweite Zeitdauer werden in Abhängigkeit von den jeweils herrschenden Temperaturen zweckmäßigerweise so gewählt, daß eine Boridschicht mit einer Dicke von 10 µm bis 100 µm entsteht und der Rand-Kohlenstoffgehalt direkt unter der Boridschicht zwischen 0,6 Gew.-% und 0,9 Gew.-% ein einer Einsattiefe zwischen 0,2 mm und 2,0 mm beträgt.

[0014] Einer vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens entsprechend findet während der Anreicherungsphase und/oder während der Borierungsphase eine Unterstützung durch ein Plasma, das heißt einer stromstarken Glimmentladung, statt. Ein solcher plasmaaktivierter Prozeß ist im Zusammenhang mit Borieren beispielsweise von H.-J. Hunger et al. in dem Aufsatz "Plasmaaktiviertes Gasborieren mit Bortrifluorid", HTM 52 (1997) 1, beschreiben. Die Unterstützung durch ein Plasma findet in der Regel bei Unterdruck statt und bietet im Vergleich zu einer rein thermischen Aktivierung den Vorteil eines geringeren Verbrauchs an Kohlenstoff beziehungsweise Bor spendenden Mitteln. Zweckmäßigerweise enthält die Gasatmosphäre während der Borierungsphase Bortrichlorid (BCl_3) und/oder Bortrifluorid (BF_3) und/oder Diboran (B_2H_6). Vor allem die Verwendung von Bortrifluorid als Bor spendendes Mittel hat sich für ein plasmaaktiviertes Borieren als vorteilhaft erwiesen. Denn zum einen unterbleibt beim Borieren mit Bortrifluorid eine thermische

Aktivierung, so daß der Borierprozeß auf die im Bereich des Kathodenfalls befindlichen Werkstücke beschränkt ist und ein Borieren etwa der Innenwandungen einer Borierungskammer vermieden wird. Zum anderen ist Bortrifluorid schon bei Raumtemperatur gasförmig, so daß in ökonomischer Weise auf einen Verdampfer verzichtet werden kann.

[0015] Zweckmäßig ist weiterhin, wenn die Werkstücke während der Abschreckphase bei einem dritten Druck, vorzugsweise einem Hochdruck von mehr als 1.013,25 mbar, in einer reduzierenden oder neutralen Gasatmosphäre oder in einem flüssigen Abschreckmedium abgeschreckt werden, um eine ausreichende Abkühlgeschwindigkeit sicherzustellen. Die auf diese Weise gehärteten Werkstücke können anschließend - wie vom Einsatzhärten bekannt - bei einer Temperatur zwischen 150 °C und 200 °C in einem separaten Ofen angelassen werden.

[0016] Eine besonders vorteilhafte Verfahrensführung ist ferner dann gegeben, wenn die Werkstücke aus einem kohlenstoffarmen Eisenwerkstoff, vorzugsweise einem Einsatzstahl nach DIN 17 210, bestehen. Im Unterschied zum Stand der Technik ist das erfindungsgemäße Verfahren nicht auf Eisenwerkstoffe beschränkt, die anfänglich schon über einen relativ hohen Gehalt an Kohlenstoff verfügen, wie beispielsweise herkömmliche Vergütungsstähle Ck 45, Ck 60 oder 42 CrMo 4. Vielmehr ist es beim erfindungsgemäßen Verfahren möglich, kohlenstoffarme Eisenwerkstoffe, wie zum Beispiel geläufige Einsatzstähle Ck 10, C 15 oder 20 MoCr 4, zu borieren. Grund hierfür ist, daß die der Borierungsphase vorgeschaltete Anreicherungsphase eine Anreicherung der Randschicht der Werkstücke mit Kohlenstoff ermöglicht, die nach Beendigung der Borierungsphase und damit der Diffusionsphase einen hinsichtlich der geforderten Aufkohlung ausreichenden Kohlenstoffgehalt in der Randschicht verbleiben läßt.

In bevorzugter Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens betragen sowohl der erste Druck als auch der zweite Druck zwischen 0,1 mbar und 30 mbar. Der Druck hängt dabei in erster Linie von der jeweils herrschenden Temperatur und der jeweiligen Zusammensetzung der Gasatmosphäre ab. So sollte zum Beispiel während der Anreicherungsphase der erste Druck so eingestellt werden, daß einerseits ein vergleichsweise schnelles Aufkohlen der Randschicht der Werkstücke erreicht und andererseits eine im allgemeinen unerwünschte Carbidoder Rußbildung auf der Oberfläche der Werkstücke vermieden wird. Der erste Druck und der zweite Druck müssen während der Anreicherungsphase und der Borierungsphase nicht gleich und auch nicht notwendigerweise konstant sein. Sie können vielmehr entsprechend dem gewünschten Behandlungsergebnisses gezielt variiert, beispielsweise gepulst, werden.

[0017] Zur **Lösung** der oben genannte Aufgabe wird im Einklang mit Anspruch 14 überdies eine Vorrichtung zur Durchführung des zuvor beschriebenen Verfahrens

vorgeschlagen, die wenigstens eine Behandlungskammer aufweist, in der nacheinander die Aufheizphase, die Anreicherungsphase, die erste Abkühlungsphase, die Borierungsphase, die zweite Abkühlungsphase und die Abschreckphase durchführbar sind.

[0018] Eine solche Vorrichtung kann im einfachsten Fall ein Ein-Kammer-Vakuumofen sein, in dem die oben beschriebenen Verfahrensschritte nacheinander und ohne Transport der Charge durchgeführt werden.

