



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑪ CH 691 892 A5

⑤① Int. Cl. 7: B 24 B 053/00
B 24 B 049/00
B 24 B 051/00

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ PATENTSCHRIFT A5

②① Gesuchsnummer: 02009/96

②② Anmeldungsdatum: 15.08.1996

③⑩ Priorität: 18.08.1995 JP 7/210638

②④ Patent erteilt: 30.11.2001

④⑤ Patentschrift veröffentlicht: 30.11.2001

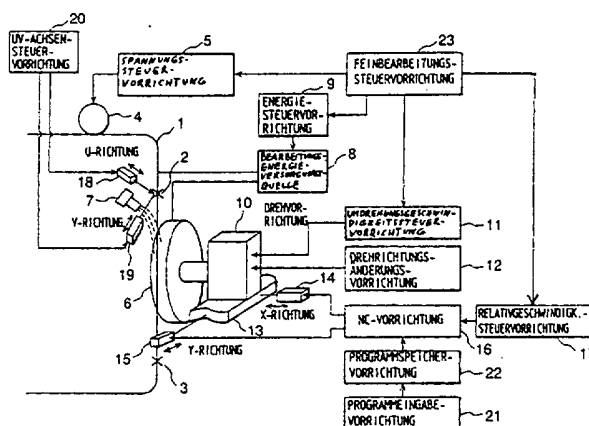
⑦③ Inhaber:
Mitsubishi Denki Kabushiki Kaisha,
2-3, Marunouchi 2-chome, Chiyoda-ku/Tokyo (JP)

⑦② Erfinder:
Yoshiro Nakayama,
2-3, Marunouchi 2 chome,
Chiyoda-ku, 100 Tokyo (JP)
Asuda Osamu,
c/o Mitsubishi Denki Kabushiki Kaisha 2-3,
Marunouchi 2-chome, Chiyoda-ku, Tokyo 100 (JP)
Kouzo Nomura,
c/o Mitsubishi Denki Kabushiki Kaisha 2-3,
Marunouchi 2-chome, Chiyoda-ku, Tokyo 100 (CH)

⑦④ Vertreter:
E. Blum & Co., Patentanwälte, Am Vorderberg 11,
8044 Zürich (CH)

⑤④ Verfahren und Vorrichtung zur Ausformung von Schleifscheiben.

⑤⑦ Eine Schleifscheibenformgebungsvorrichtung zur Ausformung einer Schleifscheibe (6) mit metallischer Bindung weist eine Umdrehungsgeschwindigkeitssteuervorrichtung (11) zum Steuern der Umdrehungsgeschwindigkeit einer Schleifscheibe (6) auf; eine Energiesteuervorrichtung (9) zum Steuern der Entladungsenergie, die dem Spalt zwischen einer Drahtelektrode (1) und der Schleifscheibe (6) zugeführt wird; eine Relativgeschwindigkeitssteuervorrichtung (17) zum Steuern einer Relativbewegungsgeschwindigkeit entweder für die Drahtelektrode (1) oder für die Schleifscheibe (6); und eine Feinbearbeitungssteuervorrichtung (23) zum Steuern der Umdrehungsgeschwindigkeitssteuervorrichtung (11), der Energiesteuervorrichtung (9) und der Relativgeschwindigkeitssteuervorrichtung (17), zum Einstellen der Umdrehungsgeschwindigkeit der Schleifscheibe (6) und der Entladungsenergie auf für die Feinbearbeitung geeignete Werte, und zum Einstellen der Relativbewegungsgeschwindigkeit für die Drahtelektrode (1) oder für die Schleifscheibe (6) auf solche Weise, dass eine Formgebung mit hoher Geschwindigkeit während der Feinbearbeitung ermöglicht wird.



Beschreibung

Die Erfindung betrifft die Schleifscheibenherstellung, insbesondere eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Ausformung einer Schleifscheibe durch Erzeugung einer elektrischen Entladung über ein Bearbeitungsfluid an einem Spalt zwischen einer Drahtelektrode und der Schleifscheibe.

Schleifscheiben werden durch Vorrichtungen ausgeformt, welche Abschnitte des Schleifscheibenmaterials entfernen, um eine gewünschte Form zu erzeugen. Schleifscheiben werden üblicherweise als Bearbeitungswerkzeuge in der Materialbearbeitungsindustrie verwendet. Die Erzeugung der Formgebung von Schleifscheiben erfordert häufig einen lang andauernden, komplizierten, arbeitsintensiven und insgesamt effizienten Vorgang. Aus diesem Grund besteht ein Bedürfnis nach einer wirksameren Vorrichtung und nach einem wirksameren Verfahren zur exakteren Ausformung von Schleifscheiben. Packalni (US-Patent Nr. 5 194 126) beschreibt ein konventionelles Verfahren und eine konventionelle Vorrichtung zum Abrichten von Schleifscheiben, die ein elektrisch leitfähiges Bindemittel aufweisen, und repräsentiert jenen Stand der Technik, der sowohl in Bezug auf den Zeitaufwand als auch den Energieaufwand ineffizient ist, und welcher keine hohe Genauigkeit bei der Formgebung von Schleifscheiben erzielt.

