(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 11 2017 004 574 T5** 2019.06.13

(12) # Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2018/047934**
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2 IntPatÜG)
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2017 004 574.6**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2017/032412**
(86) PCT-Anmeldetag: **08.09.2017**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **15.03.2018**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung in deutscher Übersetzung: **13.06.2019**

(51) Int Cl.: ***C23C 8/34*** (2006.01)
C21D 1/06 (2006.01)
C21D 1/76 (2006.01)
C21D 6/00 (2006.01)
C23C 8/22 (2006.01)
C23C 8/26 (2006.01)
C23C 8/38 (2006.01)
C23C 8/80 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
2016-177568 12.09.2016 JP

(71) Anmelder:
DENSO CORPORATION, Kariya-city, Aichi-pref., JP

(74) Vertreter:
KUHNEN & WACKER Patent- und Rechtsanwaltsbüro PartG mbB, 85354 Freising, DE

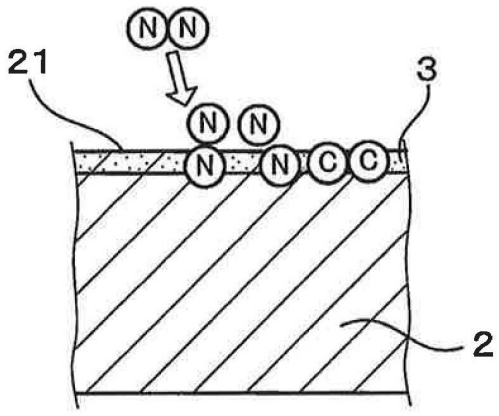
(72) Erfinder:
Kita, Takuya, Kariya-city, Aichi-pref., JP

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Herstellung eines ferritischen Edelstahlprodukts**

(57) Zusammenfassung: Ein Verfahren zur Herstellung eines ferritischen Edelstahlprodukts beinhaltet: Ausbilden einer karburierten Schicht (21) auf einem Werkstück (2), das aus einem ferritischem Edelstahl hergestellt ist; und Ausbilden einer nitrierten Schicht (3) auf einer Oberfläche des Werkstücks durch Erwärmen des Werkstücks bei einer Temperatur, die gleich oder höher ist als ein Umwandlungspunkt des ferritischen Edelstahls in einer Atmosphäre, die N_2-Gas aufweist, nach dem Ausbilden der karburierten Schicht.



Beschreibung

VERWEIS AUF VERWANDTE ANMELDUNG

[0001] Diese Anmeldung basiert auf der am 12. September 2016 eingereichten japanischen Patentanmeldung Nr. 2016-177568, auf deren Offenbarung hier Bezug genommen wird.

TECHNISCHER BEREICH

[0002] Die vorliegende Offenbarung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines ferritischen Edelstahlprodukts, bei dem eine karburierte bzw. aufgekohlte Schicht ausgebildet wird und dann eine nitrierte Schicht auf einem ferritischen Edelstahlwerkstück ausgebildet wird.

HINTERGRUND DER TECHNIK

[0003] Herkömmlich wurde ein Oberflächenmodifizierungsverfahren aus Edelstahl untersucht. Zum Beispiel ist ein Nitrierverfahren bekannt, bei dem ferritischer Edelstahl in einer Inertatmosphäre, die Stickstoffgas aufweist, auf eine Nitriertemperatur erwärmt wird (siehe Patentliteratur 1).

[0004] Patentliteratur 1 offenbart insbesondere eine Technik zum Ausbilden einer nitrierten Schicht auf einer Oberfläche eines ferritischen Edelstahlwerkstücks bei einer Temperatur von kleiner 1100 Grad Celsius (°C) in einem Heizofen, dessen Innenwand mit Kohlenstoff bedeckt ist, um eine nitrierte Schicht stabil auszubilden.

LITERATUR ZUM STAND DER TECHNIK

PATENTLITERATUR

[0005] Patentliteratur 1: JP 2014-181397 A

KURZFASSUNG DER ERFINDUNG

[0006] Bei einem herkömmlichen Verfahren zum Ausbilden einer nitrierten Schicht kann jedoch eine nitrierte Schicht nicht ausreichend auf einem Werkstück, das eine niedrige Kohlenstoffkonzentration aufweist, ausgebildet sein. Das heißt, um eine ausreichend nitrierte Schicht auszubilden, ist das zu bearbeitende Werkstück begrenzt. Falls die nitrierte Schicht nicht ausreichend ausgebildet werden kann, kann eine Martensitphase nicht ausreichend ausgebildet werden, und die Härte kann durch Modifizieren des ferritischen Edelstahls nicht ausreichend verbessert werden.

[0007] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Offenbarung, ein Verfahren zur Herstellung eines ferritischen Edelstahlprodukts vorzusehen, das eine nitrierte Schicht bilden kann und das die Härte unabhängig von der Kohlenstoffkonzentration eines Materials verbessert.

[0008] Nach einem Aspekt der vorliegenden Offenbarung beinhaltet ein Verfahren zur Herstellung eines ferritischen Edelstahlprodukts: Ausbilden einer karburierten bzw. aufgekohlten Schicht auf einem Werkstück aus ferritischem Edelstahl; und Ausbilden einer nitrierten Schicht auf einer Oberfläche des Werkstücks durch Erwärmen des Werkstücks bei einer Temperatur, die gleich oder höher ist als ein Umwandlungspunkt des ferritischen Edelstahls in einer Atmosphäre, die N_2-Gas aufweist, nach dem Ausbilden der karburierten Schicht.

[0009] Nach dem Aspekt der vorliegenden Offenbarung wird, nachdem die karburierte Schicht auf dem Werkstück ausgebildet ist, die nitrierte Schicht ausgebildet. Aus diesem Grund kann, selbst falls die Kohlenstoffkonzentration des Werkstücks niedrig ist, die Kohlenstoffkonzentration des Werkstücks erhöht werden, wenn die karburierte Schicht ausgebildet wird, sodass die nitrierte Schicht ausreichend ausgebildet werden kann, wenn die nitrierte Schicht ausgebildet wird.

[0010] Da außerdem der auf der Oberfläche des ferritischen Edelstahls vorhandene Passivfilm durch die Ausbildung der karburierten Schicht zerbrechen kann, löst sich Stickstoff leicht im ferritischen Edelstahl bei der Ausbildung der nitrierten Schicht. Aus diesem Grund kann die nitrierte Schicht ausreichend ausgebildet werden, und die nitrierte Schicht kann von der Oberfläche des Werkstücks bis zu einem ausreichend tiefen Abschnitt ausgebildet werden.

[0011] Die nitrierte Schicht kann eine martensitische Umwandlung durchlaufen, beispielsweise durch Abkühlen. Als Ergebnis kann eine Martensitphase mit einer hohen Härte ausgebildet werden. Daher kann nach dem Aspekt der vorliegenden Offenbarung ein ferritisches Edelstahlprodukt mit einer hohen Härte hergestellt werden.

[0012] Beim Ausbilden der nitrierten Schicht wird das Erwärmen bei einer hohen Temperatur von nicht weniger als der Umwandlungspunkttemperatur des ferritischen Edelstahls durchgeführt, nachdem die karburierte Schicht ausgebildet worden ist. Aus diesem Grund können, wenn die nitrierte Schicht ausgebildet wird, Kohlenstoffatome in der karburierten Schicht in das Innere des Werkstücks diffundieren. Das heißt, beim Ausbilden der nitrierten Schicht können nicht nur die feste Lösung von Stickstoff in die karburierte Schicht und die Ausbildung der nitrierten Schicht, sondern auch die Diffusion von Kohlenstoffatomen die Oberflächenkohlenstoffkonzentration des Werkstücks senken. Diese Senkung der Oberflächenkohlenstoffkonzentration verbessert die Korrosionsbeständigkeit. Mit anderen Worten kann die Härte

verbessert werden, ohne die Korrosionsbeständigkeit zu verringern. Das heißt, ein ferritisches Edelstahlprodukt mit ausgezeichneter Härte und Korrosionsbeständigkeit kann hergestellt werden.

[0013] Nach dem vorstehend beschriebenen Aspekt der vorliegenden Offenbarung kann ein Verfahren zur Herstellung eines ferritischen Edelstahlprodukts vorgesehen werden, das in der Lage ist, eine nitrierte Schicht auszubilden und die Härte unabhängig von der Kohlenstoffkonzentration eines Materials zu verbessern.

Figurenliste

[0014] Die vorstehenden und andere Aufgaben, Merkmale und Vorteile der vorliegenden Offenbarung werden aus der folgenden detaillierten Beschreibung unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen deutlicher. Es zeigt/es zeigen:

Fig. 1A eine veranschaulichende Querschnittsansicht eines Werkstücks in einem Aufkohlungsschritt nach einer ersten Ausführungsform;

Fig. 1B eine veranschaulichende Querschnittsansicht des Werkstücks in einem Anfangsstadium eines Nitrierschritts nach der ersten Ausführungsform;

Fig. 1C eine veranschaulichende Querschnittsansicht des Werkstücks in einem Diffusionsstadium einer karburierten Schicht und einem Ausbildungsfortschrittsstadium einer nitrierten Schicht in einem Nitrierschritt nach der ersten Ausführungsform;

Fig. 2 ein Diagramm, das eine Beziehung zwischen einer Zeit, einer Temperaturänderung und einer Druckänderung bei der Herstellung eines ferritischen Edelstahlprodukts nach der ersten Ausführungsform zeigt;

Fig. 3 ein schematisches Diagramm eines Heizofens nach einer zweiten Ausführungsform;

Fig. 4A eine Fotografie, die eine Oberfläche eines Beispielprodukts nach einem Korrosionsbeständigkeitsbeurteilungstest im Versuchsbeispiel 1 zeigt;

Fig. 4B eine Fotografie, die eine Oberfläche eines Vergleichsbeispielprodukts nach einem Korrosionsbeständigkeitsbeurteilungstest im Versuchsbeispiel 1 zeigt;

Fig. 5A eine Fotografie, die eine Querschnittsstruktur des Beispielprodukts im Versuchsbeispiel 1 zeigt;

Fig. 5B eine Fotografie, die eine Querschnittstextur des Vergleichsbeispielprodukts im Versuchsbeispiel 1 zeigt;

Fig. 6A eine perspektivische Ansicht eines scheibenförmigen ferritischen Edelstahlprodukts im Versuchsbeispiel 1;

Fig. 6B eine perspektivische Ansicht eines halbierten ferritischen Edelstahlprodukts im Versuchsbeispiel 1;

Fig. 7 ein veranschaulichendes Diagramm, das eine Beziehung zwischen einem Abstand von der Oberfläche des Beispielprodukts und der Vickers-Härte im Versuchsbeispiel 1 zeigt;

Fig. 8 ein veranschaulichendes Diagramm, das eine Beziehung zwischen einem Abstand von der Oberfläche eines Vergleichsprodukts und der Vickers-Härte im Versuchsbeispiel 1 zeigt;

