



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑪ CH 687 880 A5

⑤① Int. Cl.⁶: C 23 C 014/02
H 01 L 021/302

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ **PATENTSCHRIFT** A5

⑳ Gesuchsnummer: 01599/93

㉔ Anmeldungsdatum: 27.05.1993

㉔ Patent erteilt: 14.03.1997

④⑤ Patentschrift
veröffentlicht: 14.03.1997

㉗ Inhaber:
Balzers Aktiengesellschaft, 9496 Balzers (LI)

㉗ Erfinder:
Dingremont, Norbert Marie,
Vandoeuvre les Nancy (FR)

㉗ Vertreter:
Troesch Scheidegger Werner AG,
Siewerdstrasse 95, Postfach, 8050 Zürich (CH)

⑤④ **Verfahren zur Erhöhung der Verschleissfestigkeit von Werkstückoberflächen und nach diesem behandeltes Werkstück.**

⑤⑦ Bei Verfahren, bei denen die Oberfläche eines Werkzeuges mit einer Vergütungsschicht versehen wird und zudem, zur Steigerung der Verschleissfestigkeit, eine Hartstoffschicht vorgesehen wird, wird die Oberfläche der erst vorgesehenen Vergütungsschicht einem Plasma-Ätzprozess in einer reaktiven Gasatmosphäre ausgesetzt, wobei der Ätzprozess so ausgeführt wird, dass die Vergütungsschicht auch nach der Hartstoffbeschichtung eine vorgegebene Konzentration eines Nichtmetalles, insbesondere eines der Elemente C, N, B, O, S, Si aufweist. Vorzugsweise wird mit einem Reaktivgas gearbeitet, das das Nichtmetall enthält, welches mit dem Werkstück-Grundwerkstoff zusammen die Vergütungsschicht bildet.



Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erhöhung der Verschleissfestigkeit von Werkstückoberflächen nach dem Oberbegriff von Anspruch 1 sowie ein nach diesem behandeltes Werkstück.

Es hat sich einerseits für zahlreiche Werkstücke, wie für Bauteile und formende Werkzeuge, in einigen Fällen auch für zerspanende Werkzeuge, als vorteilhaft erwiesen, diese einer Oberflächenbehandlung zu unterziehen, wodurch eine Vergütungsschicht erzeugt wird. Dies z.B. durch thermochemische Behandlung oder durch eine Plasma-Behandlung in Vakuum.

Ebenso hat sich andererseits für zahlreiche Anwendungen ein Beschichten derartiger Werkstücke mit Hartstoffschichten zur Steigerung ihrer Verschleissfestigkeit bewährt.

Bisher war es nur beschränkt möglich, die beiden genannten Verfahren zu kombinieren. Obwohl immer wieder von positiven Resultaten berichtet wurde, wiesen die vorbehandelten und nachmals beschichteten Werkstücke in der Praxis bezüglich der Beschichtung immer wieder Bindungsprobleme auf, die sich darin äusserten, dass beim Einsatz so beschichteter Werkstücke lokale Schichtverluste auftraten.

Wenn auf eine z.B. thermochemisch oder Vakuum-Plasma-behandelte Oberfläche, insbesondere mittels eines PVD-Verfahrens (physical vapor deposition), eine Verschleiss-Schutzschicht aufgebracht wird, so bildet sich eine dünne Schicht an der z.B. thermochemisch erzeugten Vergütungsschicht, in der die Nichtmetallanreicherung der Vergütungsschicht, wie sie für die Oberflächenzone z.B. thermochemisch oder Vakuum-Plasma-behandelter Werkstücke charakteristisch ist, einer Nichtmetallverarmung gewichen ist. Unter Nichtmetallen, auch Halbmetalle genannt (semimetal), seien insbesondere, aber nicht abschliessend, die Elemente C, N, B, O, S, Si verstanden. Diese verarmte Zwischenschicht weist nur eine geringe Zug- und Scherfestigkeit auf. Wegen dieser «Verarmungs»-Schicht wird die aufgebrachte Hartstoffschicht entweder während des Einsatzes abgesichert, oder sie platzt aufgrund der in ihr üblicherweise vorhandenen Druckeigenspannungen ab. Allerdings tritt dieses Phänomen nicht immer auf. Es scheint Verfahrens- und Werkstoffkombinationen zu geben, bei denen dieses Phänomen sich nicht beobachten lässt. Für eine qualitätsgesicherte Lohnveredelung bildet das erwähnte Problem grundsätzlich ein bisher unüberwindbares Hindernis.

Vorschläge zur Lösung dieses Problems beschränkten sich bis anhin darauf, die Beschichtungstemperatur bei der Hartstoffbeschichtung genügend tief zu halten, z.B. unter 300°C. Mit den heute üblichen PVD-Beschichtungsverfahren lassen sich aber bei diesen Temperaturen keine Schichten mit ausreichender Haftfestigkeit herstellen.

Die vorliegende Erfindung geht von der Aufgabe aus, ein Verfahren eingangs genannter Art so auszubilden, dass die Haftfestigkeit der aufgetragenen Hartstoffschicht gesichert ist.

Dies wird bei seiner Ausbildung nach dem kennzeichnenden Teil von Anspruch 1 erreicht.

Dadurch, dass mit Hilfe des Vakuum-Plasma-Ätzprozesses die Konzentration an Nichtmetallen und dabei insbesondere am Oberflächenbereich an der Vergütungsschicht gesteuert wird, wird erreicht, dass sie so eingestellt werden kann, dass auch nach der Hartstoffbeschichtung eine vorgegebene Nichtmetallkonzentration daran nicht unterschritten wird. Grundsätzlich kann durch den genannten Ätzprozess die Nichtmetallkonzentration der Vergütungsschicht erhöht, konstant gehalten oder erniedrigt werden, entsprechend der für optimale Hartstoffschichthaftung angestrebten Nichtmetallkonzentration und der vorherrschenden Konzentration an der Vergütungsschicht.