Fig. 27 zeigt schematisch eine konventionelle Metallbindungsschleifscheibenformgebungsvorrichtung, welche aufweist: eine Schleifscheibe 6 mit einer Metallbindung; eine an der Schleifscheibe 6 mit Metallbindung befestigte, drehbare Welle 38; eine Drehvorrichtung 10 zum Drehen der Schleifscheibe 6 mit der metallischen Bindung über die Welle 38; eine Drehgeschwindigkeitssteuervorrichtung 11 zum Steuern oder Regeln der Drehgeschwindigkeit der Schleifscheibe 6 mit der metallischen Bindung, hervorgerufen von der Drehvorrichtung 10; eine Formgebungselektrode 46 zur Formbearbeitung der Schleifscheibe 6 mit metallischer Bindung; einen an der Formgebungselektrode 46 befestigten Schaft 47; eine Elektrodenbefestigungsvorrichtung zur Befestigung der Formgebungselektrode 46 durch Einführen des Schaftes 47 in die Formgebungselektrode 46; eine Antriebsvorrichtung 49 zum Antreiben der Formgebungselektrode 46 in Richtung auf die Schleifscheibe 6 mit Metallbindung; eine NC-Steuervorrichtung 16 zum Steuern der Antriebsvorrichtung 49 auf solche Weise, dass die Formgebungselektrode 46 und die Schleifscheibe 6 mit metallischer Bindung in Bezug zueinander bewegt werden; eine Bearbeitungsstromversorgungsquelle 8 zum Anlegen einer Impulsspannung an einen Spalt zwischen der Formgebungselektrode 46 und der Schleifscheibe 6 mit Metallbindung; eine Energiesteuer- oder Regelvorrichtung 9 zum Steuern der Entladungsenergie der Versorgungsquelle 8; eine Spannungserfassungsvorrichtung 50 zur Erfassung der Spannung zwischen der Formgebungselektrode 46 und der Schleifscheibe 6 mit metallischer Bindung; eine Spalteinstellvorrichtung 51 zur Einstellung eines Spaltes in Reaktion auf die Spannung, die von der Spannungserfassungsvorrichtung 50 erfasst wird;

und einen Bearbeitungsbehälter 52, in welchen die Formgebungselektrode 46 und die Schleifscheibe 6 mit Metallbindung eingebracht werden, und in welchem ein Bearbeitungsfluid gehalten wird.

Fig. 28 ist eine Querschnittsansicht einer konventionellen Anordnung zur Formgebung bei der Schleifscheibe 6 mit Metallbindung durch Erzeugung einer elektrischen Entladung an einem Spalt zwischen der Schleifscheibe 6 mit Metallbindung und der Elektrode 46. Der gepunktete, mit dem Bezugszeichen 46d bezeichnete Bereich stellt Schlamm dar, der als Abfallmaterial während des Entladungsvorgangs erzeugt wird, und der gepunktete Bereich bezeichnet einen Genauigkeitsausfallabschnitt 6d. Unter Bezugnahme auf die Fig. 27 und 28 wird nachstehend der Betriebsablauf bei einem konventionellen Schleifscheibenausformungsvorgang beschrieben.

In Fig. 27 ist die Scheibe 6 mit Metallbindung an der Welle 38 befestigt. Wenn die Welle 38 durch die Drehvorrichtung 10 gedreht wird, dreht sich die Scheibe 6 mit Metallbindung. Die Drehrichtung ist konstant, und die Umdrehungsgeschwindigkeit wird durch die Umdrehungsgeschwindigkeitssteuervorrichtung 11 gesteuert.

Die Formgebungselektrode 46 ist an dem Schaft 47 befestigt; dann wird die Formgebungselektrode 46 an der Elektrodenbefestigungsvorrichtung 48 über den Schaft 47 befestigt. Die Formgebungselektrode 46 wird in Richtung auf die Scheibe 6 mit Metallbindung durch die Antriebsvorrichtung 49 getrieben, welche von der NC-Vorrichtung 16 gesteuert wird.

Die Formgebungselektrode 46 und die Scheibe 6 mit Metallbindung werden in die Bearbeitungsflüssigkeit in dem Bearbeitungsbehälter 52 eingetaucht. Eine impulsförmige Spannung wird an die Formgebungselektrode 46 und die Scheibe 6 mit Metallbindung angelegt, durch die Bearbeitungsenergieversorgung 8; die Formgebungselektrode 46 wird durch die Antriebsvorrichtung 49 so weit bewegt, bis sie sich nahe an der Scheibe 6 mit Metallbindung befindet. Diese Bewegung wird durch die NC-Vorrichtung 16 gesteuert, sodass eine für die Formgebung eingesetzte elektrische Entladung erzeugt wird. Die einzelnen Schalten der Energieversorgungsquelle 8 werden durch die Energiesteuervorrichtung 9 gesteuert, und werden dazu verwendet, die Entladungsenergie für einen gewünschten Zustand einzustellen. Die Spannungserfassungsvorrichtung 50 erfasst den Entladungszustand an dem Spalt zwischen der Formgebungselektrode 46 und der Scheibe 6 mit Metallbindung. Die Spaltsteuervorrichtung 51 steuert die NC-Vorrichtung 16 so, dass ein konstanter Spalt zwischen der Formgebungselektrode 46 und der Scheibe 6 mit Metallbindung aufrechterhalten wird. Auf diese Weise wird ein konstanter Entladungszustand aufrechterhalten.

Da das konventionelle Formgebungsverfahren eine elektrische Entladung dazu verwendet, die Form der Formgebungselektrode 46 auf die Scheibe 6 mit Metallbindung zu übertragen, beeinflusst die Genauigkeit, mit welcher der Vorgang durchgeführt wird, bei welchem die Formgebungselektrode 46 eingesetzt wird, die Genauigkeit der Formge-

bung der Scheibe 6 mit Metallbindung; darüber hinaus erfordert die Herstellung unterschiedlicher Scheiben 6 mit Metallbindung unterschiedlich geformte Formgebungselektroden 46. Um dieselbe Form herzustellen, ist eine neue Formgebungselektrode 46 erforderlich, da die Formgebungselektrode 46 verschlissen ist, nachdem sie mehrfach benutzt wurde. Darüber hinaus neigt, wie in Fig. 28 gezeigt ist, der Entladungsabfallmaterialschlamm 46d dazu, sich an der Rückwand der Formgebungselektrode 46 anzusammeln. Diese Ansammlung an Entladungsabfall führt zu einem Genauigkeitsfehler 6d infolge der Tatsache, dass Sekundärelektrodenentladungen erzeugt werden.