Fig. 9 ein Diagramm, das eine Beziehung zwischen einem Kohlenstoffgehalt C Massen-% eines ferritischen Edelstahlmaterials und einem Flächenprozentsatz Sc% eines verfärbten Abschnitts nach einem Korrosionsbeständigkeitsbeurteilungstest im Versuchsbeispiel 2 zeigt;

Fig. 10 ein Diagramm, das eine Beziehung zwischen einem Kohlenstoffgehalt C Massen-% des martensitischen Edelstahlmaterials und der Vickers-Härte im Versuchsbeispiel 2 zeigt;

Fig. 11 ein Diagramm, das eine Kohlenstoffkonzentrationsverteilungskurve nach einem Aufkohlungsschritt oder nach einem Nitrierschritt im Versuchsbeispiel 2 zeigt;

Fig. 12 ein Diagramm, das einen Graphen **I** einer Beziehung zwischen einer Dicke einer karburierten Schicht und der Kohlenstoffkonzentration nach dem Aufkohlungsschritt und einen Graphen **II** einer Beziehung zwischen einer Dicke der karburierten Schicht und der Kohlenstoffkonzentration nach dem Nitrierschritt im Versuchsbeispiel 2 zeigt;

Fig. 13 ein Diagramm, das einen Graphen **I** einer Beziehung zwischen einer Dicke einer karburierten Schicht und der Kohlenstoffkonzentration nach dem Aufkohlungsschritt und einen Graphen **II** einer Beziehung zwischen einer Dicke der karburierten Schicht und der Kohlenstoffkonzentration zeigt, wenn nach dem Nitrierschritt im Versuchsbeispiel 2 eine äußerste Oberflächenkohlenstoffkonzentration 0,3 Massen-% wird; und

Fig. 14 ein Diagramm, das einen Graphen **I** einer Beziehung zwischen einer Dicke einer karburierten Schicht und der Kohlenstoffkonzentration nach dem Aufkohlungsschritt und einen Graphen **II** einer Beziehung zwischen einer Dicke der karburierten Schicht und der Kohlenstoffkonzentration zeigt, wenn nach dem Nitrierschritt im Versuchsbeispiel 2 eine äußerste Oberflächenkohlenstoffkonzentration 0,2 Massen-% wird.

BESCHREIBUNG VON AUSFÜHRUNGSFORMEN

(Erste Ausführungsform)

[0015] Ausführungsformen eines Verfahrens zur Herstellung eines ferritischen Edelstahlprodukts werden unter Bezugnahme auf die Zeichnungen beschrieben. Bei der Herstellung des ferritischen Edelstahlprodukts werden der folgende Aufkohlungsschritt und der Nitrierschritt durchgeführt.

[0016] Wie in **Fig. 1A** dargestellt, wird in dem Aufkohlungsschritt eine karburierte Schicht **21** auf einem Werkstück **2** aus ferritischem Edelstahl ausgebildet. Wie in den **Fig. 1B** und **Fig. 1C** dargestellt, wird das Werkstück **2** in dem Nitrierschritt in einer Atmosphäre, die N_2-Gas aufweist, bei einer Temperatur erwärmt, die gleich oder höher als der Umwandlungspunkt des ferritischen Edelstahls ist. Als Ergebnis wird eine nitrierte Schicht **3** auf einer Oberfläche des Werkstücks ausgebildet. Im Folgenden wird eine detaillierte Beschreibung gegeben.

[0017] Bei dem aus ferritischem Edelstahl hergestellten Werkstück **2** gibt es keine besonderen Einschränkungen, solange das Werkstück **2** aus ferritischem Edelstahl besteht und verschiedene Zusammensetzungen verwendet werden können. Das ferritische Edelstahlmaterial in dem Werkstück weist vorzugsweise einen Kohlenstoffgehalt von 0,3 Massen-% oder weniger auf. In diesem Fall wird die Korrosionsbeständigkeit weiter verbessert. Unter dem Gesichtspunkt der weiteren Verbesserung der vorstehenden Wirkung beträgt der Kohlenstoffgehalt des Materials aus ferritischem Edelstahl bevorzugter 0,12 Masse-% oder weniger und noch bevorzugter 0,01 Masse-% oder weniger.

[0018] Der Aufkohlungsschritt und der Nitrierschritt können zum Beispiel in einem Heizofen **4** durchgeführt werden, wie in **Fig. 3** in einer zweiten Ausführungsform, die später beschrieben wird, veranschaulicht ist. Als Heizofen **4** kann beispielsweise ein Chargenofen oder ein Durchlaufofen verwendet werden.

[0019] Die karburierte Schicht **21** kann in dem Aufkohlungsschritt beispielsweise durch Gaskarburieren, Vakuumkarburieren oder Plasmakarburieren ausgebildet werden. Bei diesen Aufkohlungsvorgängen kann Aufkohlungsgas verwendet werden.

[0020] Als das Aufkohlungsgas kann ein Kohlenwasserstoffgas, wie etwa ein gesättigtes Kohlenwasserstoffgas oder ein ungesättigtes Kohlenwasserstoffgas verwendet werden. Vorzugsweise wird ein ungesättigtes Kohlenwasserstoffgas wie Acetylen verwendet. In diesem Fall wird ein passiver Film, der auf der Oberfläche des ferritischen Edelstahls vorhanden ist, leichter gebrochen und die Reaktivität mit dem Werkstück kann verbessert werden. Als das Aufkohlungsgas kann das vorstehend erwähnte Kohlenwasserstoffgas alleine verwendet werden, oder es kann ein Gasgemisch aus einem Kohlenwasserstoffgas und beispielsweise einem Inertgas verwendet werden.

[0021] Wie in **Fig. 1A** dargestellt, wird die Ausbildung der karburierten Schicht **21** vorzugsweise durch Vakuumkarburieren durchgeführt. In diesem Fall wird leicht ein Aufkohlungsgas in das aus ferritischem Edelstahl hergestelltes Werkstück **2** aufgenommen. Da außerdem für ein Aufkohlungsverfahren keine spezielle Vorrichtung, wie beispielsweise eine Plasmaerzeugungsvorrichtung, erforderlich ist, kann das Aufkohlen mit geringen Kosten durchgeführt werden.

[0022] Wie in den **Fig. 1B** und **Fig. 1C** dargestellt, wird das Werkstück **2** in dem Nitrierschritt in einer Atmosphäre erwärmt, die N_2-Gas aufweist, bei einer Temperatur, die gleich oder höher als der Umwandlungspunkt des ferritischen Edelstahls ist. Als Ergebnis wird die nitrierte Schicht **3** auf der Oberfläche des Werkstücks **2** ausgebildet. Nachfolgend wird eine Erwärmungstemperatur im Nitrierschritt als geeignete Nitriertemperatur bezeichnet.

[0023] Die Atmosphäre, die das N_2-Gas aufweist, kann mindestens N_2 aufweisen und kann ferner ein Inertgas aufweisen. Die Atmosphäre im Nitrierschritt kann das im Aufkohlungsschritt verbleibende Aufkohlungsgas aufweisen. Die Menge an restlichem Aufkohlungsgas ist vorzugsweise gering. Vorzugsweise ist die Atmosphäre, die das N_2-Gas aufweist, das N_2-Gas.

[0024] Der Umwandlungspunkt ist eine Temperatur, bei der mindestens ein Teil einer Ferritphase in einem ferritischen Edelstahlwerkstoff in eine Austenitphase umgewandelt wird. Der Umwandlungspunkt unterscheidet sich abhängig von der Zusammensetzung des Materials, beträgt jedoch beispielsweise 700 bis 900 °C.

[0025] Die Nitriertemperatur beträgt vorzugsweise 900°C oder mehr, was eine Zersetzungstemperatur von Stickstoff ist. In diesem Fall tritt die feste Lösung von Stickstoff in dem Werkstück **2** wahrscheinlicher auf. Im Hinblick auf eine leichtere feste Lösung von Stickstoff beträgt die Nitriertemperatur bevorzugter 1000°C oder mehr und bevorzugter 1050°C oder mehr.

[0026] Die Nitriertemperatur beträgt vorzugsweise 1100°C oder weniger. In diesem Fall kann die Vergröberung der Kristallkörner im Werkstück verringert werden und eine Abnahme der Festigkeit kann verringert werden. Unter dem Gesichtspunkt der weiteren Verringerung der Vergröberung der Kristallkörner beträgt die Nitriertemperatur bevorzugter 1050°C oder weniger.

[0027] Wie in **Fig. 2** dargestellt, werden der Aufkohlungsschritt und der Nitrierschritt durch einen Temperaturerhöhungsschritt (**I**), einen Wärmebehandlungsschritt (**II**), einen Aufkohlungsgas-Einführungsschritt (**III**) und einen Hochtemperatur-Nitrierschritt (**IV**) durchgeführt, die nachstehend beschrieben werden, und ferner kann ein Kühlschritt (**V**) zum Abschrecken des Werkstücks **2** nach dem Nitrierschritt durchgeführt werden. In **Fig. 2** repräsentiert eine horizontale Achse eine Zeit, eine linke vertikale Achse repräsentiert eine Temperatur und eine rechte vertikale Achse repräsentiert einen Druck. In **Fig. 2** gibt eine dicke Linie eine Temperaturänderung an und eine dünne Linie gibt eine Druckänderung an.

[0028] In dem Temperaturerhöhungsschritt (**I**) und dem Wärmebehandlungsschritt (**II**) wird zum Beispiel die Innenseite des Heizofens, in dem das Werkstück **2** installiert ist, hinsichtlich der Temperatur auf die Aufkohlungstemperatur erhöht und gehalten. Die Aufkohlungstemperatur kann geeignet bestimmt werden und beträgt zum Beispiel 1000 bis 1100°C. **Fig. 2** zeigt einen Fall, in dem die Aufkohlungstemperatur und die Nitriertemperatur gleich sind, die Aufkohlungstemperatur und die Nitriertemperatur können jedoch voneinander verschieden sein.

[0029] In dem Aufkohlungsgaseinführungsschritt (**III**) wird Aufkohlungsgas beispielsweise in einen Heizofen zugeführt, in dem das Werkstück **2** installiert ist. Als Ergebnis kann der Aufkohlungsschritt des Ausbildens der Aufkohlungsschicht **21** auf dem Werkstück **2** durchgeführt werden. Eine Einführungszeit des Aufkohlungsgases kann geeignet bestimmt werden. Die Aufkohlungsgaseinführungszeit und die Aufkohlungstemperatur können auf geeignete Weise bestimmt werden, sodass beispielsweise eine Oberflächenkohlenstoffkonzentration Xc und eine Dicke Lc der Aufkohlungsschicht **21**, die in dem später beschriebenen Versuchsbeispiel **2** gezeigt sind, eine gewünschte Beziehung aufweisen.