In einer bevorzugten Ausführungsvariante wird, gemäss Anspruch 2, mit dem Ätzprozess die Nichtmetallkonzentration mindestens eines der Elemente C, N, B, O, S, Si gesteuert.

Gemäss Anspruch 3 wird der Ätzprozess in einer reaktiven Gasatmosphäre durchgeführt.

Obwohl es in gewissen Fällen durchaus möglich ist, dass die Vergütungsschicht mit einem Nichtmetall vorliegt und mittels des reaktiven Ätzprozesses ein zweites Nichtmetall eingebracht wird, dem Wortlaut von Anspruch 3 folgend, weiter bevorzugterweise der reaktive Ätzprozess in einer Gasatmosphäre durchgeführt wird, welche dasselbe Nichtmetall enthält, mindestens zu überwiegendem Teil, welches, gegebenenfalls mit einem oder mehreren weiteren Nichtmetallen und dem Werkstückgrundmaterial, die Vergütungsschicht bildet.

Bevorzugterweise wird das Verfahren an gemäss Anspruch 4 vorbehandelten Werkstücken ausgeführt.

Dadurch, dass, dem Anspruch 5 folgend, zwei der drei Schritte, nämlich Vergüten, Ätzen und Hartstoffbeschichten, in situ d.h. im gleichen Vakuum-Rezipienten durchgeführt werden, ergibt sich eine wesentliche Verringerung der Produktionskosten und damit Erhöhung der Verfahrens-Wirtschaftlichkeit.

Der Hartstoff-Beschichtungsprozess erfolgt bevorzugterweise und dem Wortlaut von Anspruch 6 folgend mittels eines reaktiven plasmaunterstützten Prozesses, insbesondere mittels eines PVD-Prozesses, worunter z.B. reaktives Sputterbeschichten, reaktives Bedampfungsbeschichten – mittels reaktivem arc-Verdampfen, reaktivem Elektronenstrahlverdampfen oder reaktivem Verdampfen mittels Niederspannungsbogenentladung –, insbesondere aber Ionenplattieren oder Ionenstrahlspütern verstanden sei. Grundsätzlich kann aber auch ein plasmaunterstütztes chemisches Dampfabcheidungsverfahren eingesetzt werden, generell bekannt unter dem Ausdruck PECVD, oder eine andere PVD/CVD-Mischprozessform.

Die Vergütungsschicht ist in einer bevorzugten Form gebildet, gemäss Wortlaut von Anspruch 7.

Bezüglich eines Beispiels zur Erzeugung der Vergütungsschicht sei auf die CH-A 671 407 bzw. die US-A 4 762 756 verwiesen, die diesbezüglich zum integrierten Teil der vorliegenden Beschreibung erklärt werden.

Obwohl als Hartstoffschicht eine beliebige der als Verschleiss-Schutzschicht bekannten Schichten vorgesehen werden kann, so z.B. eine Chrom- und Molybdän-Disulfidschicht, wird vorzugsweise gemäss dem Wortlaut von Anspruch 8 vorgegangen. Dabei wird vorzugsweise von den Metallen der Gruppe IVb nach dem «CRC Handbook of Chemistry and Physics», 54. Ausgabe, Robert C. Weast, Ti, Zr, Hf eingesetzt.

Insbesondere wird dabei vorgeschlagen, dem Wortlaut von Anspruch 9 folgend, den Ätzprozess so durchzuführen, dass auch nach aufgebracht Hartstoffschicht die Nichtmetallkonzentration an der Vergütungsschicht, insbesondere deren vormalige Oberfläche, unverändert bleibt.

Ein ganz wesentlicher Aspekt der vorliegenden Erfindung ist es, dass gemäss Anspruch 10 erkannt wurde, dass die Nichtmetall-Konzentration der Vergütungsschicht dadurch so eingestellt werden kann, dass sie nach der Hartstoffbeschichtung einen vorgegebenen Wert einnimmt, dass die Menge des während der Ätzprozessdauer verbrauchten Reaktivgases und damit zugeführten Reaktivgases, als Optimierungsvariable, für die Qualität der nachmals aufgetragenen Hartstoffschicht eingesetzt wird.

Dabei wird bevorzugterweise, dem Wortlaut von Anspruch 11 folgend, der Ätzprozess erst dann begonnen, wenn das erwähnte Reaktivgas mit einem vorgegebenen Partialdruck vorliegt, sei dies im Sinne eines minimalgeforderten Partialdruckes zum Auslösen des Ätzprozesses, der nachmals erhöht wird, sei dies bereits als Reaktivgas-Partialdruck, welcher während des Ätzprozesses aufrechterhalten wird und wenn vorzugsweise eine vorgegebene Werkstücktemperatur nicht überschritten ist.

Dem Wortlaut von Anspruch 12 folgend, eignet sich das vorgeschlagene Verfahren insbesondere für die Beschichtung formender Werkzeuge oder zerspanender Werkzeuge, dabei, dem Wortlaut von Anspruch 13 folgend, insbesondere für Stahlwerkstücke.