Die vorliegende Erfindung wurde daher zur Lösung der voranstehend geschilderten Schwierigkeiten entwickelt, und ihr Ziel besteht in der Bereitstellung einer Vorrichtung und eines Verfahrens zur Ausformung einer Schleifscheibe, bei welchen eine verringerte Bearbeitungszeit und eine erhöhte Formgebungsgenauigkeit erzielt werden. Dies wird dadurch erzielt, dass bei der konventionellen Schleifscheibenformgebungsvorrichtung zahlreiche Verbesserungen vorgenommen werden. Im Einzelnen werden die Verbesserung der Formgebungsgenauigkeit und die Verringerung der erforderlichen Formgebungszeit durch folgende Massnahmen erzielt: (1) getrenntes Durchführen der Grob- und Feinbearbeitung bei hohen Geschwindigkeiten; (2) Erhöhung der Bewegungsgeschwindigkeit zwischen Abschnitten, die eine Feinbearbeitung erfordern; (3) Aufrechterhalten der Entladungskonzentration und der Drahtelektroden-schwingungen auf niedrigen Pegeln während der Bearbeitung des entfernten Endes; (4) Bereitstellung einer gekrümmten Ortskurve für die Relativbewegungen der Drahtelektrode vor dem Formgebungsstartpunkt und unmittelbar vor dem Endpunkt, wodurch Fressspuren ausgeschaltet werden; (5) Bewegung der Drahtelektrode in derselben Richtung wie der Drehrichtung der Schleifscheibe, um ein Einschneiden der Drahtelektrode zu verhindern; (6) Neigung der Drahtelektrode zur Erzeugung breiter Nuten; (7) Verringerung der Änderungen der Abmessungen des Arbeitsspalts für die Entladung; (8) Erfassung der Drahtelektrodenauslenkung und Korrektur der Drahtelektrodenbewegungsortskurve für Bearbeitungsformänderungen infolge einer Drahtelektrodenauslenkung; (9) Steuern oder Regeln der Schleifscheibendrehung in Reaktion auf eine Änderung des Drahtelektroden-durchmessers; (10) Änderung des Drahtelektroden-durchmessers, sodass dieser zur Art des Bearbeitungsschrittes passt (beispielsweise Grobbearbeitung, die senkrecht oder parallel zur Schleifscheibe durchgeführt wird, Feinbearbeitung eines geneigten oder bogenförmigen Abschnitts); (11) Einstellung der Schleifscheibendrehgeschwindigkeit entsprechend der Verwendung unterschiedlicher Drahtelektroden-durchmesser; (12) Bestimmung des Drahtelektroden-durchmessers durch Erfassung der Drahtelektroden-spannung und der Schleifscheibenumdrehungs-geschwindigkeit; (13) Einrichtung eines Nachricht-vorgangs für verschlissene Schleifscheiben, bei welchem die ursprüngliche Formgebungsortskurve berücksichtigt wird, die zur Ausformung der Schleif-

scheibe eingesetzt wurde; (14) Einrichtung eines Nachrichtvorgangs für verschlissene Schleifscheiben, der Betriebsbedingungen wie die erforderliche Schleifzeit, das Schleifscheibenmaterial und spezielle Schleifvorgangsereignisse einsetzen kann, die während des Formgebungsablaufs erforderlich sind, das für die Schleifscheibe spezifisch ist, die nachgerichtet wird; (15) Ausschalten des Erfordernisses, die Schleifscheibe vor dem Formgebungsvorgang zu drehen, durch Korrektur der Positionen entlang der Drehwelle, um die Abweichung zwischen der Wellentemperatur und der Zimmertemperatur zu kompensieren; (16) Einsetzen und Speichern von Formgebungsparametern, beispielsweise der Entladungsenergie, der Drahtspannung, der Scheibenumdrehungsgeschwindigkeit, der Bezugsgeschwindigkeit und der Bezugsspannung.

Eine Schleifscheibenformgebungsvorrichtung gemäss der vorliegenden Erfindung weist eine Umdrehungsgeschwindigkeitssteuervorrichtung zum Steuern der Drehgeschwindigkeit der Schleifscheibe auf; eine Energiesteuervorrichtung zum Steuern der Entladungsenergie, die dem Spalt zwischen der Drahtelektrode und der Schleifscheibe zugeführt wird; eine Relativgeschwindigkeitssteuervorrichtung zum Steuern einer Bewegungsgeschwindigkeit, entweder der Drahtelektrode oder der Schleifscheibe; und eine Feinbearbeitungssteuervorrichtung zum Steuern der Umdrehungsgeschwindigkeitssteuervorrichtung, der Energiesteuervorrichtung und der Relativgeschwindigkeitssteuervorrichtung. Diese Feinbearbeitungssteuervorrichtung stellt die Umdrehungsgeschwindigkeit der Schleifscheibe und die Entladungsenergie so ein, dass sie für die Feinbearbeitung geeignet sind. Weiterhin stellt die Feinbearbeitungssteuervorrichtung die Bewegungsgeschwindigkeit für die Drahtelektrode oder für die Schleifscheibe so ein, dass eine Formgebung mit hoher Geschwindigkeit während der Feinbearbeitung ermöglicht wird.

Ein Schleifscheibenformgebungsverfahren gemäss der vorliegenden Erfindung umfasst die Drehung einer Schleifscheibe über eine Drehvorrichtung, das Steuern der Umdrehungsgeschwindigkeit der sich drehenden Schleifscheibe unter Verwendung einer Umdrehungsgeschwindigkeitssteuervorrichtung, das Steuern der Relativbewegungsgeschwindigkeit zwischen einer Drahtelektrode und der Schleifscheibe unter Verwendung einer Relativgeschwindigkeitssteuervorrichtung, das Bewegen der Drahtelektrode über die sich drehende Schleifscheibe, während sich die Drahtelektrode und die sich drehende Schleifscheibe relativ zueinander bewegen, und die Erzeugung einer Entladung über ein Arbeitsfluid an einem Spalt zwischen der Drahtelektrode und der Schleifscheibe, um der Schleifscheibe eine bestimmte Form zu geben.