[0019] Eine erste bevorzugte Ausgestaltung einer solchen Vorrichtung sieht zwei Behandlungskammer vor, wobei in der ersten Behandlungskammer die Aufheizphase, die Anreicherungsphase, die erste Abkühlungsphase, die Borierungsphase und die zweite Abkühlungsphase durchgeführt werden und wobei in der zweiten Behandlungskammer die Abschreckphase durchgeführt wird. Indem für die Abschreckphase eine separate Behandlungskammer vorhanden ist, läßt sich auf einfache Weise eine Hochdruckgasabschreckung durchführen, mittels der verhältnismäßig hohe Abschreckraten erreicht werden.

[0020] In Hinsicht auf einen höheren Durchsatz sieht eine zweite bevorzugte Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung drei Behandlungskammern vor, wobei in der ersten Behandlungskammer die Aufheizphase und die Anreicherungsphase durchgeführt werden, wobei in der zweiten Behandlungskammer die erste Abkühlungsphase, die Borierungsphase und die zweite Abkühlungsphase durchgeführt werden und wobei in der dritten Behandlungskammer die Abschreckphase durchgeführt wird.

[0021] Eine dritte bevorzugte Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung sieht vier aufeinanderfolgend oder parallel angeordnete Behandlungskammern vor, wobei in der ersten Behandlungskammer die Aufheizphase durchgeführt wird, wobei in der zweiten Kammer die Anreicherungsphase oder die Anreicherungsphase und die erste Abkühlungsphase durchgeführt werden, wobei in der dritten Behandlungskammer die erste Abkühlungsphase, die Borierungsphase und die zweite Abkühlungsphase oder die Borierungsphase und die zweite Abkühlungsphase durchgeführt werden und wobei in der vierten Behandlungskammer die Abschreckphase durchgeführt wird.

[0022] Eine vierte bevorzugte Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung sieht sechs Behandlungskammern vor, die aufeinanderfolgend oder parallel angeordnet sind, wobei die erste Behandlungskammer als Erwärmungskammer zum Durchführen der Aufheizphase, die zweite Behandlungskammer als Anreicherungskammer zum Durchführen der Anreicherungsphase, die dritte Behandlungskammer als Abkühlungskammer zum Durchführen der ersten Abkühlungsphase, die vierte Behandlungskammer als Borierungskammer zum Durchführen der Borierungsphase, die fünfte Behandlungskammer als Abkühlungskammer zum Durchführen der zweiten Abkühlungsphase und die sechste Behandlungskammer als Abschreckkammer zum

Durchführen der Abschreckphase ausgebildet sind. In dem für jeden Verfahrensschritt eine eigene Behandlungskammer vorhanden ist, zeichnet sich eine derartige Wärmebehandlungsanlage bei einem besonders hohen Durchsatz durch eine vergleichsweise einfach zu steuernde Verfahrensführung aus.

[0023] Schließlich wird im Einklang mit Anspruch 19 ein Werkstück vorgeschlagen, das aus einem metallenen Werkstoff besteht und durch das erfindungsgemäße Verfahren wärmebehandelt ist, wobei das Werkstück mit einer äußeren Eisenboridschicht von 10 µm bis 100 µm Dicke und einer unter der Eisenboridschicht liegenden Einsatzhärteschicht, die eine Härte nach Vickers zwischen 600 und 900 und eine Einsatzhärte tiefe zwischen 0,2 mm und 2,0 mm aufweist, versehen ist.

[0024] Einzelheiten und weitere Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens und der entsprechenden Vorrichtung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung bevorzugter Ausführungsbeispiele. In den zugehörigen Zeichnungen zeigen im einzelnen:

- Fig. 1 ein den Temperatur- und Druckverlauf des erfindungsgemäßen Verfahrens über der Zeit veranschaulichendes Diagramm;
- Fig. 2 eine schematische Darstellung eines Einkammer-Vakuumofens mit Gasabschreckung;
- Fig. 3 eine schematische Darstellung eines Zweikammer-Vakuumofens mit Gasabschreckung;
- Fig. 4 eine schematische Darstellung eines Zweikammer-Vakuumofens mit Ölabschreckung;
- Fig. 5 eine schematische Darstellung einer Wärmebehandlungsanlage mit sechs Behandlungskammern und
- Fig. 6 eine schematische Darstellung eines Dreikammer-Vakuumofens mit Gasabschreckung und Spülschleuse.

[0025] Bei dem in Fig. 1 dargestellten Diagramm sind auf der Abszisse die Zeit t sowie auf der Ordinate die Temperatur ϑ und der Druck p abgetragen. Das anhand von Fig. 1 veranschaulichte Wärmebehandlungsverfahren ist ein Duplex-Verfahren im eingangs genannten Sinne und dient zum kombinierten Aufkohlen, Borieren und Härten von Werkstücken, die aus einem kohlenstoffarmen Eisenwerkstoff, beispielsweise Einsatzstahl C 15, (Werkstoffnummer 1.0401) bestehen. Der gesamte Verfahrensablauf läßt sich in sechs Phasen A bis F untergliedern.

[0026] Während der ersten Phase, der Aufheizphase A, werden die zu behandelnden Werkstücke auf eine erste Temperatur ϑ_1 von ca. 1000 °C erwärmt. Die zu diesem Zweck verwendete Vorrichtung, etwa eine Wärmebehandlungsanlage gemäß Fig. 5, wird nach Einbringen der Werkstücke zunächst evakuiert und anschließend auf die Temperatur ϑ_1 erwärmt. Alternativ können die Werkstücke auch in einer inerten oder redu-

zierenden Gasatmosphäre, etwa aus Stickstoff (N_2), auf die Temperatur ϑ_1 erwärmt werden.