Die Erfindung wird anschliessend anhand von Beispielen und Figuren erläutert.
Dabei zeigen:

Fig. 1 schematisch den Aufbau einer Vakuum-Behandlungskammer, worin das erfindungsgemässe Verfahren durchgeführt wird, als Beispiel,

Fig. 2 die Behandlungskammer nach Fig. 1, betrieben zum Vorheizen der erfindungsgemäss behandelten Werkstücke vor deren Ätzen,

Fig. 3 die Anlage nach Fig. 1, betrieben zum erfindungsgemässen, reaktiven Ätzen der vergüteten Werkstückoberflächen,

Fig. 4 die Anlage nach Fig. 1, betrieben zum Aufbringen der Hartstoffschicht durch Ionplating, nach erfolgtem reaktivem Ätzen,

Fig. 5 die Anlage nach Fig. 1, betrieben zum Aufbringen der Hartstoffschicht durch ionenunterstütztes Sputterbeschichten, nach erfolgtem reaktivem Ätzen,

Fig. 6 die Anlage nach Fig. 1 zum Aufbringen der Hartstoffschicht mittels eines Hybridprozesses aus Ionplating und ionenunterstütztem Sputterbeschichten.

Gemäss Fig. 1 umfasst eine zur Durchführung des erfindungsgemässen Verfahrens beispielsweise eingesetzte Anlage eine Vakuumkammer 1, woran Vakuumpumpen 3 über ein steuerbares Drosselventil 4 angeschlossen sind. An einer Drehdurchführung 6 ist eine Werkstückträgerkalotte 8 vorgesehen, welche auf steuerbare Bias-Spannung gelegt werden kann. Hinter der Werkstückträgerkalotte 8 mit den schematisch eingetragenen Werkstücken 10 sind Gaseinlässe 12 vorgesehen.

An der Kammer 1 ist weiter eine Heisskathodenkammer 14 mit Gaseinlass 16 vorgesehen. Die Heisskathodenkammer 14 kommuniziert, wie schematisch dargestellt, über eine Blendenanordnung 18 mit dem Innenraum der Kammer 1. Im weiteren umfasst die Anlage in der Kammer 1 eine Planar-Magnetron-Sputterquelle 20 sowie eine Elektronenstrahl-Verdampfeinheit 22 und eine Hilfsanode 24.

Eine Anlage dieser Konfiguration ist bekannt und wird von der Anmelderin unter der Typenbezeichnung BA1640R eingesetzt und vertrieben.

Die Pumpleistung der Öldiffusionspumpe mit Wälzkolbenpumpe beträgt ca. 800 Liter in der Sekunde.

Es wurden Proben aus Z38CDV-5- und 35NCD16-Stählen mit verschiedenen thermochemischen Vorbehandlungen unterschiedlich nitriert. Dies, um unterschiedliche Vergütungsschichten als Anfangsbedingungen für das erfindungsgemässe Vorgehen zu schaffen. Es wurden somit sowohl die Parameter der Vergütungsschicht wie auch, darnach, der Hartstoffbeschichtung nach dem Ätzschritt, systematisch variiert. Dem Ätzschritt wurde ein Heizschritt vorgelagert, was aber nicht zwingend ist.

Überraschenderweise zeigte sich, dass für einen weiteren Bereich von Parametern der thermochemischen Vorbehandlung und damit Vergütungsschicht des folgenden Heizschrittes, dabei insbesondere der Werkstücktemperatur, sowie des Hartstoff-Beschichtungsverfahrens, dabei auch des aufgetragenen Hartstoff-Schichtwerkstoffes, die Beschichtung nur dann ein vollständig befriedigendes Resultat ergab, wenn die Menge während des reaktiven Ätzschrittes verbrauchten und damit zugeführten Reaktivgases innerhalb eines gewissen engen Bereiches lag, abgestimmt auf die Art der Vergütungsschicht (Nitrid, Borid etc.), die Stahlsorte, unabhängig von der Art der folgenden Hartstoffbeschichtung (Nitrid, Karbonitrid etc.).

Daraus wurde erkannt, dass durch gezielte Einstellung der Nichtmetallkonzentration an der Vergütungsschicht, trotz der nachmaligen Hartstoffbeschichtung, optimale Verhältnisse eingestellt werden können, vorzugsweise das Entstehen einer nichtmetallverarmten Zwischenschicht vermieden werden kann.

5 Beispiel

I. Oberflächen-Vorbehandlung als Anfangsbedingung

Erzeugung der Vergütungsschicht

10

a) Ein erster Satz von Proben und tools aus Stahl 35NCD16 wurden zuerst in einer Dioden-Plasma-Nitrieranlage gemäss Fig. 1 so nitriert, dass sich an ihrer Oberfläche nur eine Diffusionsschicht einstellte. Gemäss Fig. 2 wurde dabei mittels der Heisskathode ein Plasma erzeugt, die Trägerkalotte 8 auf anodisches Potential gelegt. Folgende Bedingungen wurden eingestellt:

15

Tabelle 1

Werkstück-Temperatur	570°C
Gasgemisch	Wasserstoff mit 3% Stickstoff
Druck	266 Pa
Behandlungszeit	4 Stunden
totale Werkstückoberfläche	200 cm ²
Entladespannung	700 V
Entladestrom	0.65 A

20

25

Unter diesen Bedingungen ergab sich eine Nitriertiefe von 125 µm und eine Oberfläche der Härte 530 HV 0.1.

30

b) Ein zweiter Satz von Proben wurde in der erwähnten Dioden-Nitrieranlage so behandelt, dass sich an ihren Oberflächen eine Verbindungsschicht aus $\gamma/\text{Fe}_4\text{N}$ über der Diffusionsschicht bildete. Die Bedingungen dafür waren folgende:

35

Tabelle 2

Werkstück-Temperatur	550°C
Gasgemisch	Wasserstoff mit 8% Stickstoff
Druck	266 Pa
Behandlungszeit	4 Stunden
totale Werkstückoberfläche	200 cm ²
Stickstofffluss	26 scc/min
Entladespannung	650 V
Entladestrom	0.65 A

40

45

Unter diesen Bedingungen ergab sich eine Nitriertiefe von 150 µm mit einer Härte 1200 HV 0.1.