Die Erfindung wird nachstehend anhand zeichnerisch dargestellter Ausführungsbeispiele näher erläutert, aus welchen weitere Vorteile und Merkmale hervorgehen. Fachleuten auf diesem Gebiet werden weitere, verschiedene Änderungen und Modifikationen der hier vorgestellten Ausführungsbeispiele innerhalb des Wesens und Umfangs der vorliegenden Erfindung auffallen. Es zeigt:

Fig. 1 eine schematische Darstellung der Anordnung einer Schleifscheibenformgebungs Vorrichtung gemäss einer Ausführungsform 1 der Erfindung;

Fig. 2 eine Darstellung der Grobbearbeitung und der Feinbearbeitung bei einem Schleifscheibenformgebungsverfahren gemäss Ausführungsform 1 der Erfindung;

Fig. 3 eine schematische Darstellung der Feinbearbeitung, die mehrfach durchgeführt wird, bei dem Schleifscheibenformgebungsverfahren gemäss Ausführungsform 1 der Erfindung;

Fig. 4 eine schematische Darstellung der Formgebungsbedingungen für die Feinbearbeitung in Fig. 3;

Fig. 5A bis 5E eine schematische Darstellung eines Formgebungsverfahrens zur Unterteilung der Feinbearbeitung bei der Schleifscheibenformgebungs Vorrichtung gemäss Ausführungsform 1 der Erfindung;

Fig. 6A und 6B eine schematische Darstellung eines Verfahrens zur Erzeugung eines scharfen, entfernten Endes bei der Schleifscheibenformgebungs Vorrichtung gemäss Ausführungsform 1 der Erfindung;

Fig. 7A und 7B eine schematische Darstellung einer Bewegungsortskurve, die an einem Startpunkt und an einem Endpunkt gekrümmt ist, bei der Schleifscheibenformgebungs Vorrichtung bzw. dem Verfahren gemäss Ausführungsform 1 der Erfindung;

Fig. 8A und 8B eine schematische Darstellung der Beziehung zwischen der Scheibenumdrehungsgeschwindigkeit und der Bearbeitungsgeschwindigkeit für jede Umdrehungsrichtung der Schleifscheibenformgebungs Vorrichtung gemäss Ausführungsform 1 der Erfindung;

Fig. 9 eine schematische Darstellung eines Formgebungsverfahrens, bei welchem eine Drahtelektrode gegenüber der Schleifscheibenformgebungs Vorrichtung gemäss Ausführungsform 1 der Erfindung geneigt wird;

Fig. 10 eine schematische Darstellung der Anordnung einer Schleifscheibenformgebungs Vorrichtung gemäss Ausführungsform 2 der Erfindung;

Fig. 11A und 11B eine schematische Darstellung zur Erläuterung von Formgebungsbedingungen bei der Schleifscheibenformgebungs Vorrichtung gemäss Ausführungsform 2 der Erfindung;

Fig. 12 eine schematische Darstellung der Beziehungen zwischen der Tiefe von der Aussenseite der Schleifscheibe und der Spannung am Spalt zwischen der Drahtelektrode und der Scheibe mit metallischer Bindung und dem Strom im Spalt der Schleifscheibenformgebungs Vorrichtung gemäss Ausführungsform 2 der Erfindung;

Fig. 13 ein Flussdiagramm mit einer schematischen Darstellung eines Formgebungsverfahrens mit Erfassung der Spannung und des Stroms, die schematisch in Fig. 12 gezeigt sind, und zum Steuern der Geschwindigkeit der Schleifscheibenformgebungs Vorrichtung, gemäss Ausführungsform 2 der Erfindung;

Fig. 14A und 14B eine schematische Darstellung eines weiteren Beispiels für Formgebungsbedingungen bei der Schleifscheibenformgebungs Vorrichtung gemäss Ausführungsform 2 der Erfindung;

Fig. 15 ein Diagramm mit einer Darstellung der Beziehung zwischen der Tiefe und der Aussenseite der Schleifscheibe und der Auslenkung der Drahtelektrode bei der Schleifscheibenformgebungs Vorrichtung gemäss Ausführungsform 2 der Erfindung;

Fig. 16A und 16B schematische Darstellungen zur Erläuterung eines Formgebungsverfahrens zur Korrektur der Auslenkung der Drahtelektrode bei der Schleifscheibenformgebungs Vorrichtung gemäss Ausführungsform 2 der Erfindung;

Fig. 17 eine schematische Darstellung zur Erläuterung der Anordnung einer Schleifscheibenformgebungs Vorrichtung gemäss Ausführungsform 3 der Erfindung;

Fig. 18A und 18B eine schematische Darstellung der Beziehung zwischen der Scheibenumdrehungsgeschwindigkeit und dem Bearbeitungsgeschwindigkeitsverhältnis für jeden Durchmesser einer Drahtelektrode bei der Schleifscheibenformgebungs Vorrichtung gemäss Ausführungsform 3 der Erfindung;

Fig. 19A und 19B eine schematische Darstellung der Beziehung zwischen der Scheibenumdrehungsgeschwindigkeit und dem Bearbeitungs genauigkeitsverhältnis für jeden Durchmesser einer Drahtelektrode der Schleifscheibenformgebungs Vorrichtung gemäss Ausführungsform 3 der Erfindung;