[0027] Nach dem Erwärmen auf die Temperatur ϑ_1 werden die Werkstücke in eine zweite Behandlungskammer transportiert, wo sie während der sich an die erste Phase unmittelbar anschließenden zweiten Phase, der Anreicherungsphase B, für eine erste Zeitdauer Δt_1 , die je nach geforderter Aufkohlungstiefe zwischen 60 min und 360 min beträgt, einer Kohlenwasserstoff enthaltenden Gasatmosphäre ausgesetzt sind. Die Höhe des während der Anreicherungsphase B herrschenden Drucks p_1 richtet sich grundsätzlich nach dem gewünschten Behandlungsergebnis sowie der Art des verwendeten Kohlenwasserstoffs und beträgt im vorliegenden Fall ca. 10 mbar. Die Anreicherungsphase B kann im Bedarfsfall plasmaaktiviert sein.

[0028] Im Anschluß an die Anreicherungsphase B werden die Werkstücke in eine dritte Behandlungskammer befördert, wo sie während einer sich unmittelbar an die Anreicherungsphase B anschließenden ersten Abkühlungsphase C von der Temperatur ϑ_1 auf eine zweite Temperatur ϑ_2 von ca. 900 °C unter Vakuum abgekühlt werden. Alternativ können die Werkstücke in einer hauptsächlich Stickstoff enthaltenden und damit inerten Gasatmosphäre auf die Temperatur ϑ_2 abgekühlt werden.

[0029] Am Ende der Abkühlungsphase C werden die Werkstücke in eine vierte Behandlungskammer verfrachtet und bei der Temperatur ϑ_2 und einem zweiten Druck p_2 von ca. 0,1 mbar für eine zweite Zeitdauer Δt_2 in einer Bor enthaltenden Gasatmosphäre boriiert. Während des Borierens diffundiert der während der Anreicherungsphase B in der Randschicht der Werkstücke angereicherte Kohlenstoff in das Innere der Werkstücke, so daß die Borierungsphase D zugleich eine Diffusionsphase für den Aufkohlungsprozeß darstellt. Die Zeitdauer Δt_2 für diese sich unmittelbar an die Abkühlungsphase C anschließende Borierungsphase D beträgt je nach gefordertem Behandlungsergebnis zwischen 30 min und 360 min. Als Bor spendendes Mittel enthält die Gasatmosphäre während der Borierungsphase D Bortrichlorid, Bortrifluorid, Diboran oder mehrere der vorgenannten Stoffe. Im Bedarfsfall kann die Borierungsphase D plasmaaktiviert sein. Für diesen Fall eignet sich besonders die Verwendung von Bortrifluorid als Bor spendendes Mittel.

[0030] Unmittelbar an die Borierungsphase D schließt sich eine zweite Abkühlungsphase E an, während der die Werkstücke in einer fünften Behandlungskammer der Wärmebehandlungsanlage von der Temperatur ϑ_2 auf eine dritte Temperatur ϑ_3 von ca. 800 °C unter Vakuum oder alternativ in einer inerten Gasatmosphäre abgekühlt werden. Zum Ausgleich der Temperatur innerhalb der Charge werden die Werkstücke für ca. 15 min bis 30 min bei der dritten Temperatur ϑ_3 gehalten, wie in Fig. 1 zu erkennen ist.

Zum Schluß werden die Werkstücke während einer sich unmittelbar an die zweite Abkühlungsphase E anschlie-

ßenden Abschreckphase F von der Abschrecktemperatur ϑ_3 auf eine Temperatur von weniger als 150 °C, beispielsweise Raumtemperatur, abgeschreckt. Die Werkstücke werden hierfür in eine sechste Behandlungskammer transportiert und bei einem Hochdruck p_3 von mehr als 1.013,25 mbar in einer reduzierenden oder neutralen Gasatmosphäre abgekühlt. Alternativ können die Werkstücke auch in einem flüssigen Abschreckmedium abgeschreckt werden.

[0031] In den Fig. 2 bis 6 sind verschiedene Ausführungsformen einer Vorrichtung gezeigt, in denen das zuvor beschriebene Verfahren durchgeführt werden kann. Die Vorrichtung gemäß Fig. 2 ist ein Ein-Kammer-Vakuumofen 10, bei dem sämtliche Verfahrensschritte A bis F in ein und derselben Behandlungskammer 11 durchgeführt werden. Die zu einer Charge 12 zusammengestellten Werkstücke werden dabei während der Abschreckphase F durch Gas abgeschreckt.

[0032] Dagegen ist die in Fig. 3 dargestellte Vorrichtung ein Zwei-Kammer-Vakuumofen 20, der über eine erste Behandlungskammer 21 und eine zweite Behandlungskammer 22 verfügt. In der ersten Behandlungskammer 21 werden die Verfahrensschritte A bis E durchgeführt, wohingegen die als Gasabschreckkammer ausgebildete zweite Behandlungskammer zum Abschrecken der Charge 12 während der Abschreckphase F dient. Von der Vorrichtung gemäß Fig. 3 unterscheidet sich ein in Fig. 4 gezeigter Zwei-Kammer-Vakuumofen 30 hauptsächlich dadurch, daß in einer zweiten Behandlungskammer 32, die durch eine Tür 33 von der ersten Behandlungskammer 31 getrennt ist, ein Ölbad 34 vorhanden ist, in dem die Charge 12 während der Abschreckphase F abgeschreckt wird. Die Verfahrensschritte A bis E werden analog zu der Vorrichtung gemäß Fig. 3 in der ersten Behandlungskammer 31 durchgeführt.