50

c) Ein dritter Satz von Proben wurde in derselben Dioden-Nitrieranlage so behandelt, dass sich auf ihrer Oberfläche eine Schicht aus $\epsilon\text{-Fe}_{2-3}(\text{CN})$ über der Diffusionsschicht abschied. Die Bedingungen hierfür waren:

Tabelle 3

55

60

65

Tabelle 3

	Werkstück-Temperatur	570°C
5	Druck	266 Pa
	Wasserstofffluss	46.6 scc/min
	Stickstofffluss	276 scc/min
10	Methanfluss	10 scc/min
	Behandlungszeit	8 h
	totale Werkstückoberfläche	200 cm ²
	Entladespannung	500 V
15	Entladestrom	0.7 A

Nitriertiefe und Harte entsprachen dem zweiten Beispiel.

20 II. Erfindungsgemässe Behandlung der vergüteten Oberfläche

a) Heizen

25 Die unterschiedlich vergüteten Proben wurden erst in einem Neutralplasma an der Anlage gemäss Fig. 2 auf 520°C erwärmt. Hierzu kann, als Beispiel, vorgegangen werden gemäss der US-A 4 555 611, der DE 3 406 953 oder der FR-A 1 153 552, welche diesbezüglich zum integrierten Bestandteil der vorliegenden Beschreibung erklärt seien.

b) Ätzen

30 In der folgenden Tabelle sind die Ätzparameter für Versuche 1 bis 6 zusammengestellt, die an allen unterschiedlich vergüteten geheizten Proben und Werkzeugen durchgeführt wurden. Der Betrieb der Anlage nach Fig. 1 zum Ätzen ist in Fig. 3 dargestellt. Daraus ist deutlich erkennbar, dass bei allen vornitrierten Werkstücken, also sogar in weiten Grenzen unabhängig von der vorgebildeten Vergütungsschicht, dann eine perfekt haftende, saumfreie, glatte Hartschicht erzeugt werden konnte, wenn während der Ätzprozessdauer 50 scc Stickstoff bei einem Stickstoff-Partialdruck von 0.02 Pa eingesetzt wurde. Daraus ist ersichtlich, dass grundsätzlich der Parameter «während der Ätzprozessdauer verbrauchte bzw. eingelassene Reaktivgasmenge» Optimierungsvariable des Ätzprozesses für die Haftung der nachmals aufgetragenen Hartschicht bildet. Dabei spielt der während des Ätzprozesses erfolgende Reaktivgasverzehr für die optimale Reaktivgas-Mengeneinstellung eine wesentliche Rolle. Diese ist im wesentlichen von der Grösse der gleichzeitig geätzten Werkstückoberfläche abhängig.

Gemäss Tabelle ergab sich für eine Totaloberfläche von 0.15 m² eine optimale Stickstoffmenge von 50 scc. Für eine Totalfläche von 1 m² ergibt sich eine optimale Menge bei 250 scc.

Tabelle 4

	Parameter	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3	Versuch 4	Versuch 5	Versuch 6
5	Argondruck	0.12 Pa					
	Stickstoffpartialdruck	–	0.004 Pa	0.02 Pa	0.02 Pa	0.032 Pa	0.04 Pa
	Stickstofffluss: scc/min	–	1	5	5	8	10
10	Werkstückoberfläche	0.15 m ²					
	Bogenstrom	160 A					
	Werkstückvorspannung	–200 V					
	Werkstückstrom	1.5 A					
15	Werkstücktemperatur	400°C					
	Dauer: min	10	10	10	15	10	10
20	Resultat	Bildung eines schwarzen Saums unter der Titan-Nitridschicht		Perfekt haftende, saumfreie, glatte Schicht	Kein Saum, aber die Schicht ist rau und porös, pulvrig		
	Einsatzverhalten der beschichteten Werkzeuge	schlecht		ausgezeichnet	schlecht		

- 25 Wesentlich am Ätzen, welches durch negatives Spannen der Werkstücke gegenüber Plasmapotential ausgelöst wird ist, dass bereits bei Beginn des Ätzens mindestens ein minimaler Partialdruck des eingesetzten Reaktivgases eingestellt ist. Bevorzugterweise wird der erwähnte Partialdruck von beispielsweise 0.02 Pa für den in der Tabelle definierten Ätzprozess mit Stickstoff bereits kurz vor Einsetzen des Ätzens eingestellt, d.h. bevor die Werkstücke auf negatives Potential gelegt werden. Das Ätzverfahren kann sowohl als DC-, wie auch als AC-Verfahren durchgeführt werden oder als Mischform mit Hilfe eines gemischten AC- + DC-Plasmas. Gemäss Fig. 3 wurde ein DC-Plasma-Ätzen eingesetzt.

c) Hartstoffbeschichten, Resultat

- 35 Nach dem Ätzen wurden die Proben teilweise durch Ionenplattieren – Betrieb der Anlage nach Fig. 4 –, teilweise durch ionenunterstütztes Sputterbeschichten – Betrieb der Anlage nach Fig. 5 –, teilweise durch einen Hybridprozess – Betrieb der Anlage nach Fig. 6 – hartstoffbeschichtet. Nach dem Vorgehen gemäss den Fig. 4 und 5 wurden die Substrate mit einer 4,5 µm-dicken TiN-Schicht beschichtet.

- 40 Die so beschichteten Formwerkzeuge zeigen eine wesentliche Standzeiterhöhung, und zwar sowohl gegenüber unbehandelten Formwerkzeugen wie auch gegenüber unbeschichteten, nur vorbehandelten, wie auch gegenüber mit der 4,5 µm-starken Titan-Nitridschicht direkt beschichteten, nicht vorbehandelten Werkzeugen. Ebenso waren die erwähnten Standzeiten für Werkzeuge, geätzt nach den Versuchen 1, 2, 4 bis 6 gemäss der Tabelle, wesentlich geringer als die Standzeiten der nach Versuch 3 geätzten Werkzeuge.