Fig. 20A und 20B ein Formgebungsverfahren zur Änderung des Durchmessers einer Drahtelektrode bei der Schleifscheibenformgebungs Vorrichtung gemäss Ausführungsform 3 der Erfindung;

Fig. 21 eine schematische Darstellung zur Erläuterung der Anordnung einer Schleifscheibenformgebungs Vorrichtung gemäss Ausführungsform 4 der Erfindung;

Fig. 22A und 22B eine schematische Darstellung eines Formgebungsverfahrens für die Schleifscheibenformgebungs Vorrichtung gemäss Ausführungsform 4 der Erfindung;

Fig. 23 eine schematische Darstellung der Anordnung einer Schleifscheibenformgebungs Vorrichtung gemäss Ausführungsform 5 der Erfindung;

Fig. 24 eine schematische Darstellung der Positionsverschiebung infolge einer Änderung der Temperatur einer Achse der Schleifscheibenformgebungs Vorrichtung gemäss Ausführungsform 5 der Erfindung;

Fig. 25 eine schematische Darstellung zur Erläuterung der Anordnung einer Schleifscheibenformgebungs Vorrichtung gemäss Ausführungsform 6 der Erfindung;

Fig. 26 eine schematische Darstellung eines Bildschirms, welcher Formgebungsbedingungen für die Schleifscheibenformgebungs Vorrichtung gemäss Ausführungsform 6 der Erfindung anzeigt;

Fig. 27 eine schematische Darstellung zur Erläuterung der Anordnung einer konventionellen Schleifscheibenformgebungs Vorrichtung;

Fig. 28 eine schematische Darstellung zur Erläuterung eines konventionellen Schleifscheibenformgebungsverfahrens.

In sämtlichen Figuren werden die gleichen und im Wesentlichen gleiche Bauteile durch dieselben Bezugszeichen bezeichnet.

Ausführungsform 1

Fig. 1 ist eine schematische Darstellung zur Erläuterung der Anordnung einer Schleifscheibenformgebungsvorrichtung gemäss Ausführungsform 1 der Erfindung. Die in Fig. 1 gezeigte Schleifscheibenformgebungsvorrichtung weist eine Drahtelektrode 1 auf, die einen Draht darstellt, der als Elektrode eingesetzt wird, einen Abschnitt einer oberen Drahtführung 2, entlang derer die Drahtelektrode 1 geführt wird; den anderen Abschnitt einer unteren Drahtführung 3, entlang derer die Drahtelektrode 1 geführt wird, eine Spannungsversorgungsvorrichtung 4 zum Anlegen einer mechanischen Spannung an die Drahtelektrode 1; eine Spannungssteuervorrichtung 5 zum Steuern der mechanischen Spannung, die an die Drahtelektrode 1 angelegt werden soll; eine Scheibe 6 mit Metallbindung, beispielsweise eine Schleifscheibe; eine Arbeitsflüssigkeitszufuhrdüse 7, durch welche eine Arbeitsflüssigkeit einem Spalt zwischen der Drahtelektrode 1 und der Scheibe 6 mit Metallbindung zugeführt wird; eine Bearbeitungsenergieversorgungsquelle 8 zum Liefern einer gepulsten Spannung an den Spalt zwischen der Drahtelektrode 1 und der Scheibe 6 mit Metallbindung; eine Energiesteuervorrichtung 9 zur Änderung einer Spannung, einer Impulsbreite und einer Anhaltedauer bei der Bearbeitungsenergieversorgungsquelle, wodurch die Energiezufuhr gesteuert wird; eine Drehvorrichtung 10 zum Drehen der Scheibe 6 mit Metallbindung; eine Umdrehungsgeschwindigkeitssteuervorrichtung 11 zum Steuern der Umdrehungsgeschwindigkeit der Drehvorrichtung 10; eine Drehrichtungsänderungsvorrichtung 12 zur Änderung der Richtung, in welcher sich die Scheibe 6 mit Metallbindung dreht; einen Tisch 13, an welchem die Drehvorrichtung 10 befestigt ist; einen X-Achsenmotor 14 zur Bewegung des Tisches 13 in der X-Achsenrichtung; einen Y-Achsenmotor 15 zur Bewegung des Tisches 13 in der Y-Achsenrichtung; eine NC-Vorrichtung 16 (Vorrichtung zur numerischen Steuerung) zum Steuern der Werte für den X-Achsenmotor 14 und den Y-Achsenmotor 15 auf solche Weise, dass der Tisch 13 frei wählbar bewegt werden kann; eine Relativgeschwindigkeitssteuervorrichtung 17 zum Steuern der Geschwindigkeit, mit welcher sich der Tisch bewegt; einen U-Achsenmotor 18 zur Bewegung der Drahtführung 2 in der U-Richtung, um die Drahtelektrode 1 zu neigen; einen V-Achsenmotor 19 zur Bewegung der Drahtführung 2 in der V-Richtung, um so die Drahtelektrode 1 zu neigen; eine UV-Achsensteuervorrichtung 20 zum Steuern des U-Achsenmotors 18 und des V-Achsenmotors 19; eine Programmeingabevorrichtung 21 zur Eingabe eines Programms zur frei wählbaren Bewegung der Drahtelektrode und der Scheibe 6 mit Metallbindung in Bezug aufeinander; eine Programmspeichervorrichtung 22 zum Speichern eines Programms, welches durch die Programmeingabevorrichtung 21 eingegeben wird; und eine Feinbearbeitungssteuervorrichtung 23 zum Steuern der Energiesteuervorrichtung 9, der Spannungssteuervorrichtung 5, der Umdrehungsgeschwindigkeitssteuervorrichtung 11 und der Relativgeschwindigkeitssteuervorrichtung 17, um eine Feinbearbeitung durchzuführen.

Bevor die Bearbeitung erläutert wird, erfolgt eine ungefähre Beschreibung der Figuren, die sich auf die Ausführungsform 1 der Erfindung beziehen.