[0033] In Fig. 5 ist eine Wärmebehandlungsanlage 40 gezeigt, die mit sechs parallel angeordneten Behandlungskammern 41 bis 46 versehen ist. Die Behandlungskammer 41 dient als Spülschleuse beim Eintritt der Charge 12 in die Wärmebehandlungsanlage 40 und als Hockdruckabschreckkammer während der Abschreckphase F am Ende des Behandlungszykluses. Die Behandlungskammer 42 ist als Erwärmungskammer ausgebildet, in der die Charge 12 während der Aufheizphase A auf die erste Temperatur ϑ_1 erwärmt wird. In der Behandlungskammer 43 wird die Charge 12 während der Anreicherungsphase B aufgekühlt. Das Abkühlen der Charge 12 auf die zweite Temperatur ϑ_2 während der ersten Abkühlungsphase C findet in der Behandlungskammer 44 statt. Das Borieren der Charge 12 während der Borierungsphase D erfolgt in der Behandlungskammer 45, wohingegen für das Abkühlen und Ausgleichen der Charge 12 auf die dritte Temperatur ϑ_3 während der zweiten Abkühlungsphase E die Behandlungskammer 46 vorgesehen ist.

[0034] Ein Drei-Kammer-Vakuumofen 50 ist in Fig. 6 zu erkennen. Neben drei hintereinander angeordneten

Behandlungskammern 51 bis 53 weist der Vakuumofen 50 eine Spülschleuse 54 auf, durch welche die Charge 12 in den Vakuumofen 50 eingeführt wird. Die Behandlungskammer 51 dient zum Erwärmen auf die erste Temperatur ϑ_1 während der Aufheizphase A und zum Aufkohlen der Charge 12 während der Anreicherungsphase B. In der Behandlungskammer 52 findet das Abkühlen auf die zweite Temperatur ϑ_2 während der ersten Abkühlungsphase C, das Borieren der Charge 12 während der Borierungsphase D und das Abkühlen und Ausgleichen der Charge 12 auf die dritte Temperatur ϑ_3 während der zweiten Abkühlungsphase E statt. Für ein abschließendes Gasabschrecken während der Abschreckphase F ist die Behandlungskammer 53 vorgesehen.

[0035] Die durch das oben beschriebene Verfahren behandelten Werkstücke weisen eine äußere Eisenboridschicht von 10 µm bis 100 µm Dicke und eine unter der Eisenboridschicht liegende Einsatzhärteschicht mit einer Härte nach Vickers zwischen 600 und 900 und einer Einsatzhärte tiefe zwischen 0,2 mm und 2,0 mm auf. Sie zeichnen sich durch eine vergleichsweise große Zeit- und Dauerfestigkeit bei zugleich hoher Verschleißbeständigkeit aus. Grund hierfür ist die durch die Verfahrensschritte A bis F erhaltene Kombination von Aufkohlen, Borieren und Härten. So ergeben sich durch die unmittelbar aufeinanderfolgenden Verfahrensschritte A bis F Synergieeffekte, die einer effizienten Verfahrensführung Rechnung tragen. Denn das Verfahren läßt sich in einem einzigen Zyklus und in einer einzigen Wärmebehandlungsanlage ohne Unterbrechung durchführen, wodurch signifikante wirtschaftliche Vorteile im Vergleich zu dem bislang üblichen getrennten Aufkohlen, Abkühlen, Borieren und Härten erreicht werden.

Bezugszeichenliste

[0036]

10	Ein-Kammer-Vakuumofen
11	Behandlungskammer
12	Charge
20	Zwei-Kammer-Vakuumofen
21	Behandlungskammer
22	Behandlungskammer
30	Zwei-Kammer-Vakuumofen
31	Behandlungskammer
32	Behandlungskammer
33	Tür
34	Ölbad
40	Wärmebehandlungsanlage
41	Behandlungskammer
42	Behandlungskammer
43	Behandlungskammer

44 Behandlungskammer
 45 Behandlungskammer
 46 Behandlungskammer

50 Drei-Kammer-Vakuumofen
 51 Behandlungskammer
 52 Behandlungskammer
 53 Behandlungskammer

54 Spülschleuse

A Aufheizphase
 B Anreicherungsphase
 C erste Abkühlungsphase
 D Borierungsphase
 E zweite Abkühlungsphase
 F Abschreckphase

t Zeit
 Δt_1 erste Zeitdauer
 Δt_2 zweite Zeitdauer
 ϑ Temperatur
 ϑ_1 erste Temperatur
 ϑ_2 zweite Temperatur
 ϑ_3 dritte Temperatur
 p Druck
 p_1 erster Druck
 p_2 zweiter Druck

Patentansprüche

1. Verfahren zur Wärmebehandlung metallischer Werkstücke, insbesondere zum kombinierten Aufkohlen, Borieren und Härten von Eisenwerkstoffen, mit folgenden Verfahrensschritten:

- a) Erwärmen der Werkstücke auf eine erste Temperatur (ϑ_1) unter Vakuum oder in einer neutralen oder reduzierenden Gasatmosphäre während einer Aufheizphase (A);
- b) Aufkohlen der Werkstücke bei der am Ende der Aufheizphase (A) erreichten ersten Temperatur (ϑ_1) und einem ersten Druck (p_1) für eine erste Zeitdauer (Δt_1) in einer Kohlenwasserstoff enthaltenden Gasatmosphäre während einer sich unmittelbar an die Aufheizphase (A) anschließenden Anreicherungsphase (B);
- c) Abkühlen der Werkstücke von der ersten Temperatur (ϑ_1) auf eine zweite Temperatur (ϑ_2) unter Vakuum oder in einer hauptsächlich Stickstoff enthaltenden Gasatmosphäre während einer sich unmittelbar an die Anreicherungsphase (B) anschließenden ersten Abkühlungsphase (C);
- d) Borieren der Werkstücke bei der am Ende der ersten Abkühlungsphase (C) erreichten zweiten Temperatur (ϑ_2) und einem zweiten