- 45 Weitere Versuche mit anderen Stählen und anderen Nitrierverfahren ergaben, dass die Abscheidung einer gut haftenden Hartstoffschicht mit guter Struktur immer dann erreicht wird, wenn die thermochemischen Bedingungen während der Ätzphase der Bildung einer verarmungsschichtfreien Diffusionsschicht für die betrachtete Stahlsorte entspricht. Das Erzielen einer verarmungsschichtfreien Diffusionsschicht wird erfindungsgemäss, wie erwähnt wurde, durch die entsprechende Auslegung der thermochemischen Bedingungen während der Ätzphase erzielt, dabei insbesondere durch gezielte Einstellung der während der Ätzprozessdauer zugeführten Reaktivgasmenge.

- 50 Auch für andere Oberflächenvergütungen als Nitrieren, nämlich z.B. Borieren, Karburieren oder Nitrokarburieren, Karbonitrieren, Oxinitrieren, Oxikarbonitrieren, Oxinitrokarburieren, wurde erkannt, dass die erfindungsgemäss genutzte Gesetzmässigkeit Gültigkeit hat. In weiteren Versuchen wurden anschliessend an das erwähnte Ätzen auch – mit Betrieb der Anlage z.B. gemäss Fig. 6 – andere Hartstoffschichten, wie Chrom und Molybdän-Disulfidschichten, auf den vornitrierten Stahl aufgebracht. Auch hier wurde ein verbessertes Standzeitverhalten erzielt.

60 Patentansprüche

1. Verfahren zur Erhöhung der Verschleissfestigkeit von Werkstückoberflächen, bei dem auf eine durch Vorbehandlung der Werkstückoberfläche erzeugte Vergütungsschicht eine Hartstoffschicht aufgebracht wird, dadurch gekennzeichnet, dass die Oberfläche der Vergütungsschicht einem Vakuum-Plas-

ma-Ätzprozess unterzogen wird, der so ausgeführt wird, dass nach der Hartstoffbeschichtung die Vergütungsschicht eine vorgegebene Nichtmetallkonzentration aufweist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Ätzprozess so ausgeführt wird, dass die Vergütungsschicht nach der Hartstoffbeschichtung eine vorgegebene Konzentration mindestens eines der Elemente C, N, B, O, S, Si aufweist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Plasma-Ätzprozess in einer reaktiven Gasatmosphäre erfolgt, dabei vorzugsweise mit einem Reaktivgas, das das Nichtmetall enthält, welches mit dem Werkstückgrundwerkstoff zusammen die Vergütungsschicht bildet.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Vergütungsschicht durch ein thermochemisches oder Vakuum-Plasmaverfahren erzeugt ist.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens zwei der drei Schritte Vergüten, Ätzen, Hartstoffbeschichten in situ vorgenommen werden.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Hartstoff-Beschichtungsprozess mittels eines reaktiven plasmaunterstützten Verfahrens realisiert wird, z.B. mittels PVD.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Erzeugung der Vergütungsschicht Borieren, Karburieren, Nitrokarburieren, Karbonitrieren, Oxinitrieren, Oxikarbonitrieren, Oxinitrokarburieren, vorzugsweise Nitrieren, umfasst.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass als Hartstoffschicht ein Borid, Nitrid, Karbonid, Karbonitrid, Nitrokarbid, Oxinitrid, Oxikarbonitrid, Oxinitrokarbid, vorzugsweise ein Metall der Gruppe IVb oder einer Legierung mit mindestens einem dieser Metalle aufgebracht wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Ätzprozess so ausgeführt wird, dass die Nichtmetallkonzentration der Vergütungsschicht an deren Oberfläche nach Aufbringen der Hartstoffschicht mindestens im wesentlichen unverändert bleibt.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Menge des während der Ätz-Prozessdauer verbrauchten Reaktivgases als Optimierungsvariable für die Qualität der nachmals aufgetragenen Hartstoffschicht eingesetzt wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Ätzprozess erst dann begonnen wird, wenn ein vorgegebener Reaktivgas-Partialdruck erreicht ist und vorzugsweise eine vorgegebene Werkstücktemperatur nicht überschritten ist.

12. Anwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 11 für formende Werkzeuge oder zerspanende Werkzeuge.

13. Anwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 11 für Stahlwerkstücke.

14. Werkstück, dadurch gekennzeichnet, dass es nach dem Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1–11 hergestellt ist.

15. Werkstück nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass sein Grundwerkstoff Stahl ist.

16. Werkstück nach einem der Ansprüche 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, dass es ein formendes oder zerspanendes Werkzeug ist.