Fig. 2 ist eine Querschnittsansicht eines Bearbeitungsbeispiels bei einer Schleifscheibenformgebungsvorrichtung gemäss Ausführungsform 1 der Erfindung. Beide geben die Bewegungsortskurven während der Grobbearbeitung und der Feinbearbeitung an (also der Bearbeitung, die mit hoher Genauigkeit durchgeführt wird), und gepunktete Abschnitte bezeichnen jene Bereiche, die durch die Feinbearbeitung entfernt werden sollen.

Der Querschnitt in Fig. 2 zeigt die Grobbearbeitung W1, während derer die Drahtelektrode 1 parallel und vertikal in Bezug zur sich drehenden Scheibe 6 mit Metallbindung bewegt wird, sowie die Feinbearbeitung Wn, während derer ein geneigter Abschnitt und ein bogenförmiger Abschnitt ausgebildet werden. Die gepunkteten Abschnitte bezeichnen jene Bereiche, die während der Feinbearbeitung Wn bearbeitet werden sollen. Die Pfeile geben die Bewegungsrichtung für die einzelnen Bearbeitungsvorgänge an.

In der Querschnittsansicht in Fig. 3 wird, während die Entladungsenergie allmählich in dem ersten Feinbearbeitungsschritt Wn1 und dem zweiten Feinbearbeitungsschritt Wn2 verringert wird, die Geschwindigkeit, mit welcher die Drahtelektrode 1 und die Scheibe 6 mit Metallbindung in Bezug aufeinander bewegt werden, allmählich an frei wählbaren Orten oder Ortskurven verringert. Während des dritten Feinbearbeitungsschrittes Wn3 wird die Scheibe 6 mit Metallbindung in eine gewünschte Form gebracht. Pfeile geben Bewegungsrichtungen MD für die einzelnen Bearbeitungsschritte an. Fig. 4 ist eine Tabelle, welche die Entladungsenergie und die Bewegungsgeschwindigkeiten bei den einzelnen Feinbearbeitungsschritten Wn1 bis Wn3 zeigt. Spannungen, Stromspitzenwerte, Einschaltzeitwerte und Haltewerte stellen Werte dar, die durch die Energiesteuervorrichtung 9 eingestellt werden, durch die Betätigung verschiedener Schalter, die bei der Bearbeitungsenergieversorgungsquelle 8 in Fig. 1 vorgesehen sind, um eine gewünschte Entladungsenergie zu erhalten.

Fig. 5 ist eine Querschnittsansicht verschiedener Abschnitte, die während der Feinbearbeitung endbearbeitet werden sollen, und durch Feinbearbeitung getrennt und in die gewünschte Form gebracht werden. Pfeile geben die Richtungen der Bewegung bei den einzelnen Formgebungsvorgängen an, und die durch gestrichelte Linien angedeuteten Formen stellen den Ort der Pfeile dar.

Fig. 6 ist eine Querschnittsansicht der Relativbewegungen der Ortskurven für die Drahtelektrode 1 und die Scheibe 6 mit Metallbindung, um ein relativ scharfes, entferntes Ende während der Feinbearbeitung in Form zu bringen; hierbei zeigt Fig. 6(A) ein Beispiel, bei welchem beide Seiten von der Rückwand zum entfernten Ende bewegt werden, und Fig. 6(B) zeigt ein Beispiel, bei welchem beide Seiten von dem entfernten Ende zur Rückwand bewegt werden. Pfeile geben die Bewegungsrichtungen während der einzelnen Formgebungsschritte an, und die durch gestrichelte Linien angedeuteten Formen stellen die Ortskurven dar.

Fig. 7 ist eine Querschnittsansicht zur Erläuterung des Verhinderns einer Einfressung, welche einen Bearbeitungsfehler darstellt. Fig. 7 zeigt die Relativbewegung der Ortskurven für die Scheibe 6 mit Metallbindung und der Drahtelektrode 1. Fig. 7(A) zeigt eine Ortskurve, die Bögen an einem Startpunkt und einem Endpunkt erzeugt; Fig. 7(B) zeigt eine beispielhafte Ortskurve, welche eine gerade Linie an einem Startpunkt und einem Endpunkt ausbildet. Pfeile geben die Bewegungsrichtungen während der einzelnen Formgebungsvorgänge an, und die durch gestrichelte Linien dargestellten Formen bezeichnen die Ortskurven.

Fig. 8(A) zeigt die Beziehung zwischen der Scheibenumdrehungsgeschwindigkeit und dem Bearbeitungsgeschwindigkeitsverhältnis, für jede Drehrichtung, die erhalten wird, wenn gemäss Fig. 8(B) eine elektrische Entladung für die Formgebung an dem Spalt zwischen der sich drehenden Scheibe 6 mit Metallbindung und der Drahtelektrode 1 erzeugt wird, während die Scheibe 6 mit Metallbindung, die sich zusammen mit der Welle 38 dreht, und die Drahtelektrode in Bezug aufeinander bewegt werden. In dem Diagramm von Fig. 8(A) stellt die durchgezogene Linie einen Fall dar, in welchem die Scheibe in der Richtung Sd gedreht wird, also derselben Richtung, in welcher die Drahtelektrode 1 bewegt wird, und eine gestrichelte Linie bezeichnet einen Fall, in welchem die Scheibe in der Richtung Rd gedreht wird, also entgegengesetzt zur Bewegungsrichtung der Drahtelektrode 1. Der schraffierte Abschnitt in der Figur zeigt den sich ergebenden Zustand, also einen Bereich, in welchem die Formgebung beendet wurde; der Formgebungsvorgang wird durch eine Relativbewegung in der Richtung Md durchgeführt, die durch den Pfeil angezeigt ist. Das Bearbeitungsgeschwindigkeitsverhältnis ist ein Geschwindigkeitsverhältnis der einzelnen Parameter, wenn die Maximalgeschwindigkeit gleich 1,0 ist.