Druck (p_2) für eine zweite Zeitdauer (Δt_2) in einer Bor enthaltenden Gasatmosphäre während einer sich unmittelbar an die erste Abkühlungsphase (C) anschließenden Borierungsphase (D);

e) Abkühlen der Werkstücke von der zweiten Temperatur (ϑ_2) auf eine dritte Temperatur (ϑ_3) unter Vakuum oder in einer hauptsächlich Stickstoff enthaltenden Gasatmosphäre während einer sich unmittelbar an die Borierungsphase (D) anschließenden zweiten Abkühlungsphase (E) und

f) Abschrecken der Werkstücke von der dritten Temperatur (ϑ_3) auf eine Temperatur unter 150 °C während einer sich an die zweite Abkühlungsphase (E) anschließenden Abschreckphase (F).

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Werkstücke während der Aufheizphase (A) auf eine erste Temperatur (ϑ_1) zwischen 800 °C und 1100 °C erwärmt werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Werkstücke während der ersten Abkühlungsphase (C) auf eine zweite Temperatur (ϑ_2) zwischen 800 °C und 950 °C abgekühlt werden.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Werkstücke während der zweiten Abkühlungsphase (D) auf eine dritte Temperatur (ϑ_3) zwischen 800 °C und 900 °C abgekühlt werden.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Werkstücke während der Abschreckphase (F) auf Raumtemperatur abgekühlt werden.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **gekennzeichnet durch** eine erste Zeitdauer (Δt_1) zwischen 60 min und 360 min.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **gekennzeichnet durch** eine zweite Zeitdauer (Δt_2) zwischen 30 min und 360 min.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **gekennzeichnet durch** eine Unterstützung durch ein Plasma während der Anreicherungsphase (B) und/oder während der Borierungsphase (D).

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **gekennzeichnet durch** eine Gasatmosphäre während der Borierungsphase (D), die Bortrichlorid und/oder Bortrifluorid und/oder Diboran enthält.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Werkstücke während der Abschreckphase (F) bei einem dritten Druck (p_3), vorzugsweise einem Hochdruck von mehr als 1.013,25 mbar, in einer reduzierenden oder neutralen Gasatmosphäre oder in einem flüssigen Abschreckmedium abgeschreckt werden. 5
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **gekennzeichnet durch** Werkstücke, die aus einem kohlenstoffarmen Eisenwerkstoff, vorzugsweise einem Einsatzstahl nach DIN 17 210, bestehen. 10
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **gekennzeichnet durch** einen ersten Druck (p_1) zwischen 0,1 mbar und 30 mbar. 15
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **gekennzeichnet durch** einen zweiten Druck (p_2) zwischen 0,1 mbar und 30 mbar. 20
14. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **gekennzeichnet durch** wenigstens eine Behandlungskammer, in der nacheinander die Aufheizphase (A), die Anreicherungsphase (B), die erste Abkühlungsphase (C), die Borierungsphase (D), die zweite Abkühlungsphase (E) und die Abschreckphase (F) durchführbar sind. 25
15. Vorrichtung nach Anspruch 14, **gekennzeichnet durch** zwei Behandlungskammern, wobei in der ersten Behandlungskammer die Aufheizphase (A), die Anreicherungsphase (B), die erste Abkühlphase (C), die Bohrierungsphase (D) und die zweite Abkühlungsphase (E) durchführbar sind und wobei in der zweiten Behandlungskammer die Abschreckphase (F) durchführbar ist. 30
16. Vorrichtung nach Anspruch 14, **gekennzeichnet durch** drei Behandlungskammern, wobei in der ersten Behandlungskammer die Aufheizphase (A) und die Anreicherungsphase (B) durchführbar sind, wobei in der zweiten Behandlungskammer die erste Abkühlungsphase (C), die Borierungsphase (D) und die zweite Abkühlungsphase (E) durchführbar sind und wobei in der dritten Behandlungskammer die Abschreckphase (F) durchführbar ist. 35
17. Vorrichtung nach Anspruch 14, **gekennzeichnet durch** vier aufeinanderfolgend oder parallel angeordnete Behandlungskammern, wobei in der ersten Behandlungskammer die Aufheizphase (A) durchführbar ist, wobei in der zweiten Kammer die Anreicherungsphase (B) oder die Anreicherungsphase (B) und die erste Abkühlungsphase (C) durchführbar sind, wobei in der dritten 40
18. Vorrichtung nach Anspruch 14, **gekennzeichnet durch** sechs aufeinanderfolgend oder parallel angeordnete Behandlungskammern, wobei die erste Behandlungskammer als Erwärmungskammer zum Durchführen der Aufheizphase (A), die zweite Behandlungskammer als Anreicherungskammer zum Durchführen der Anreicherungsphase (B), die dritte Behandlungskammer als Abkühlungskammer zum Durchführen der ersten Abkühlungsphase (C), die vierte Behandlungskammer als Borierungskammer zum Durchführen der Borierungsphase (D), die fünfte Behandlungskammer als Abkühlungskammer zum Durchführen der zweiten Abkühlungsphase (E) und die sechste Behandlungskammer als Abschreckkammer zum Durchführen der Abschreckphase (F) ausgebildet sind. 45
19. Werkstück, das aus einem metallenen Werkstoff besteht und durch ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13 wärmebehandelt ist, **gekennzeichnet durch** eine äußere Eisenboridschicht von 10 µm bis 100 µm Dicke und eine unter der Eisenboridschicht liegende Einsatzhärteschicht, die eine Härte nach Vickers zwischen 600 und 900 und eine Einsatzhärte tiefe zwischen 0,2 mm und 2,0 mm aufweist. 50