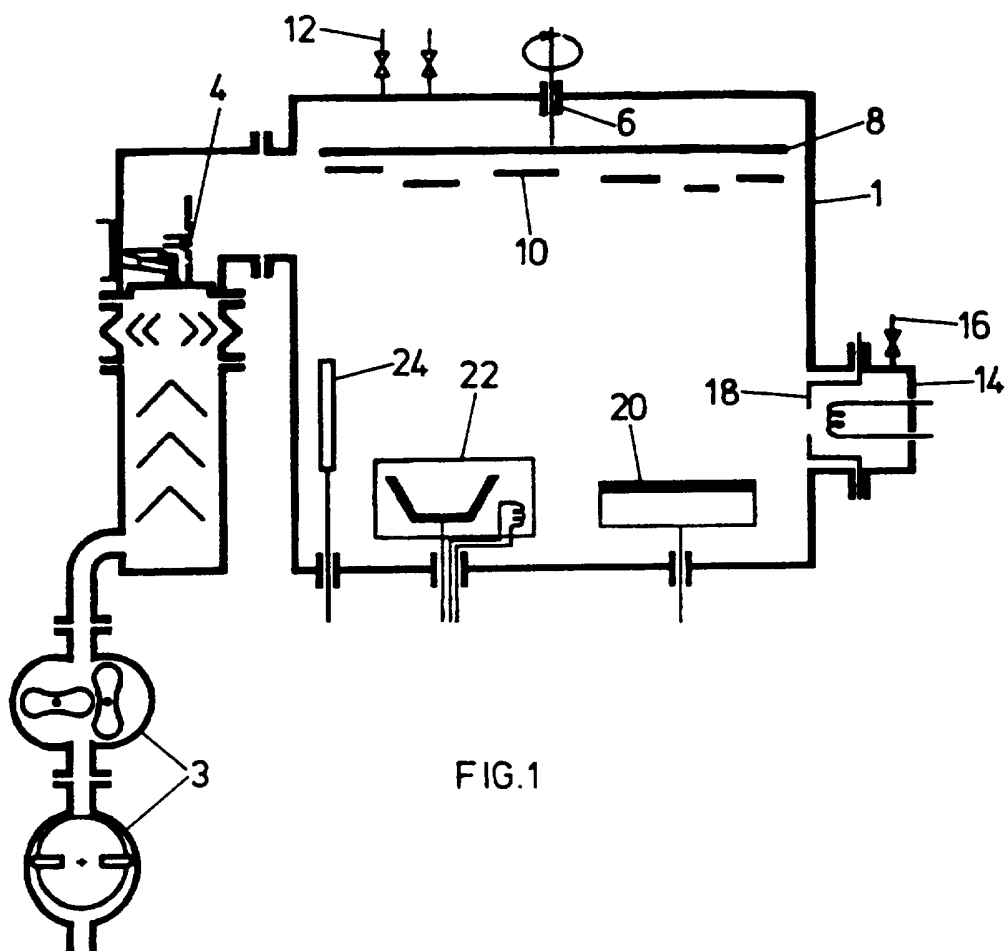


FIG. 1

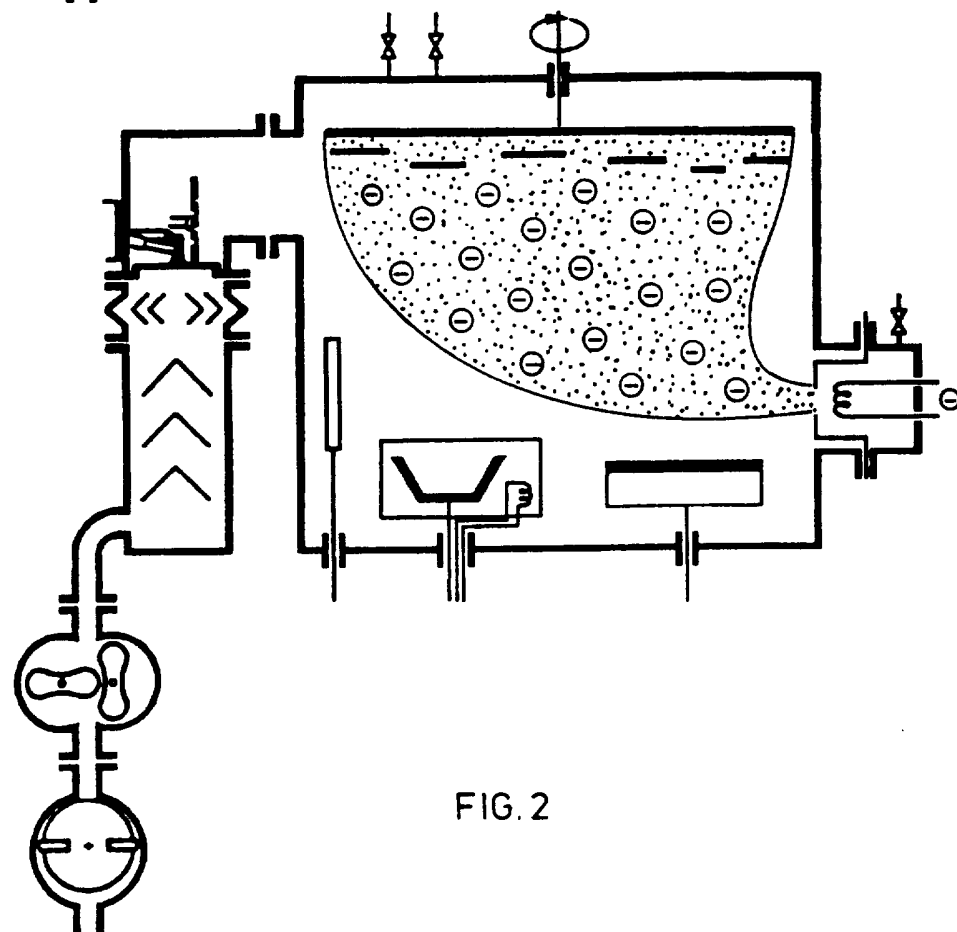


FIG. 2