[0030] Wie in **Fig. 1B**, **Fig. 1C** und **Fig. 2** dargestellt, wird in dem Hochtemperatur-Nitrierschritt (IV) das N_2-Gas oder das Gas, das das N_2-Gas aufweist, bei der Nitriertemperatur in den Heizofen zugeführt. Als Ergebnis kann die nitrierte Schicht **3** auf dem Werkstück **2** ausgebildet werden. Die Nitriertemperatur und die Nitrierzeit können entsprechend der für das Werkstück erforderlichen Härte geeignet bestimmt werden. Die Nitriertemperatur und die Nitrierzeit können geeignet so bestimmt werden, dass beispielsweise die Oberflächenkohlenstoffkonzentration $\mathbf{X_C}$ nach dem später zu beschreibenden Aufkohlungsschritt, die Dicke Lc der Aufkohlungsschicht **21** nach dem Aufkohlungsschritt und eine Dicke $\mathbf{L_N}$ der karburierten Schicht **21** nach dem Nitrierschritt eine gewünschte Beziehung aufweisen.

[0031] Wie in **Fig. 2** dargestellt, wird im Kühlschritt (**V**) die Temperatur in dem Heizofen, in dem das Werkstück **2** installiert ist, von der Nitriertemperatur auf eine vorbestimmte Temperatur abgesenkt. In dem Abkühlungsschritt (**V**) wird vorzugsweise das Werkstück **2**, das die nitrierte Schicht **3** aufweist, abgeschreckt. In diesem Fall kann eine Martensitphase mit einer hohen Härte zuverlässiger und ausreichender in der nitrierten Schicht **3** durch Abschrecken ausgebildet werden. Das Abschrecken kann durch Abschrecken des Werkstücks **2** beispielsweise durch Ölkühlung durchgeführt werden.

[0032] Nach dem Abkühlungsschritt wird vorzugsweise ein Tiefkühlvorgang durchgeführt, um das Werkstück **2** auf eine niedrige Temperatur von beispielsweise 0°C oder weniger abzukühlen. Der Tiefkühlvorgang wird auch als Sub-Zero-Prozess bezeichnet. Mit dem vorstehenden Verfahren kann die restliche Austenitphase im Material des Werkstücks **2** martensitiert werden.

[0033] Nach dem Tiefkühlvorgang wird vorzugsweise ein Tempern durchgeführt. In diesem Fall kann die instabile Struktur innerhalb des Materials stabilisiert werden.

[0034] In der vorliegenden Ausführungsform wird, wie vorstehend beschrieben, der Nitrierschritt nach dem Aufkohlungsschritt durchgeführt. Wie in **Fig. 1A** dargestellt, kann die Ausbildung der karburierten Schicht **21** in dem Aufkohlungsschritt den auf der Oberfläche des ferritischen Edelstahls des Werkstücks **2** vorhandenen Passivfilm brechen. Aus diesem Grund löst sich in dem Nitrierschritt, wie in **Fig. 1B** dargestellt, nach dem Aufkohlungsschritt durchgeführt wird, der Stickstoff leicht in dem ferritischen Edelstahl des Werkstücks **2** auf. Deshalb kann, wie in **Fig. 1C** dargestellt, die nitrierte Schicht **3** ausreichend ausgebildet werden, und die nitrierte Schicht **3** kann von der Oberfläche des Werkstücks **2** bis zu einem ausreichend tiefen Abschnitt ausgebildet werden.

[0035] Die nitrierte Schicht **3** kann eine martensitische Umwandlung zum Beispiel durch Abkühlen verursachen und kann eine Martensitphase mit ausgezeichneter Härte bilden. Daher kann nach dem Herstellungsverfahren der vorliegenden Ausführungsform das ferritische Edelstahlprodukt **1** mit hoher Härte hergestellt werden.

[0036] In dem Nitrierschritt wird, wie vorstehend beschrieben, nach der Ausbildung der karburierten Schicht **21** ein Erwärmen bei einer hohen Temperatur durchgeführt, die gleich oder höher als die Umwandlungspunkttemperatur des ferritischen Edelstahls ist. Aus diesem Grund können in der Nitrierstufe Kohlenstoffatome in der karburierten Schicht **21** in das Innere des Werkstücks **2** diffundiert werden. Mit ande-

ren Worten, in der Nitrierstufe kann nicht nur die feste Lösung von Stickstoff in die karburierte Schicht **21** und die Ausbildung der nitrierten Schicht **3**, sondern auch die Diffusion von Kohlenstoffatomen die Oberflächenkohlenstoffkonzentration des Werkstücks **2** verringern. Diese Verringerung der Oberflächenkohlenstoffkonzentration ermöglicht es, die Korrosionsbeständigkeit zu verbessern. Daher kann das ferritische Edelstahlprodukt **1** mit ausgezeichneter Korrosionsbeständigkeit hergestellt werden.

[0037] Wie vorstehend beschrieben, kann mit der Ausführung des Nitrierschritts nach dem Aufkohlungsschritt das Produkt **1** aus ferritischem Edelstahl mit ausgezeichneter Korrosionsbeständigkeit und hoher Härte erhalten werden. Das ferritische Edelstahlprodukt **1** kann für verschiedene Anwendungen verwendet werden, die die Korrosionsbeständigkeit und die Härte erfordern. Beispiele umfassen Kraftfahrzeugmotorsteuerungskomponenten, Kraftstoffsystemkomponenten und Abgassystemkomponenten.

(Zweite Ausführungsform)

[0038] Die vorliegende Ausführungsform ist ein Beispiel für die Herstellung eines scheibenförmigen ferritischen Edelstahlprodukts **1** durch Durchführen eines Aufkohlungsschritts und eines Nitrierschritts unter Verwendung eines Heizofens **4**, der in **Fig. 3** dargestellt ist. Im Übrigen repräsentieren unter den in der zweiten und den nachfolgenden Ausführungsformen verwendeten Bezugszeichen die gleichen Bezugszeichen wie in der bereits beschriebenen Ausführungsform die gleichen Komponenten wie diejenigen in der bereits beschriebenen Ausführungsform, sofern nichts anderes angegeben ist.

[0039] Wie in **Fig. 3** dargestellt, umfasst ein Heizofen **4** eine Karbonitrierkammer **5** und eine Kühlkammer **6**. Die Karbonitrierkammer **5** ist mit einem Heizer (nicht gezeigt) versehen, und ein Innenraum der Karbonitrierkammer **5** wird durch den Heizer erwärmt. Die Kühlkammer **6** umfasst einen Öltank **61** zum Kühlen und eine Hubvorrichtung (nicht gezeigt), und ein Werkstück **2**, auf dem eine karburierte Schicht **21** und eine nitrierte Schicht **3**, d.h. ein ferritisches Edelstahlprodukt **1** ausgebildet werden, wird durch die Hubvorrichtung in einen Öltank **61** und aus diesem heraus bewegt.

[0040] Eine Vakuumpumpe (P) 41 und ein Stickstoffgaszylinder **42**, der in der Lage ist, ein Stickstoffgas auf Atmosphärendruck oder höher zu bringen, sind sowohl mit der Karbonitrierkammer **5** als auch mit der Kühlkammer **6** verbunden. Ein Aufkohlungsgaszylinder **51**, der mindestens ein Aufkohlungsgas, wie beispielsweise Acetylengas, aufweist, ist über eine Massendurchflusssteuervorrichtung **52** mit der Karbonitrierkammer **5** verbunden. Die Massendurchflusssteuervorrichtung wird im Folgenden, wenn passend, als MFC bezeichnet. Der Heizofen **4** ist mit einer Transportvorrichtung versehen, die das ferritische Edelstahlprodukt **1** zwischen der Karbonitrierkammer **5** und der Kühlkammer **6** bewegen kann. In **Fig. 2** ist die Darstellung der Transportvorrichtung weggelassen.

[0041] Bei der Herstellung des ferritischen Edelstahlprodukts **1** unter Verwendung des Heizofens **4** nach der vorliegenden Ausführungsform wird zunächst ein scheibenförmiges Werkstück **2**, das aus ferritischem Edelstahl hergestellt und einen Durchmesser von 15 mm und eine Dicke von 2 mm aufweist, in der Karbonitrierkammer **5** angeordnet.

[0042] Als nächstes wird der Temperaturanstieg in der Karbonitrierkammer **5** durch den Heizer (nicht gezeigt) gestartet. Dann wird die Temperatur in der Karbonitrierkammer **5** auf beispielsweise die Aufkohlungstemperatur von 1050°C erhöht. Als Nächstes wird unter Beibehaltung der Aufkohlungstemperatur über 10 Minuten (Wärmeaufnahmeschritt) das Innere der Karbonitrierkammer **5** durch Ziehen eines Vakuums mit der Vakuumpumpe **41** in einen Vakuumzustand entspannt.

[0043] Als nächstes wird Acetylengas in die Karbonitrierkammer **5** als Aufkohlungsgas aus dem Aufkohlungsgaszylinder **51** mit einer vorbestimmten Strömungsrate eingeführt, während der MFC **52** eingestellt wird (Aufkohlungsgaseinführungsschritt). In der vorliegenden Ausführungsform wurde das Aufkohlungsgas **1** Minute lang eingeführt. Infolgedessen wird die karburierte Schicht **21** auf dem Werkstück **2** ausgebildet. Unter dem Gesichtspunkt der Verbesserung der Produktivität durch Verkürzung der Ausbildungszeit der karburierten Schicht **21** beträgt die Einführungszeit des Aufkohlungsgases vorzugsweise 5 Minuten oder weniger, bevorzugter 3 Minuten oder weniger und noch bevorzugter 2 Minuten oder weniger.

[0044] Als nächstes wird das Stickstoffgas aus dem Stickstoffgaszylinder **42** in die Karbonitrierkammer **5** eingeführt, und das Innere der Karbonitrierkammer **5** wird weitere 120 Minuten auf der vorstehend genannten Temperatur von 1050°C gehalten (Hochtemperaturnitrierschritt). Infolgedessen wird Stickstoff in einer festen Lösung in dem Werkstück gelöst, auf dem die karburierte Schicht **21** ausgebildet wird, und die nitrierte Schicht **3** wird ausgebildet. Ferner diffundiert im Hochtemperaturnitrierungsschritt Kohlenstoff in der karburierten Schicht **21** von der Oberflächenseite zur Innenseite des Werkstücks **2**.

[0045] Als nächstes wird der Heizer angehalten, und das ferritische Edelstahlprodukt **1** auf dem die karburierte Schicht **21** und die nitrierte Schicht **31** ausgebildet werden, wird durch die Transportvorrichtung

(nicht gezeigt) von der Nitrierkammer **5** zur Kühlkammer **6** transportiert. Ferner wird in der Kühlkammer **6** das ferritische Edelstahlprodukt **1** durch die Hubvorrichtung (nicht gezeigt) in den Ölbehälter **61** eingetaucht, um die Ölkühlung durchzuführen. Bei der vorstehenden Ölkühlung tritt eine martensitische Umwandlung in der nitrierten Schicht **3** des ferritischen Edelstahls auf und es wird eine Martensitphase ausgebildet. Nach dem Abkühlen des Öls wird das Ferritstahl-Edelstahlprodukt **1** durch die Hebevorrichtung aus dem Öltank gezogen.