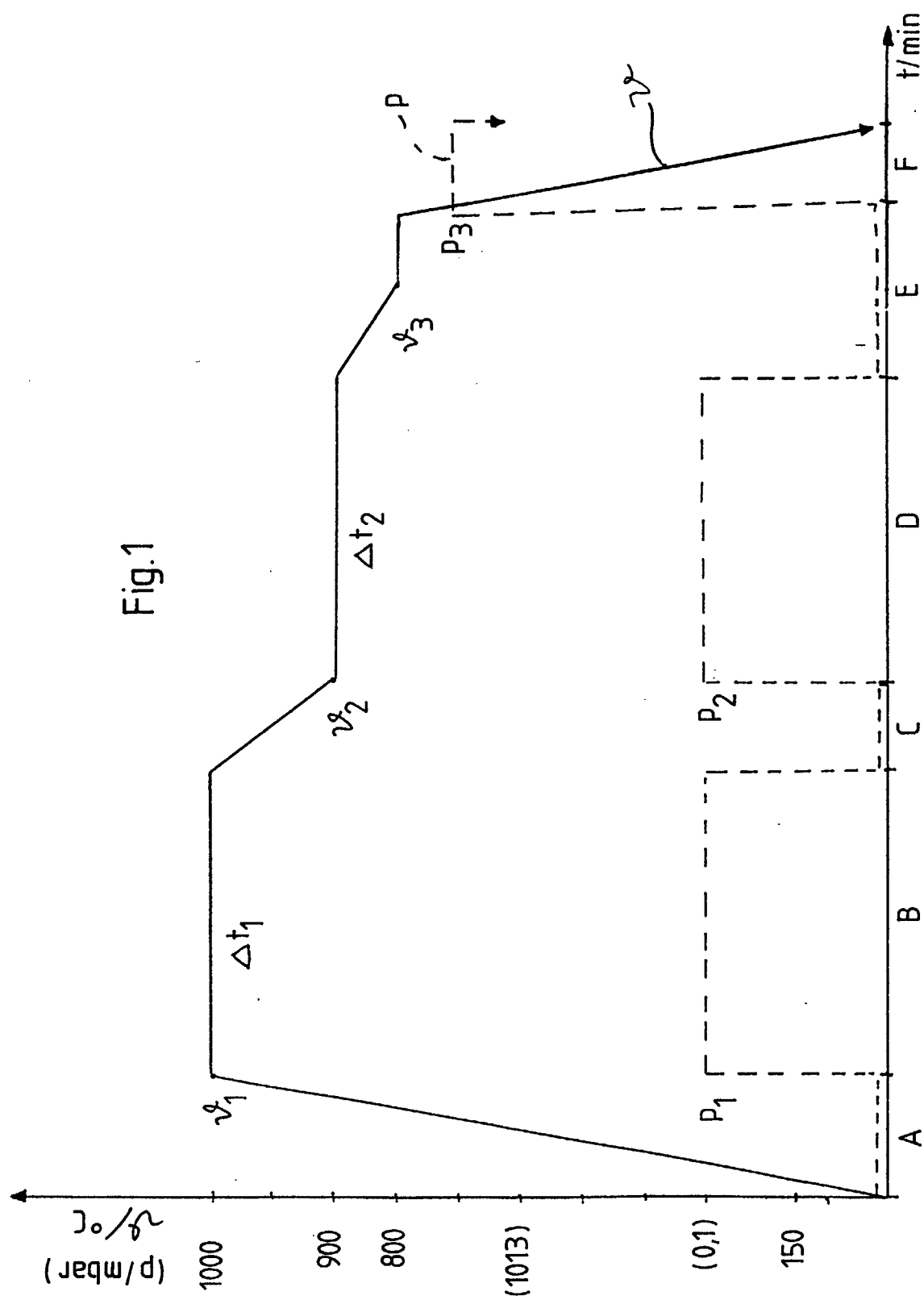


Fig. 2

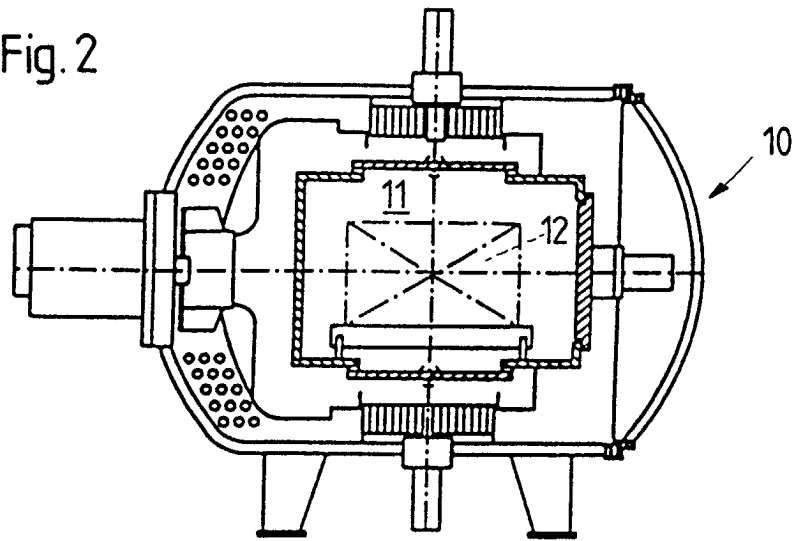
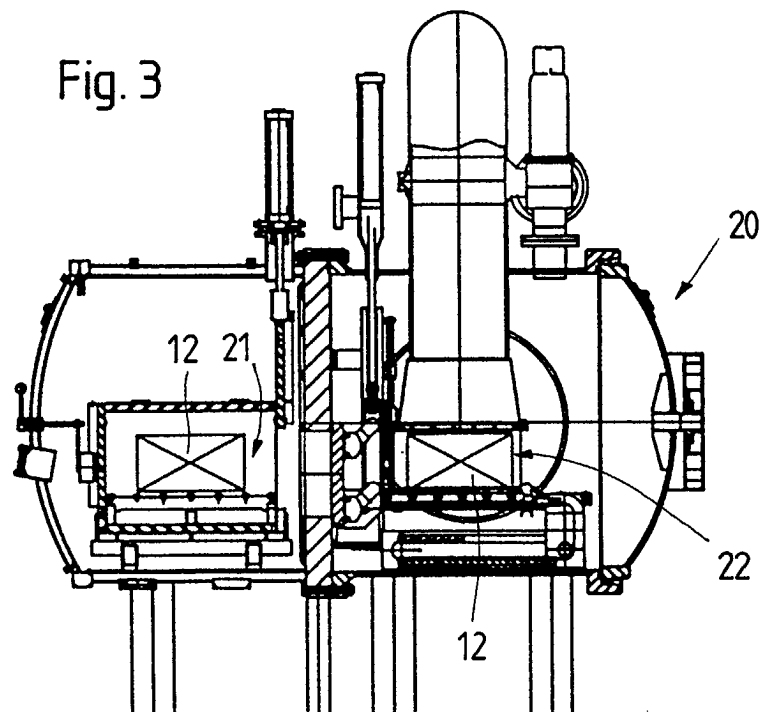