Fig. 9 erläutert eine Nutbearbeitung, wobei die Formgebung der Scheibe 6 mit Metallbindung dargestellt ist, wenn die Drahtelektrode 1 geneigt ist. Der schraffierte Abschnitt ist der Bereich, in welchem eine Gleichspannungsentladung erzeugt wird.

Das Verfahren gemäss der ersten Ausführungsform der Erfindung wird nachstehend unter Bezugnahme auf die Fig. 2 bis 9 beschrieben.

Wie aus Fig. 1 hervorgeht, wird die Drahtelektrode 1, die einen Draht darstellt, der als Elektrode eingesetzt wird, entlang der oberen Drahtführung 2 und der unteren Drahtführung 3 geführt, und bewegt sich mit konstanter Geschwindigkeit in der Drahtbewegungsrichtung Wn, während an sie eine mechanische Spannung durch die Spannungsvorrichtung 4 angelegt wird, die durch die Spannungsteuervorrichtung 5 gesteuert wird.

Die Scheibe 6 mit Metallbindung wird durch die Drehvorrichtung 10 gedreht. Ihre Drehzahl wird durch die Umdrehungsgeschwindigkeitssteuervorrichtung 11 gesteuert, und die Scheibendrehrichtung Tm wird durch die Drehrichtungsänderungsvorrichtung 12 geändert.

Der X-Achsenmotor 14 und der Y-Achsenmotor 15 treiben die Drehvorrichtung 10 an, die an dem Tisch 13 befestigt ist, sodass die Scheibe 6 mit Me-

tallbindung in Bezug auf die Drahtelektrode 1 bewegt wird. Die NC-Vorrichtung 16 berechnet eine Ortskurve für die Relativbewegung unter Verwendung von Programmdateien, die über die Programmeingabevorrichtung 21 eingegeben und in der Programmspeichervorrichtung 22 gespeichert werden, und steuert den X-Achsenmotor 14 und den Y-Achsenmotor 15. Die NC-Vorrichtung 16 steuert die Geschwindigkeit für die Relativbewegung unter Verwendung des Ausgangssignals der Relativgeschwindigkeitssteuervorrichtung 17, und die UV-Achsensteuervorrichtung 20 treibt den U-Achsenmotor 18 und den V-Achsenmotor 19 so, dass die Drahtelektrode 1 geneigt wird.

Eine elektrische Entladung wird an dem Spalt zwischen der Drahtelektrode 1 und der Scheibe 6 mit Metallbindung dadurch erzeugt, dass eine Impulsspannung an die Drahtelektrode 1 und die Scheibe 6 mit Metallbindung über ein Bearbeitungsfluid angelegt wird. Die Arbeitsflüssigkeit oder das Bearbeitungsfluid wird durch die Arbeitsflüssigkeitszufuhrdüse 7 zugeführt. Die Schalter der Bearbeitungsenergieversorgungsquelle 8 werden durch die Energiesteuervorrichtung 9 gesteuert.

In Reaktion auf eine gewünschte Form, die während der Bearbeitung zu entfernende Materialmenge, und die Oberflächenbearbeitungsgenauigkeit steuert die Feinbearbeitungssteuervorrichtung 23 die Energiesteuervorrichtung 9, die Spannungsanlegungssteuervorrichtung 5, die Umdrehungsgeschwindigkeitssteuervorrichtung 11 und die Relativgeschwindigkeitssteuervorrichtung 17. Auf diese Weise steuert die Feinbearbeitungssteuervorrichtung 23 die Leistung bei einer optimalen Feinbearbeitung. Wenn die Formgebung der Scheibe 6 mit Metallbindung durchgeführt wird, wird eine konstante mechanische Spannung auf die Drahtelektrode 1 ausgeübt, die einen geringen Durchmesser aufweist. Während sich die Drahtelektrode 1 bewegt, liefert die Bearbeitungsenergieversorgungsquelle 8 eine Spannung an den Spalt zwischen der Scheibe 6 mit Metallbindung und der Drahtelektrode 1. Über eine Arbeitsflüssigkeit wird hierdurch eine elektrische Entladung erzeugt.

Hierbei wird die Drehvorrichtung 10 durch die NC-Vorrichtung 16 gesteuert, und bewegt den festen Tisch 13 in Bezug auf die Drahtelektrode 1. Auf diese Weise kann die Ortskurve der Relativbewegung frei wählbar dadurch festgelegt werden, dass ein Steuerprogramm vorbereitet wird, und kann dieselbe Ortskurve mehrfach zur Verfügung gestellt werden, durch Ausführung eines gespeicherten Steuerprogramms. Da die NC-Vorrichtung 16 die Ortskurve der Relativbewegung berechnet, und der X-Achsenmotor 14 und der Y-Achsenmotor 15 in Reaktion auf die erhaltenen Werte gesteuert werden, ist die Bewegung besonders exakt. Da die Drahtelektrode 1 einen sehr geringen Durchmesser aufweist, ist darüber hinaus der Entladungsspalt eng und gleichförmig, was zu einer verbesserten Genauigkeit des Formgebungsvorgangs führt.

Ein Formgebungsverfahren zur Ausformung einer Schleifscheibe mittels Erzeugung einer elektrischen Entladung an dem Spalt zwischen der Drahtelektrode 1 und der Scheibe 6 mit Metallbindung ist in

zwei Vorgänge unterteilt. Ein Vorgang betrifft die Grobbearbeitung W1, bei welcher die Drahtelektrode 1 parallel und vertikal zur Scheibe 6 mit Metallbindung für die Formgebung bewegt wird. Der andere Vorgang betrifft die Feinbearbeitung Wn, in welcher die schrägen und gebogenen Abschnitte ausgebildet werden.