[0046] Nachdem der Tiefkühlvorgang durchgeführt wurde, wird als nächstes ein Tempervorgang durchgeführt, um das Produkt **1** aus ferritischem Edelstahl der vorliegenden Ausführungsform zu erhalten. Das so erhaltene ferritische Edelstahlprodukt **1** weist sowohl eine ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit als auch eine ausgezeichnete Härte auf, wie in dem später beschriebenen Versuchsbeispiel **1** gezeigt.

(Versuchsbeispiel 1)

[0047] In diesem Beispiel werden die Korrosionsbeständigkeit und die Härte eines ferritischen Edelstahlprodukts (d.h. eines Beispielprodukts) hergestellt, indem der Nitrierschritt nach dem Aufkohlungsschritt durchgeführt wird, und ein ferritisches Edelstahlprodukt (d.h. ein Vergleichsbeispielprodukt), das durch Durchführen des Nitrierschritts ohne Durchführen des Aufkohlungsschritts werden ausgewertet. Das Beispielprodukt ist ein ferritisches Edelstahlprodukt, das auf dieselbe Weise wie bei der vorstehend beschriebenen zweiten Ausführungsform hergestellt wird. Das Vergleichsbeispielprodukt ist das ferritische Edelstahlprodukt, das auf dieselbe Weise wie in der zweiten Ausführungsform hergestellt wurde, mit der Ausnahme, dass kein Acetylengas eingeführt wird.

<Bewertung der Korrosionsbeständigkeit>

[0048] Ein neutraler Salzsprühtest wird nach JIS Z2371: 2000 durchgeführt, um die Korrosionsbeständigkeit des Beispielprodukts und des Vergleichsbeispielprodukts zu bewerten. Das Besprühen der Sole wird kontinuierlich durchgeführt. Nach dem Test wird das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein einer Verfärbung der Oberfläche visuell beobachtet. Die Ergebnisse des Beispielprodukts sind in **Fig. 4A** gezeigt und die Ergebnisse des Vergleichsbeispielprodukts sind in **Fig. 4B** gezeigt.

<Härtebewertung>

Querschnittsbeobachtung

[0049] Das scheibenförmige Beispielprodukt und das scheibenförmige Vergleichsbeispielprodukt werden so geschnitten, dass sie in Durchmesserrichtung halbiert werden, und die Querschnittsstruktur dieser geschnittenen Produkte wird mit einem optischen Mikroskop bei einer 100-fachen Vergrößerung beobachtet. Eine Querschnitts-Texturfotografie des Beispielprodukts ist in **Fig. 5A** gezeigt und eine Querschnitts-Texturfotografie des Vergleichsbeispielprodukts ist in **Fig. 5B** gezeigt. Pfeile in **Fig. 5A** geben einen Bereich an, in dem die Martensitphase in einem gesamten Bereich in einer vorbestimmten Tiefe von der Oberfläche ausgebildet wird.

Messung der Vickershärte

[0050] Eine Beziehung zwischen einem Abstand L von der Oberfläche des Probenprodukts und des Vergleichsprobenprodukts und der Vickers-Härte Hv 0,1 wird untersucht. Bei der Messung der Vickers-Härte Hv wird zunächst das scheibenförmige ferritische Edelstahlprodukt **1** des Beispielprodukts, das in **Fig. 6A** dargestellt ist, so geschnitten, dass es in der Durchmesserrichtung zweigeteilt ist, um ein halbscheibenförmiges Teststück **10** zu erhalten, das in **Fig. 6B** dargestellt ist. Danach wird das Teststück **10** in ein Harz (nicht gezeigt) eingebettet, eine Schnittfläche **101** wird poliert und dann wird die Vickers-Härte der Schnittfläche **101** gemessen. Die Messung wird in jedem vorbestimmten Abstand in einer Richtung von der Oberfläche des Teststücks nach innen in Richtung der Plattendicke durchgeführt, d.h. in Richtung eines Pfeils A in **Fig. 6B**. Dasselbe gilt für das Messverfahren des Vergleichsbeispielprodukts. Eine Beziehung zwischen dem Abstand L und der Vickers-Härte Hv 0,1 des Beispielprodukts ist in **Fig. 7** gezeigt und eine Beziehung zwischen dem Abstand L und der Vickers-Härte Hv 0,1 des Vergleichsbeispielprodukts ist in **Fig. 8** gezeigt. Hv 0,1 ist entsprechend JIS Z2244: 2009 definiert und stellt die Vickers-Härte dar, wenn die gemessene Last durch Eindruck auf 0, 1 kgf, das heißt 0,98 N, eingestellt ist.

[0051] Wie in **Fig. 4A** dargestellt, wird in dem beispielhaften Produkt, das durch Durchführen des Nitrierschritts nach dem Aufkohlungsschritt hergestellt wird, fast keine Verfärbung zu Braun, Braun, Schwarz oder dergleichen, die durch Korrosion verursacht wird, beobachtet. Im Gegensatz dazu wird in dem Vergleichsbeispiel, das durch Durchführen des Nitrierschritts ohne Durchführen des Aufkohlungsschritts hergestellt wird, eine Verfärbung beobachtet. Der fleckige Abschnitt in **Fig. 4B** ist ein verfärbter Abschnitt. Daher kann ein ferritisches Edelstahlprodukt mit einer ausgezeichneten Korrosionsbeständigkeit erhalten werden, indem der Nitrierschritt nach dem Aufkohlungsschritt durchgeführt wird.

[0052] Wie in **Fig. 5A** dargestellt, wird ferner in dem beispielhaften Produkt, das durch Durchführen des Nitrierschritts nach dem Aufkohlungsschritt hergestellt wird, die Martensitphase durch die martensitische Umwandlung von der Oberfläche bis zu einer ausreichenden Tiefe ausgebildet. Wie in **Fig. 7** darge-

stellt, zeigt somit das Beispielprodukt eine hohe Härte von der Oberfläche bis zu einer ausreichend tiefen Position.

[0053] Auf der anderen Seite wird, wie in **Fig. 5B** dargestellt, keine Martensitphase in dem Vergleichsbeispielprodukt beobachtet, das durch Durchführen des Nitrierschritts ohne Durchführen des Aufkohlungsschritts hergestellt wird. Wie in **Fig. 8** dargestellt, ist in dem Vergleichsbeispielprodukt keine Erhöhung der Oberflächenhärte zu verzeichnen, und die Härte ist von der Oberfläche nach innen niedrig.

[0054] Wie vorstehend beschrieben, kann nach diesem Beispiel das ferritische Edelstahlprodukt mit sowohl ausgezeichneter Korrosionsbeständigkeit als auch ausgezeichneter Härte erhalten werden, indem der Nitrierschritt nach dem Aufkohlungsschritt durchgeführt wird.

(Versuchsbeispiel 2)

[0055] Bei dieser Ausführungsform wird eine bevorzugte Beziehung zwischen einer Kohlenstoffkonzentration A Massen-% des Werkstücks vor dem Ausbilden der karburierten Schicht, einer Oberflächenkohlenstoffkonzentration Xc Massen-% der karburierten Schicht nach dem Aufkohlungsschritt und vor dem Nitrierschritt, einer Dicke Lc mm der karburierten Schicht nach dem Aufkohlungsschritt und vor dem Nitrierschritt und einer Dicke L_N mm der karburierten Schicht nach dem Nitrierschritt untersucht.

[0056] Zuerst wird eine Beziehung zwischen der Kohlenstoffkonzentration C (Einheit: Massen-%) des ferritischen Edelstahlmaterials und der Korrosionsbeständigkeit untersucht. Insbesondere wird der vorstehend beschriebene neutrale Salzsprühtest durchgeführt. Nach dem Test wird die Oberfläche des Materials beobachtet und ein Flächenverhältnis Sc des verfärbten Abschnitts wird gemessen. Der Verfärbungsabschnitt ist ein Korrosionsabschnitt. **Fig. 9** zeigt eine Beziehung zwischen der Kohlenstoffkonzentration C (Einheit: Massen-%) des Materials und dem Flächenverhältnis Sc des verfärbten Abschnitts.

[0057] Wie in **Fig. 9** gezeigt, wenn die Kohlenstoffkonzentration 0,3 Massen-% übersteigt, nimmt der Korrosionsbereich merklich zu und die Korrosionsbeständigkeit nimmt merklich ab. Daher ist im Hinblick auf die Gewährleistung einer ausreichenden Korrosionsbeständigkeit die Kohlenstoffkonzentration vorzugsweise 0,3 Massen-% oder weniger.

[0058] **Fig. 10** zeigt eine Beziehung zwischen der Kohlenstoffkonzentration C (Einheit: Massen-%) des ferritischen Edelstahlmaterials und der Vickers-Härte Hv 0,1. Insbesondere werden mehrere Materialien aus ferritischem Edelstahl mit unterschiedlichen Kohlenstoffkonzentrationen hergestellt und zu einer Scheibenform verarbeitet. Als nächstes wird ein halbscheibenförmiges Teststück aus dem scheibenförmigen Teststück auf dieselbe Weise wie im Versuchsbeispiel 1 hergestellt, und die Vickers-Härte wird auf dieselbe Weise wie im Versuchsbeispiel 1 gemessen. Die Ergebnisse sind in **Fig. 10** gezeigt.

[0059] Wie in **Fig. 10** gezeigt, je höher die Kohlenstoffkonzentration C, desto höher ist die Vickers-Härte. Um die Abriebfestigkeit zu gewährleisten, versteht es sich unter dem Gesichtspunkt, dass 500 Hv 0,1 überstiegen werden müssen, dass die Kohlenstoffkonzentration im Allgemeinen vorzugsweise 0,2 Masse-% oder mehr beträgt.

[0060] Als Nächstes wird in dem Prozess des Durchführens des Aufkohlungsschritts und des Nitrierschritts an dem scheibenförmigen Werkstück ähnlich wie bei der zweiten Ausführungsform die C-Konzentrationsverteilung des Werkstücks durch einen Elektronenstrahlmikroanalysator (d.h. EPMA) mit folgendem Messgerät und unter folgender Messbedingung gemessen. Als Probe zum Messen des EPMA wird die halbscheibenförmige Probe verwendet, die durch diametrales Schneiden der scheibenförmigen Probe in Durchmesserrichtung erhalten wird. Dann wird die C-Konzentrationsverteilung durch Messen der C-Konzentration in der Dickenrichtung der halbscheibenförmigen Probe gemessen.