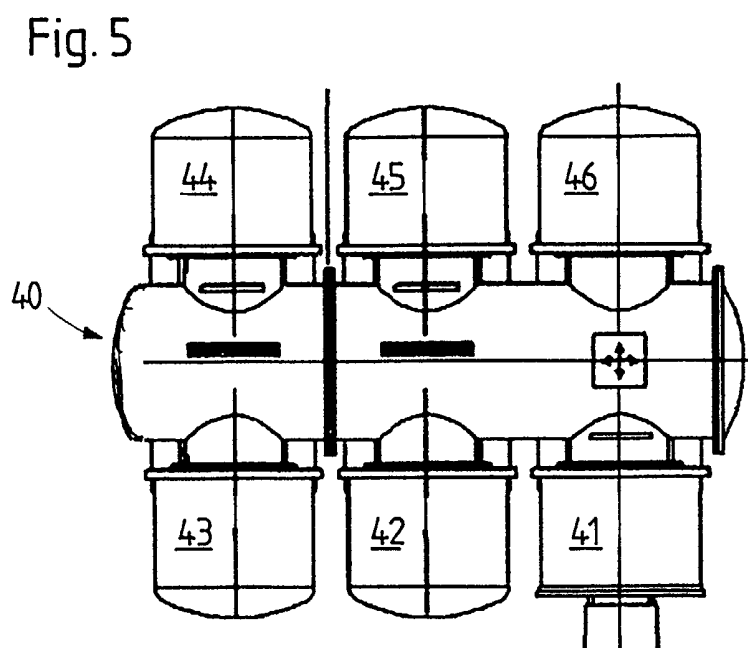
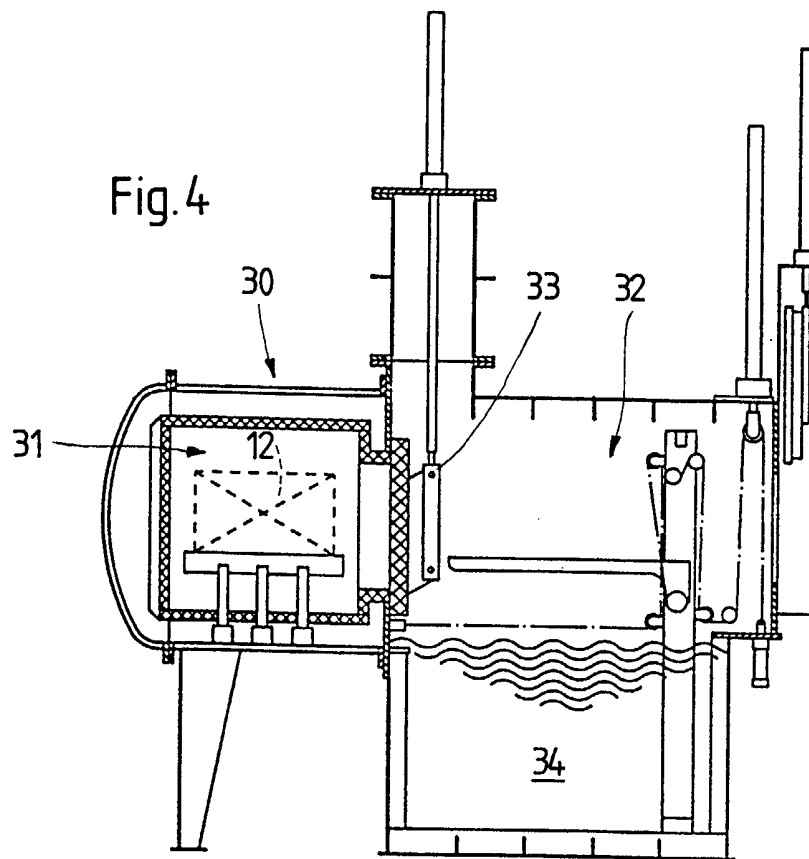
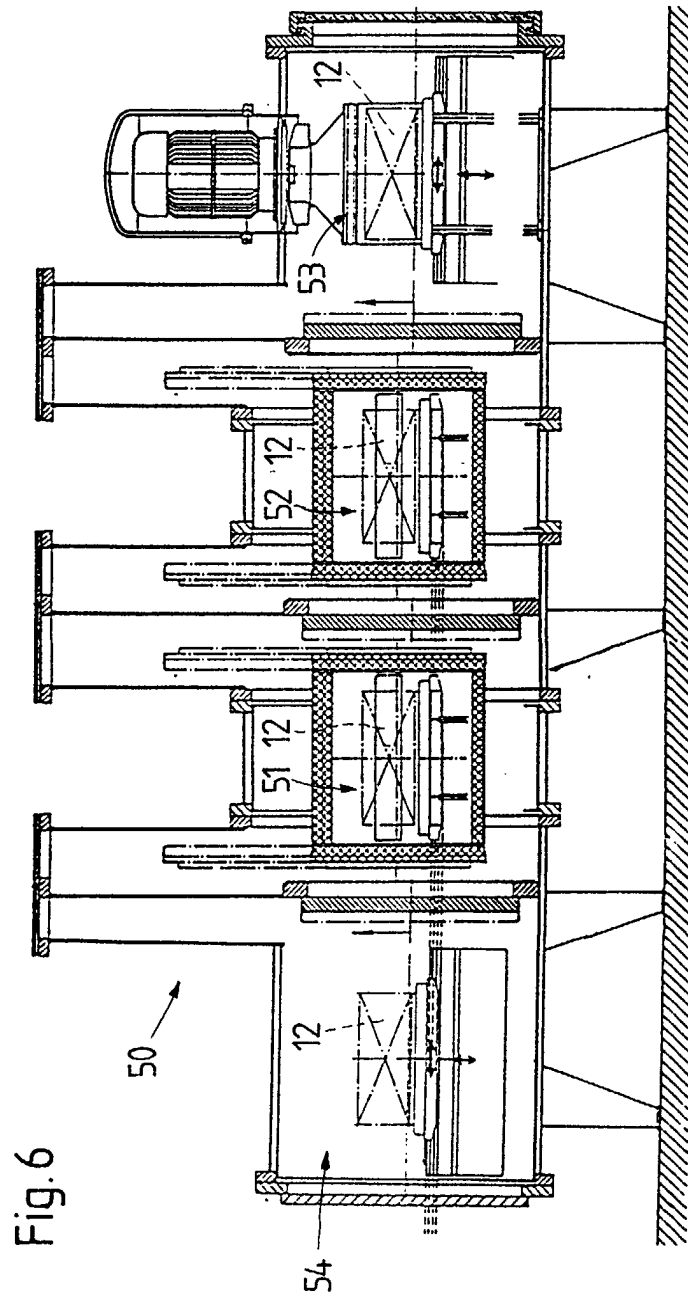