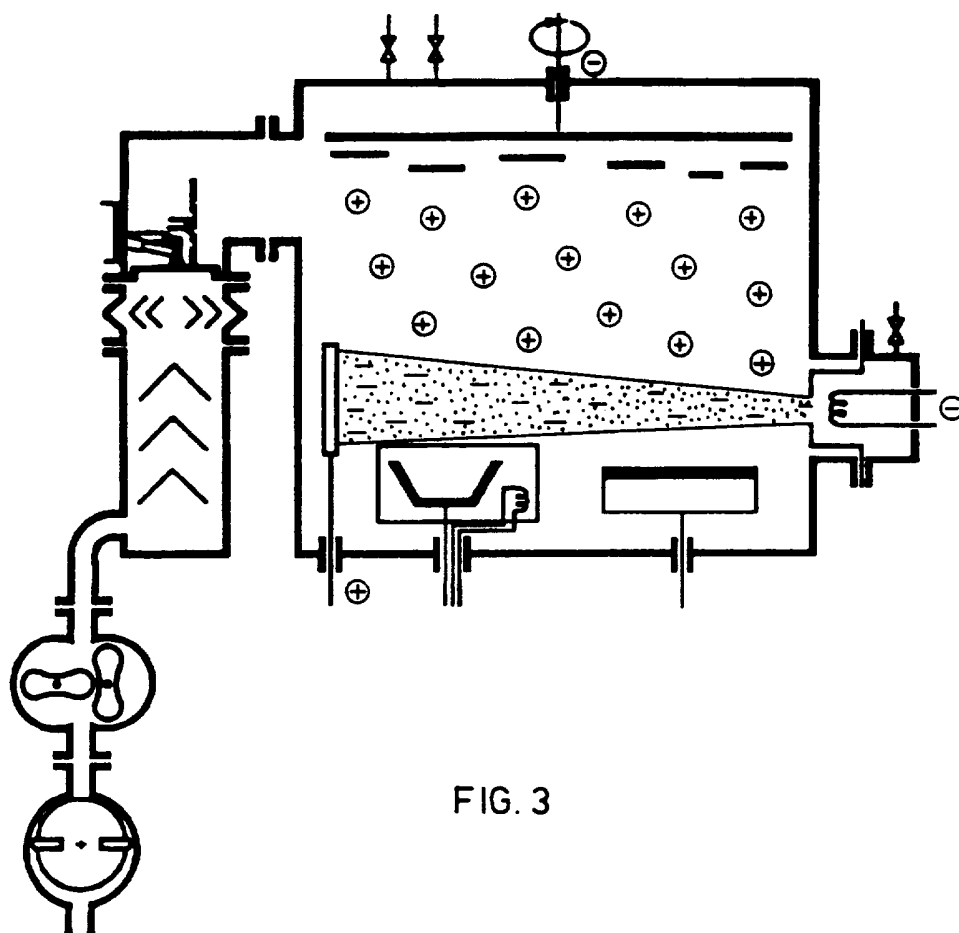


FIG. 3

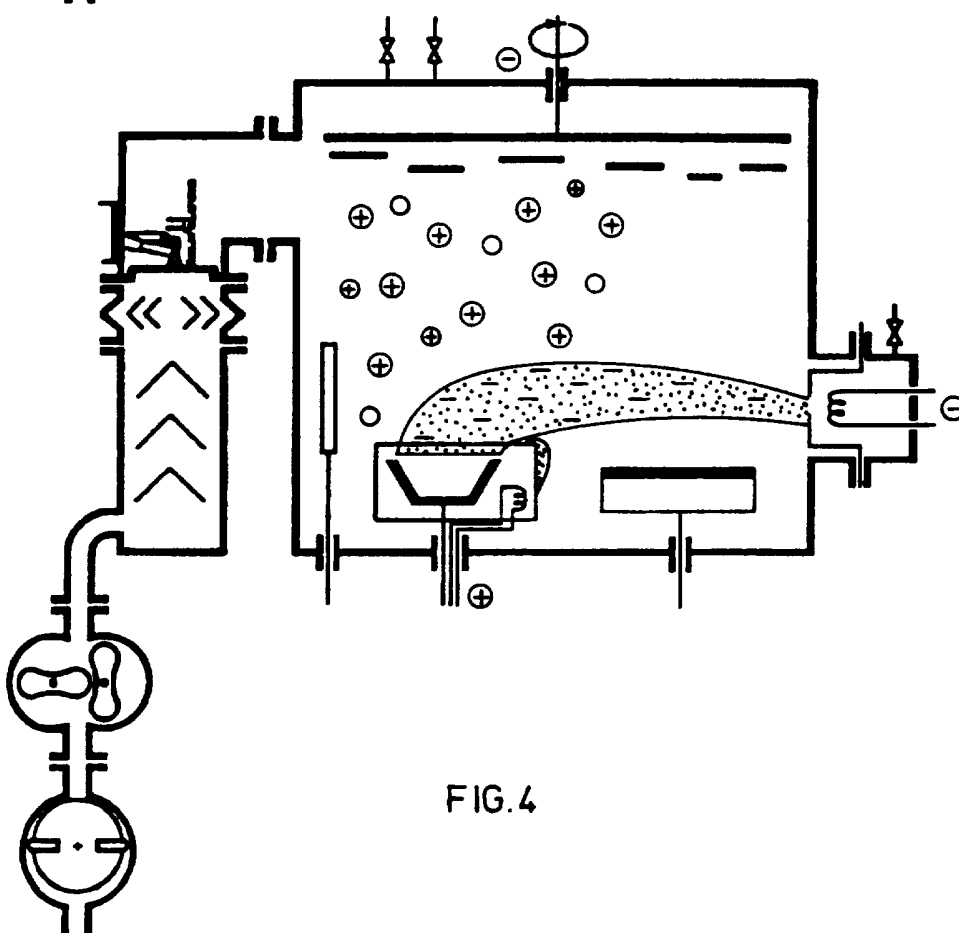


FIG. 4