[0061] Messgerät: EPMA 1610, hergestellt von Shimadzu Manufacturing Co., Ltd.
ACC. V: 15 kV
Strahldurchmesser: 3 μm
Strahlstrom: 200 nA
Probenteilung: 3 μm
Datenpunkt: 400
Abtastzeit: 1 Sekunde

[0062] Die Messung wird in einem Abschnitt durchgeführt, in dem die karburierte Schicht nach jedem Schritt von dem Aufkohlungsschritt und dem Nitrierschritt bis zu einer ausreichenden Tiefe ausgebildet wird. Insbesondere wird zunächst die Kohlenstoffkonzentrationsverteilung des Werkstücks gemessen, die nach Durchführung des Aufkohlungsschritts auf dieselbe Weise wie in der zweiten Ausführungsform erhalten wird. Als nächstes wird die Kohlenstoffkonzentrationsverteilung des Werkstücks gemessen, die durch weiteres Durchführen des Nitrierschritts nach dem Aufkohlungsschritt erhalten wird. Ein Beispiel für die Messung ist in **Fig. 11** gezeigt.

[0063] Obwohl die Kohlenstoffkonzentrationsverteilung nach dem Aufkohlungsschritt und die Kohlenstoffkonzentrationsverteilung nach dem Nitrierschritt unterschiedliche Kohlenstoffkonzentrationen auf der äußersten Oberfläche, das heißt unterschiedliche Höhen, aufweisen und sich die Formen der Kurven bis zur Konvergenz zu einer Materialkohlenstoffkon-

zentration A voneinander unterscheiden, wird eine Verteilungskurve ähnlich der in **Fig. 11** dargestellten gezeichnet. Die Kohlenstoffkonzentrationsverteilung wird durch eine Verteilungskurve dargestellt, in der eine Abszissenachse einen Abstand von der äußersten Oberfläche des Werkstücks (beispielsweise eine Tiefe) darstellt und eine Ordinatenachse die Kohlenstoffkonzentration darstellt. Die Ordinatenachse in **Fig. 11** gibt die Kohlenstoffkonzentration nach dem Aufkohlungsschritt oder die Kohlenstoffkonzentration nach dem Nitrierschritt an.

[0064] Bei Kohlenstoffkonzentrationsverteilung nach dem Aufkohlungsschritt und vor dem Nitrierschritt ist ein Mittelwert der Kohlenstoffkonzentration an einer Position, die 10 Punkten des Strahldurchmessers von der äußersten Oberfläche entspricht, das heißt an einer Position 30 µm von der äußersten Oberfläche, als eine Oberflächenkohlenstoffkonzentration X_C definiert.

[0065] Wie in **Fig. 11** dargestellt, ist in der Kohlenstoffkonzentrationsverteilungskurve in dem Werkstück nach dem Aufkohlungsschritt ein Abstand zu einem Schnittpunkt zwischen einer Tangente Tp an einem Bezugspunkt P, an dem die Kohlenstoffkonzentration 1/3 der äußersten Oberfläche beträgt, und der Materialkohlenstoffkonzentration A als die Dicke Lc der aufgekohlten Schicht nach dem Aufkohlungsschritt und vor dem Nitrierschritt definiert.

[0066] Wie in **Fig. 11** dargestellt, ist in der Kohlenstoffkonzentrationsverteilungskurve in dem Werkstück nach dem Nitrierschritt ein Abstand zum Schnittpunkt zwischen der Tangente Tp am Bezugspunkt P, an dem die Kohlenstoffkonzentration 1/3 der äußersten Oberfläche beträgt, und der Materialkohlenstoffkonzentration A als die Dicke L_N der karburierten Schicht nach dem Nitrierschritt definiert.

[0067] Zusätzlich ist die Materialkohlenstoffkonzentration A des Werkstücks eine ursprüngliche Kohlenstoffkonzentration des ferritischen Edelstahlmaterials des Werkstücks, bevor der vorstehend erwähnte Aufkohlungsschritt oder der Nitrierschritt durchgeführt wird.

[0068] Eine Beziehung zwischen der Dicke der Aufkohlungsschicht nach dem Aufkohlungsschritt (d.h. der Aufkohlungstiefe) und der Kohlenstoffkonzentration ist in einem Diagramm I gezeigt, und eine Beziehung zwischen der Dicke der nach dem Nitrierschritt nach innen diffundierten Aufkohlungsschicht und der Kohlenstoffkonzentration ist auch in einem Diagramm II in **Fig. 12** gezeigt. Die Diagramme I und II in **Fig. 12** zeigen lineare Näherungen der Verteilungskurven der Kohlenstoffkonzentration.

[0069] In diesem Beispiel wird die Menge an Kohlenstoff, die nach dem Aufkohlungsschritt in das Werkstück aufgenommen wird, durch eine schraffierte Fläche α in **Fig. 12** dargestellt und die Menge an Kohlenstoff in dem Werkstück nach dem Nitrierschritt wird durch einen schraffierten Bereich β dargestellt. In dem Nitrierschritt ist, da in dem Aufkohlungsschritt aufgenommener Kohlenstoff nach innen diffundiert, die Kohlenstoffkonzentration der äußersten Oberfläche nach dem Nitrierschritt niedriger als die nach dem Aufkohlungsschritt, aber die Kohlenstoffmenge selbst in dem Werkstück wird nicht geändert. Das heißt, ein Bereich des schraffierten Bereichs α und ein Bereich des schraffierten Bereichs β in dem Werkstück sind gleich.

[0070] Unter der Annahme, dass die Oberflächenkohlenstoffkonzentration des Werkstücks nach dem Nitrierschritt 0,3 Massen-% wird, wird die in dem Werkstück im Nitrierschritt vorhandene Kohlenstoffmenge durch einen schraffierten Bereich β1 in **Fig. 13** dargestellt. Um die Korrosionsbeständigkeit, unter dem Gesichtspunkt, dass die Oberflächenkohlenstoffkonzentration des Werkstücks nach dem Nitrierschritt, wie vorstehend beschrieben, vorzugsweise 0,3 Massen-% oder weniger beträgt, ausreichend zu verbessern, ist die Fläche des Bereichs α in **Fig. 13** vorzugsweise gleich oder kleiner als die Fläche des Bereichs β1.

[0071] Mit anderen Worten ist vorzugsweise $(X_C\text{-}A) \times L_C \times 1/2 \leq (0{,}3\text{-}A) \times L_N \times 1/2$. Dies ist gleichbedeutend mit der Bevorzugung von $(X_C - A) \times L_C \leq (0{,}3 - A) \times L_N$. Um ein ferritisches Edelstahlprodukt mit ausgezeichneter Korrosionsbeständigkeit zu erhalten, ist vorzugsweise $(X_C\text{-}A) \times L_C \leq (0{,}3\text{-}A) \times L_N$.

[0072] Unter der Annahme, dass die Oberflächenkohlenstoffkonzentration des Werkstücks nach dem Nitrierschritt 0,2 Massen-% wird, wird die im Werkstück in der Nitrierschritt vorhandene Kohlenstoffmenge durch einen schraffierten Bereich β2 in **Fig. 14** dargestellt. Um die nitrierte Schicht, wie vorstehend beschrieben, stabiler auszubilden, ist unter dem Gesichtspunkt, dass die Oberflächenkohlenstoffkonzentration des Werkstücks nach dem Nitrierschritt vorzugsweise 0,2 Massen-% oder mehr beträgt, in **Fig. 14** die Fläche der Region α vorzugsweise gleich oder kleiner als die Fläche der Region β1.

[0073] Mit anderen Worten ist vorzugsweise $(0{,}2\text{-}A) \times L_N \times 1/2 \leq (X_C - A) \times L_C \times 1/2$. Dies ist gleichbedeutend mit der Bevorzugung von $(0{,}2 - A) \times L_N \leq (X_C - A) \times L_C$. Um die nitrierte Schicht stabiler auszubilden, um ein ferritisches Edelstahlprodukt mit höherer Härte zu erhalten, ist deshalb vorzugsweise $(0{,}2\text{-}A) \times L_N \leq (X_C\text{-}A) \times L_C$.

[0074] Die verschiedenen Bedingungen können so eingestellt werden, dass die Materialkohlenstoffkonzentration A Massen-%, die Oberflächenkohlenstoffkonzentration X_C Massen-% der karburierten Schicht

nach dem Karburierungsschritt und vor dem Nitrierschritt, die Dicke Lc mm der karburierten Schicht nach dem Karburierungsschritt und vor dem Nitrierschritt und die Dicke L_N mm der karburierten Schicht nach dem Nitrierschritt die vorstehend erwähnte bevorzugte Beziehung erfüllen. Das heißt, die Aufkohlungstemperatur und die Aufkohlungszeit im Aufkohlungsschritt, die Nitriertemperatur und die Nitrierzeit im Nitrierschritt und dergleichen können so gesteuert werden, dass sie die vorstehend beschriebenen gewünschten Beziehungen erfüllen. Dies macht es möglich, ein ferritisches Edelstahlprodukt mit überlegener Korrosionsbeständigkeit und Härte zu erhalten.

[0075] Obwohl die vorliegende Offenbarung basierend auf den vorstehenden Ausführungsformen beschrieben ist, ist die vorliegende Offenbarung nicht auf die Ausführungsformen und die Strukturen beschränkt. In der vorliegenden Offenbarung können verschiedene Änderungen und Modifikationen vorgenommen werden. Ferner können verschiedene Kombinationen und Formationen sowie andere Kombinationen und Formationen einschließlich eines, mehr als eines oder weniger als eines Elements in der vorliegenden Offenbarung gemacht werden.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- JP 2016177568 [0001]
- JP 2014181397 A [0005]

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines ferritischen Edelstahlprodukts, wobei das Verfahren aufweist:
Ausbilden einer aufgekohlten Schicht (21) auf einem Werkstück (2), das aus ferritischem Edelstahl hergestellt ist; und
Ausbilden einer nitrierten Schicht (3) auf einer Oberfläche des Werkstücks durch Erwärmen des Werkstücks bei einer Temperatur, die gleich oder höher ist als ein Umwandlungspunkt des ferritischen Edelstahls in einer Atmosphäre, die N_2-Gas aufweist, nach dem Ausbilden der aufgekohlten Schicht.

2. Verfahren zur Herstellung des ferritischen Edelstahlprodukts nach Anspruch 1, wobei das Verfahren ferner aufweist Abkühlen des Werkstücks durch Abschrecken des Werkstücks mit der nitrierten Schicht nach dem Ausbilden der nitrierten Schicht.

3. Verfahren zur Herstellung des ferritischen Edelstahlprodukts nach Anspruch 1 oder 2, wobei eine Kohlenstoffkonzentration, die durch A Massenprozentanteile des Werkstücks vor dem Ausbilden der aufgekohlten Schicht definiert ist, eine Oberflächenkohlenstoffkonzentration, die durch X_C Massenprozentanteile der aufgekohlten Schicht definiert ist, und eine Dicke, die durch Lc Millimeter (mm) der aufgekohlten Schicht nach dem Ausbilden der aufgekohlten Schicht und vor dem Ausbilden der nitrierten Schicht definiert ist, und eine Dicke, die durch L_N mm der aufgekohlten Schicht nach dem Ausbilden der nitrierten Schicht definiert ist, eine Beziehung von $(X_C\text{-}A) \times L_C \leq (0{,}3\text{-}A) \times L_N$ erfüllen.