Fig. 3









Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 02 00 2530

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1996, no. 10, 31. Oktober 1996 (1996-10-31) & JP 08 144039 A (HITACHI METALS LTD), 4. Juni 1996 (1996-06-04) * Zusammenfassung *	1	C23C8/34
A	US 4 806 175 A (ULRICH WENDT) 21. Februar 1989 (1989-02-21) * Ansprüche 1,2,5,6 *	1,19	
A	DATABASE CA 'Online! CHEMICAL ABSTRACTS SERVICE, COLUMBUS, OHIO, US; KONDO, TAKAO ET AL: "Surface hardening treatment" retrieved from STN Database accession no. 83:135713 CA XP002204293 * Zusammenfassung *	1	
	& JP 49 030620 B (NISSAN MOTOR CO., LTD.) 14. August 1974 (1974-08-14)		
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 011, no. 357 (C-458), 20. November 1987 (1987-11-20) & JP 62 127459 A (KAWASAKI HEAVY IND LTD), 9. Juni 1987 (1987-06-09) * Zusammenfassung *	1	C23C
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 015, no. 173 (C-0828), 2. Mai 1991 (1991-05-02) & JP 03 039460 A (SUMITOMO METAL IND LTD), 20. Februar 1991 (1991-02-20) * Zusammenfassung *	1	
	--- -/--		
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 2. Juli 2002	
		Prüfer Elsen, D	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE 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 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 anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

EPO FORM 1503 03 B2 (P04C03)



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 02 00 2530

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 015, no. 072 (C-0808), 20. Februar 1991 (1991-02-20) & JP 02 298251 A (KOMATSU LTD), 10. Dezember 1990 (1990-12-10) * Zusammenfassung *	1	
A	EP 1 078 996 A (ABB ALSTHOM POWER) 28. Februar 2001 (2001-02-28) * Seite 4, Spalte 5, Zeile 11 - Zeile 52 *	1	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7)
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 2. Juli 2002	Prüfer Elsen, D
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur 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 anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument			

EPO FORM 1503 03/82 (PC/C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 02 00 2530

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

02-07-2002

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
JP 08144039	A	04-06-1996	KEINE		
US 4806175	A	21-02-1989	DE	3322957 A1	31-01-1985
			FR	2549085 A1	18-01-1985
			JP	60089560 A	20-05-1985
JP 49030620	B	14-08-1974	KEINE		
JP 62127459	A	09-06-1987	KEINE		
JP 03039460	A	20-02-1991	JP	2100644 C	22-10-1996
			JP	8026447 B	13-03-1996
JP 02298251	A	10-12-1990	KEINE		
EP 1078996	A	28-02-2001	EP	1078996 A1	28-02-2001

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82