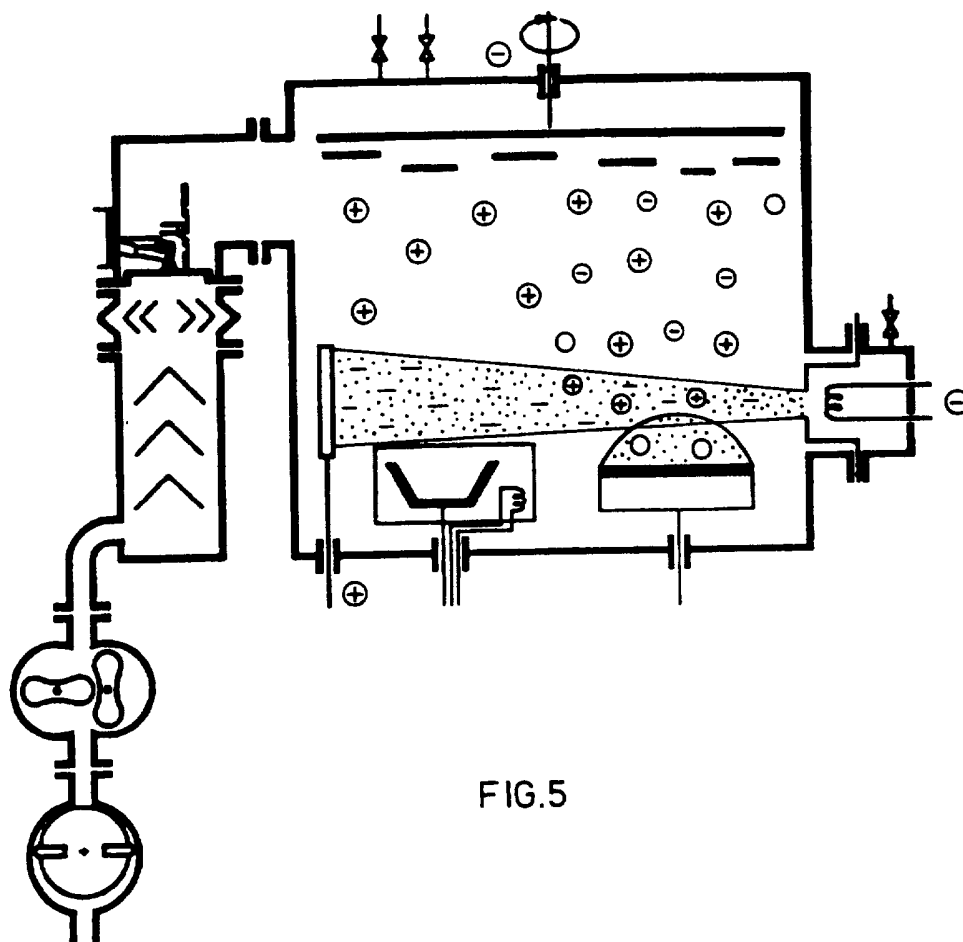


FIG.5

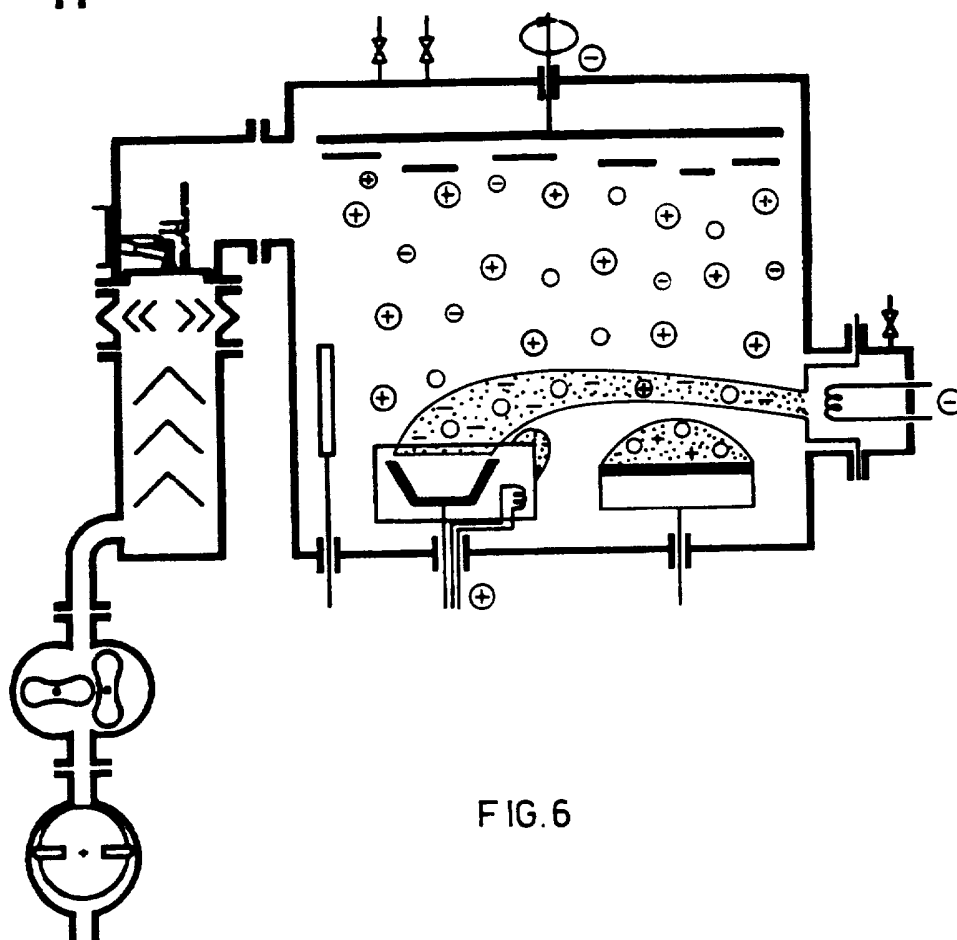


FIG.6