4. Verfahren zur Herstellung des ferritischen Edelstahlprodukts nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei eine Kohlenstoffkonzentration, die durch A Massenprozentanteile des Werkstücks vor dem Ausbilden der aufgekohlten Schicht definiert ist, eine Oberflächenkohlenstoffkonzentration, die durch Xc Massenprozentanteile der aufgekohlten Schicht definiert ist, und eine Dicke, die durch Lc mm der aufgekohlten Schicht nach dem Ausbilden der aufgekohlten Schicht und vor dem Ausbilden der nitrierten Schicht definiert ist, und eine Dicke, die durch L_N mm der aufgekohlten Schicht nach dem Ausbilden der nitrierten Schicht definiert ist, eine Beziehung von $(0{,}2\text{-}A) \times L_N \leq (X_C\text{-}A) \times L_C$ erfüllen.

5. Verfahren zur Herstellung des ferritischen Edelstahlprodukts nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei das Ausbilden der aufgekohlten Schicht aufweist:
Erwärmen auf eine Aufkohlungstemperatur eines Innenraums eines Heizofens, in dem das Werkstück unter vermindertem Druck angeordnet wird; und
Zuführen eines Aufkohlungsgases in den Heizofen.

6. Verfahren zur Herstellung des ferritischen Edestahlprodukts nach Anspruch 5, wobei das Aufkohlungsgas mindestens ein ungesättigtes Kohlenwasserstoffgas aufweist.

Es folgen 9 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1A

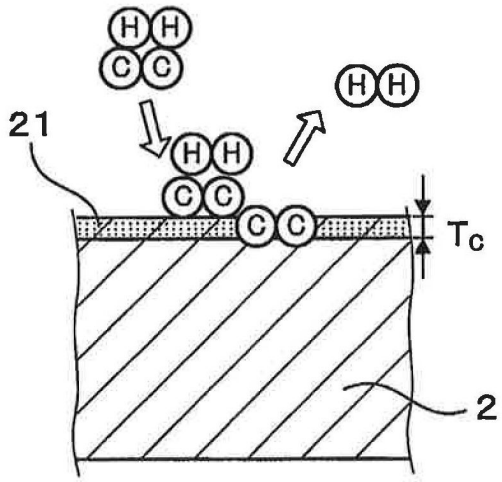


FIG. 1B

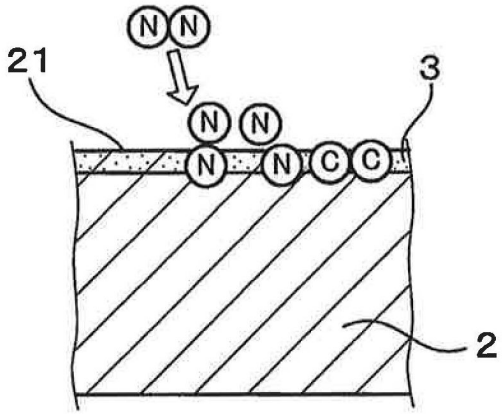


FIG. 1C

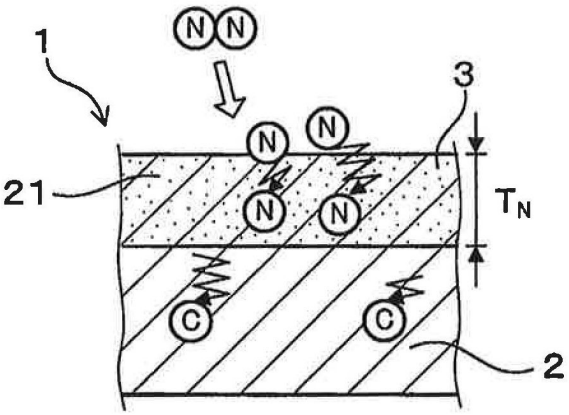


FIG. 2

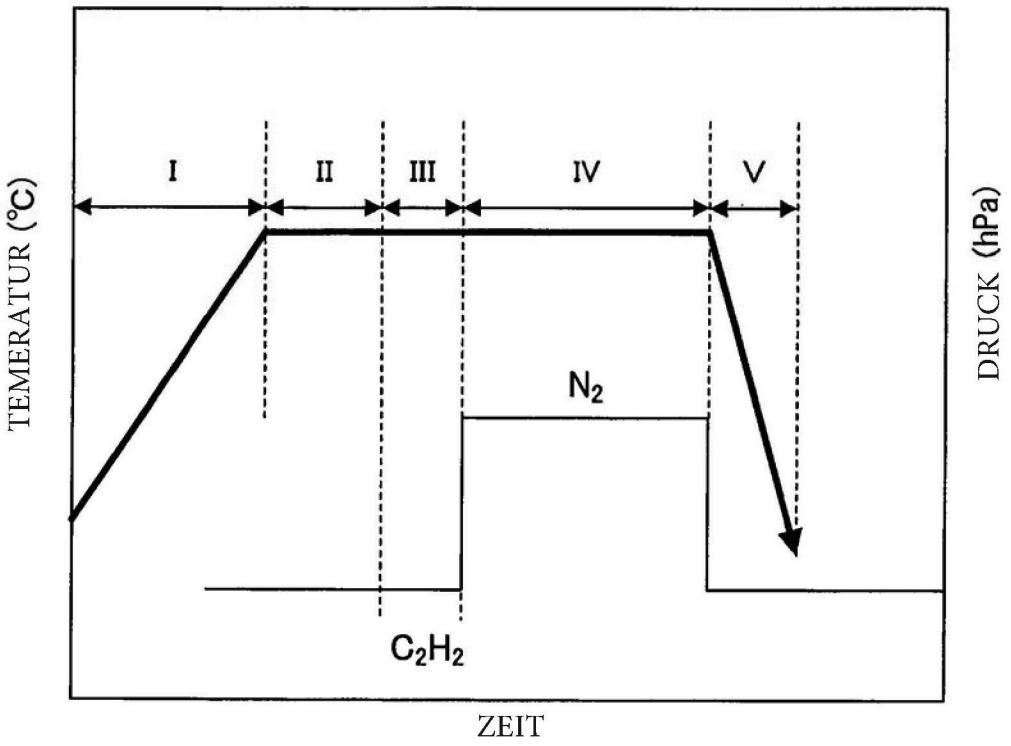

I
II
III
IV
V
TEMERATUR (°C)
DRUCK (hPa)
N2
C2H2
ZEIT

FIG. 3

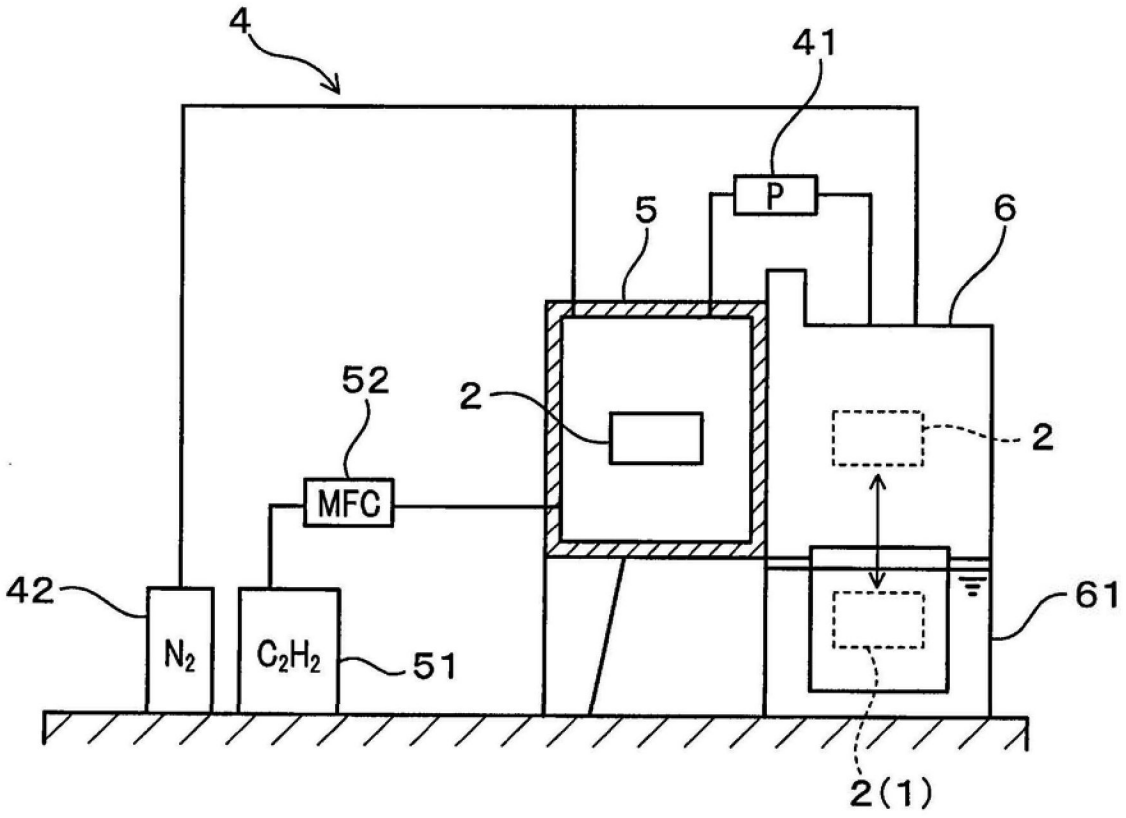

4
41
P
5
6
52
2
2
MFC
42
N2
C2H2
51
61
2(1)

FIG. 4A

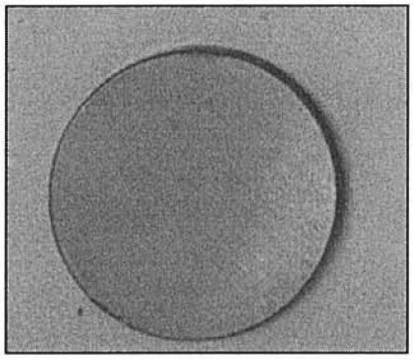


FIG. 4B

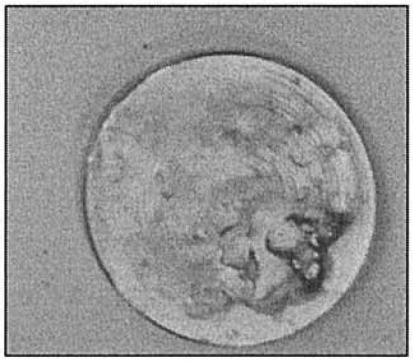


FIG. 5A

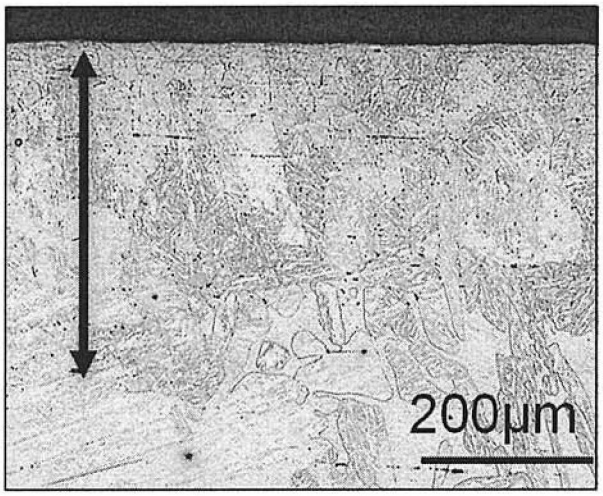


FIG. 5B

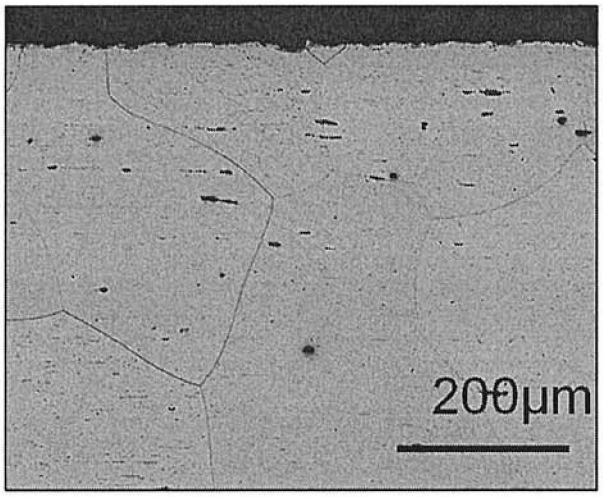


FIG. 6A

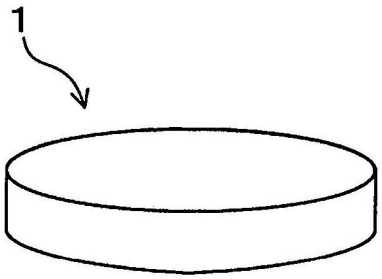


FIG. 6B

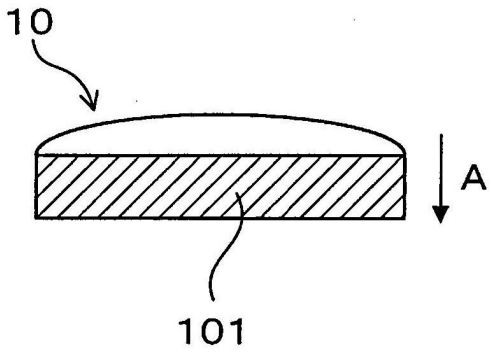


FIG. 7

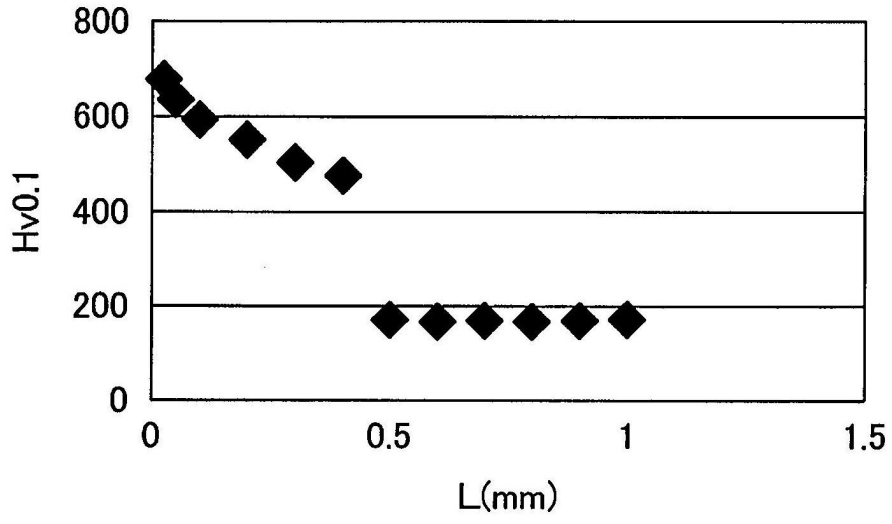


FIG. 8

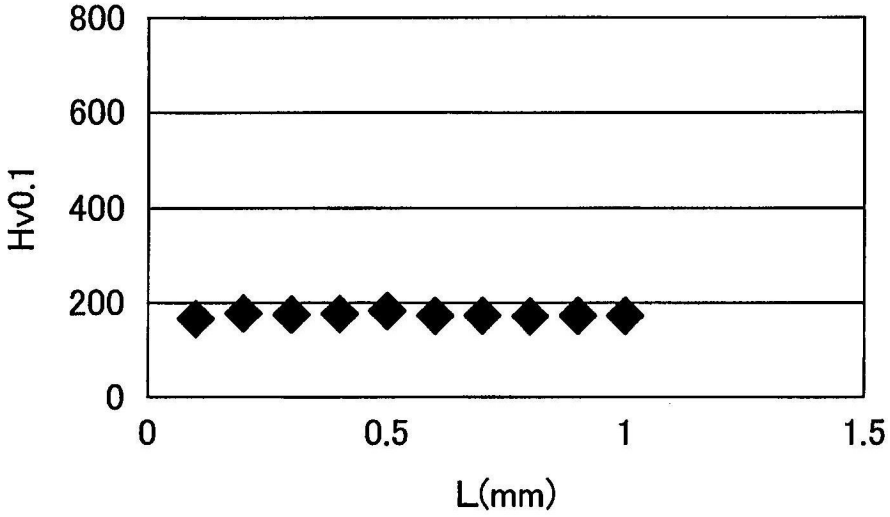

800
600
400
200
0
Hv0.1
0
0.5
1
1.5
L(mm)

FIG. 9

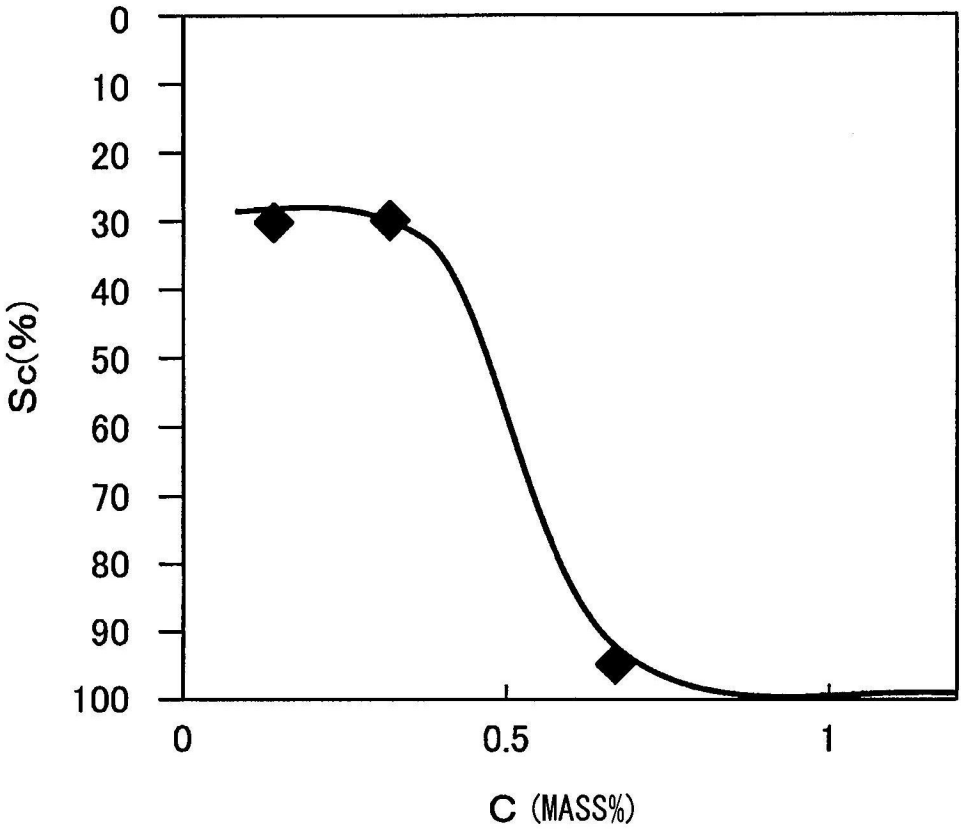

0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
Sc(%)
0
0.5
1
C (MASS%)

FIG. 10

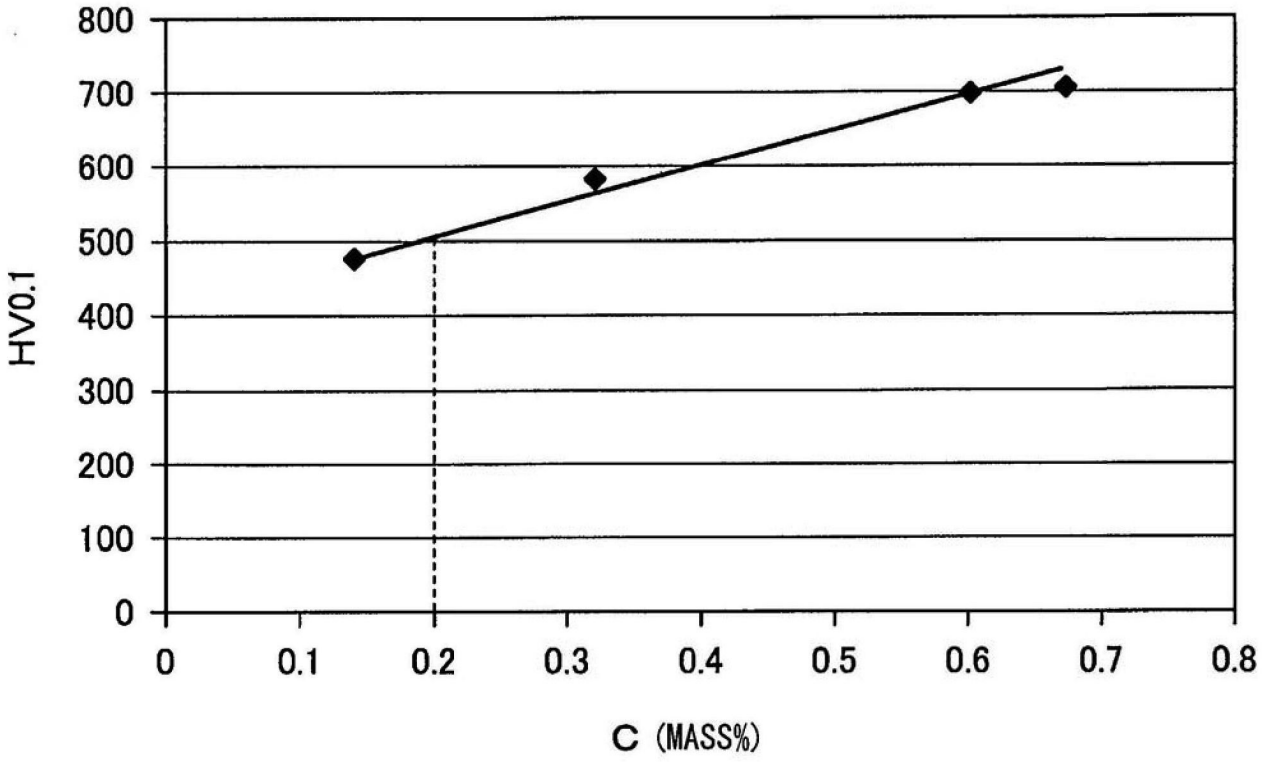

800
700
600
500
400
300
200
100
0
HV0.1
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
C (MASS%)

FIG. 11

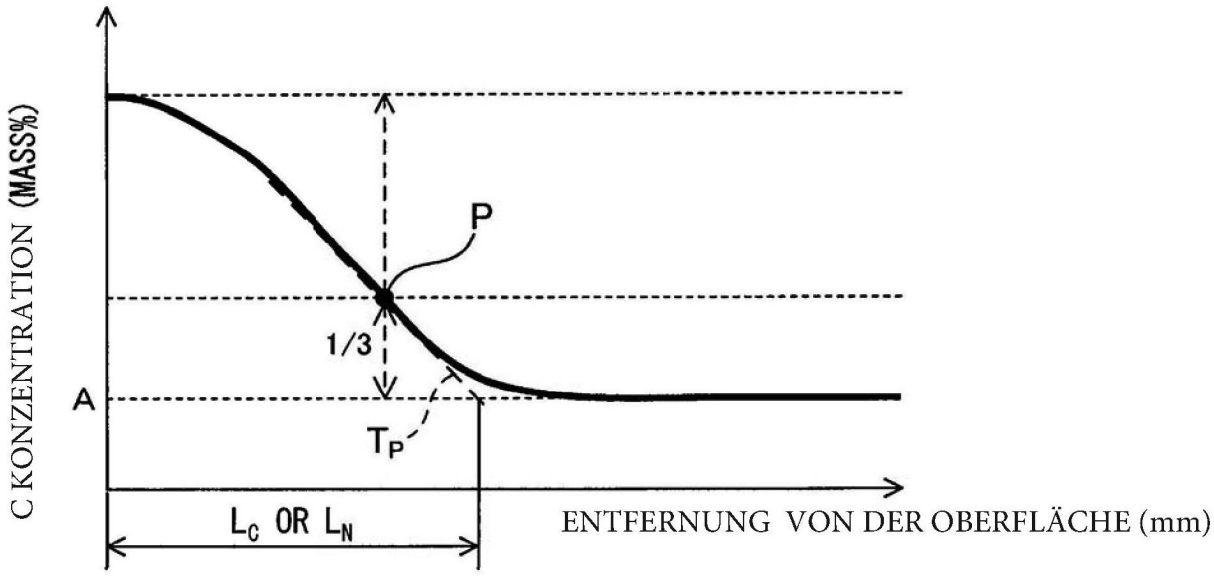

C KONZENTRATION (MASS%)
P
1/3
A
T_P
L_C OR L_N
ENTFERNUNG VON DER OBERFLÄCHE (mm)

FIG. 12

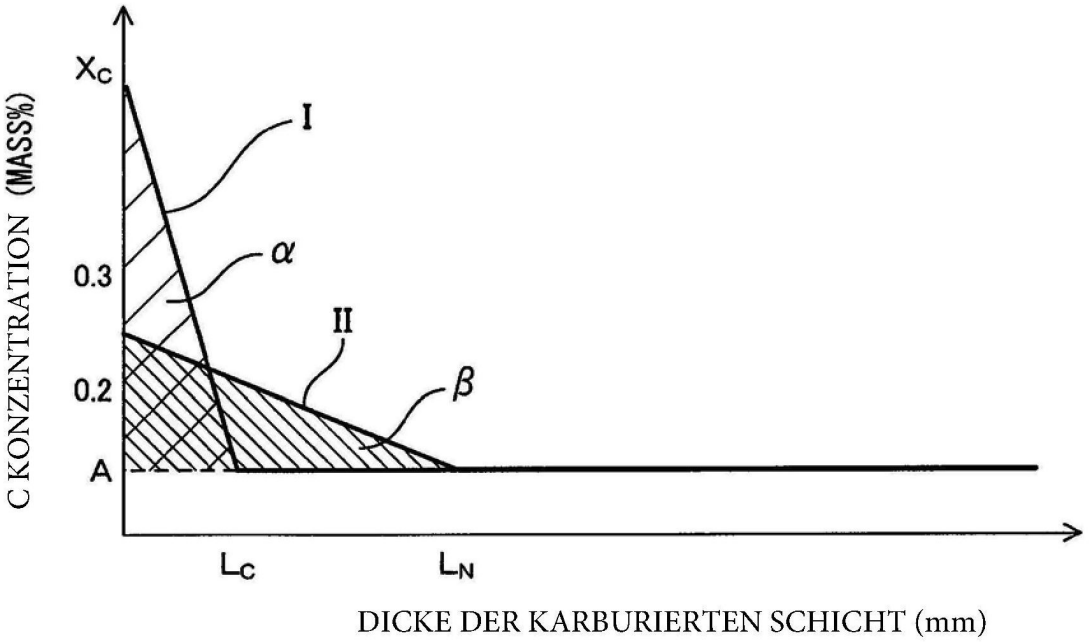

C KONZENTRATION (MASS%)
Xc
0.3
0.2
A
I
α
II
β
Lc
LN
DICKE DER KARBURIERTEN SCHICHT (mm)

FIG. 13

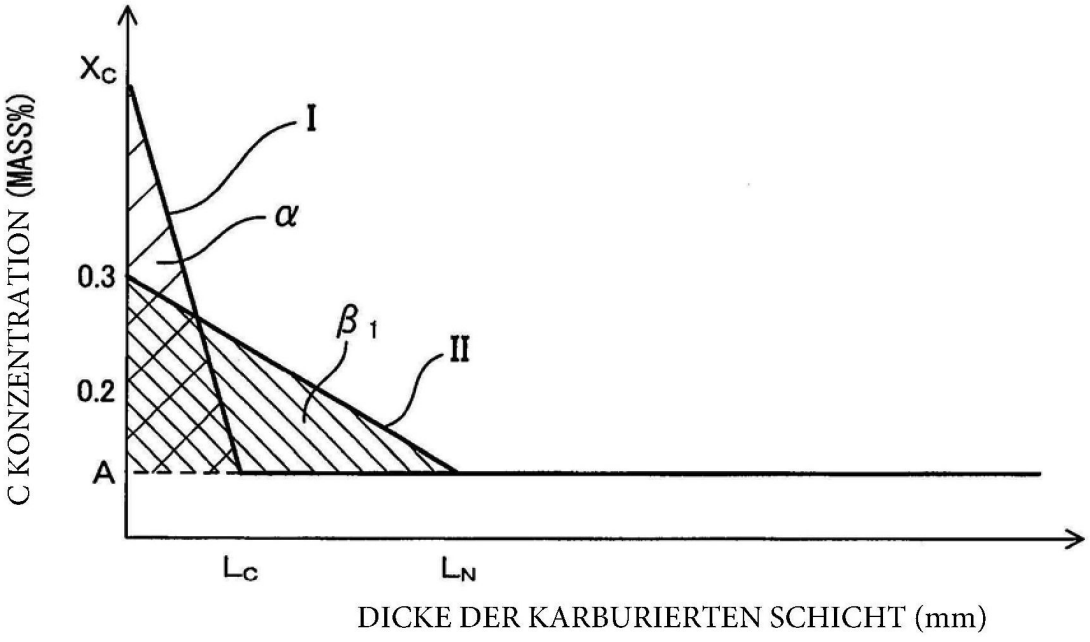
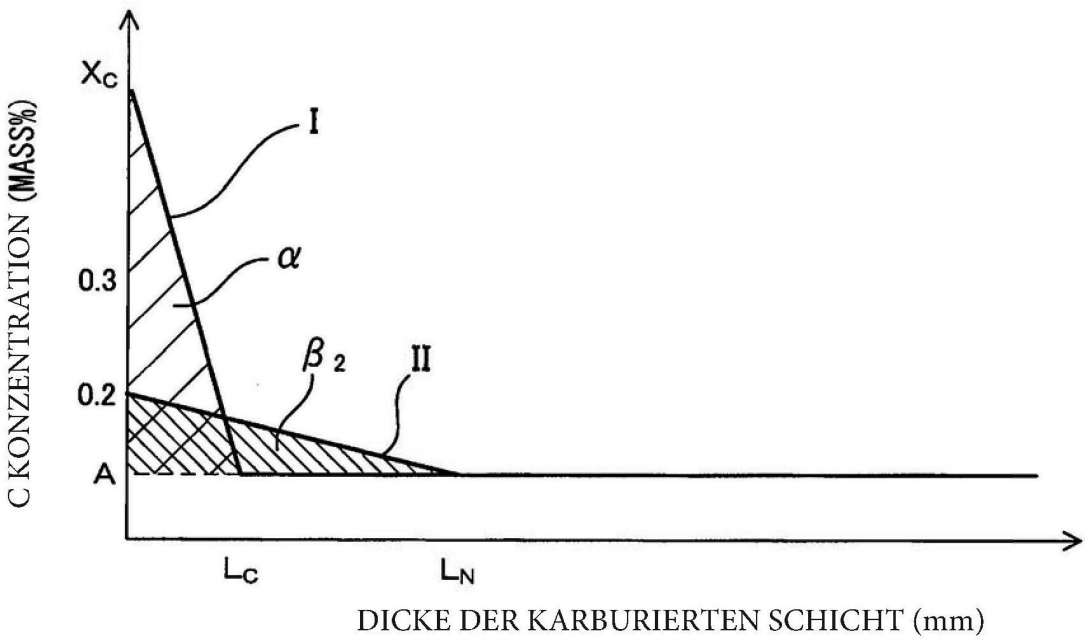

C KONZENTRATION (MASS%)
Xc
0.3
0.2
A
I
α
β 1
II
Lc
LN
DICKE DER KARBURIERTEN SCHICHT (mm)

FIG. 14


C KONZENTRATION (MASS%)
Xc
0.3
0.2
A
I
α
β 2
II
Lc
LN
DICKE DER KARBURIERTEN SCHICHT (mm)