Für die Grobbearbeitung W1, welche einen Grobbearbeitungsvorgang darstellt, muss ein grosses Ausmass an Formgebung in einem so kurzen Zeitraum wie möglich durchgeführt werden. Während des Vorgangs der Grobbearbeitung W1 werden die Entladungsenergie, die Umdrehungsgeschwindigkeit, und die mechanische Drahtspannung auf die höchste Bearbeitungsgeschwindigkeit eingestellt. Genauigkeit und Geschwindigkeit sind gegensätzliche Bedingungen für die Grobbearbeitung W1, da die zu entfernende Menge gross ist, und die Geschwindigkeit drastisch verringert werden müsste, um die Genauigkeit zu verbessern. Um beispielsweise die Genauigkeit um 30% zu erhöhen, muss die Geschwindigkeit um 60% verringert werden. Daher ist es wirksamer, dass die Formgebung während der Grobbearbeitung so durchgeführt wird, dass das Augenmerk nur auf die Geschwindigkeit gelegt wird.

Zur Bearbeitung der schrägen Abschnitte und der gebogenen Abschnitte der Schleifscheibe 6 ist es ausreichend, dass die Drahtelektrode 1 parallel oder senkrecht bewegt wird, um Randbereiche wie die schraffierten Abschnitte in Fig. 2 zu entfernen, wobei die Formgebung in einem späteren Vorgang fertig gestellt wird. Während der Feinbearbeitung Wn, der Endbearbeitung, ist eine präzise Formgebung erforderlich. Während der Feinbearbeitung Wn werden die Entladungsenergie, die Umdrehungsgeschwindigkeit und die mechanische Drahtspannung so eingestellt, dass der Zustand zur Verfügung gestellt wird, bei welchem die Bedingungen für die grösstmögliche Genauigkeit erzielt werden. Da die während der Feinbearbeitung Wn zu bearbeitende Materialmenge klein ist, wird die Formgebungsgenauigkeit nicht beeinträchtigt, selbst bei hoher Geschwindigkeit, und kann die Genauigkeit dadurch verbessert werden, dass die Feinbearbeitung mehrfach wiederholt wird.

In vielen Fällen bildet der Abschnitt der Scheibe 6 mit Metallbindung, bei welchem eine Formgebung mit hoher Genauigkeit erforderlich ist, nur einen Teil der Scheibe; da die Feinbearbeitung nur für einen derartigen Abschnitt erforderlich ist und durchgeführt wird, kann der erforderliche Zeitraum für die Formgebung verkürzt werden. Ein alternatives Formgebungsverfahren kann die Feinbearbeitung W1 ersetzen, und das erfindungsgemässe Verfahren kann nur für die Feinbearbeitung Wn eingesetzt werden, um einen hohen Wirkungsgrad zur Verfügung zu stellen.

Infolge der mehrfachen Durchführung der Feinbearbeitung wird die Formgebung durchgeführt, während die Entladungsenergie schrittweise verringert wird, und die Geschwindigkeit der Relativbewegung schrittweise geändert wird. Da die verwendete Drahtelektrode 1 einen sehr geringen Durchmesser aufweist, ist der Entladungsspalt vergleichsweise eng und gleichmässig, und wird die Formgebungs-

genauigkeit verbessert. Um die Genauigkeit noch weiter zu erhöhen, ist ein engerer Entladungsspalt erforderlich. Die verwendete Entladungsenergie muss jedoch klein sein, damit der Entladungsspalt enger ausgebildet wird, und dies ist im ersten Schritt der Feinbearbeitung nicht effizient.

Wie aus Fig. 4 hervorgeht, wird bei der in Fig. 3 gezeigten Feinbearbeitung Wn1 bis Wn3 in drei Schritten in dem ersten Schritt Wn1 der Rand der Scheibe 6 mit Metallbindung unter Einsatz eines verhältnismässig grossen Wertes für die Entladungsenergie entfernt. Gemäss Fig. 4 wird im zweiten Schritt Wn2 die Scheibe 6 mit Metallbindung fertig bearbeitet, und ihr wird eine gewünschte Form unter Verwendung eines mittleren Entladungsenergiebetrages gegeben. Während des dritten Schrittes Wn3 wird die Feinbearbeitung der Winkel der schrägen Abschnitte und von kleinen Bögen fertig gestellt, unter Verwendung eines kleinen Wertes für die Entladungsenergie bei einem engen Entladungsspalt. Darüber hinaus wird die Geschwindigkeit der Relativbewegung optimiert in Reaktion auf die Grösse der Entladungsenergie, wodurch eine Formgebung mit höherer Genauigkeit erzielt wird.

Die Abschnitte, die eine Feinbearbeitung erfordern, können getrennt behandelt werden. In vielen Fällen bestehen die Abschnitte der Scheibe 6 mit Metallbindung, welche eine hohe Genauigkeit erfordern, nur aus einem Teil. Dies führt dazu, dass der Zeitaufwand für die Formgebung dadurch verringert werden kann, dass eine Feinbearbeitung nur auf diesen Abschnitten durchgeführt wird. Eine unabhängige Relativbewegungsortskurve wird für jeden Abschnitt vorgesehen. Bei einem in Fig. 5 gezeigten Beispiel wird die Feinbearbeitung in der Reihenfolge von (a) bis (e) durchgeführt. Die Bewegung von einem Abschnitt, der eine Feinbearbeitung erfordert, zu einem anderen Abschnitt, der eine Feinbearbeitung erfordert, ist schnell. Darüber hinaus kann die Anzahl der Male, in welchen die Feinbearbeitung durchgeführt wird, in Reaktion auf den zu entfernenden Materialabtrag und die erforderliche Genauigkeit modifiziert werden. Bei dem in Fig. 5 gezeigten Beispiel ist der Feinbearbeitungsschritt jeweils zweimal für (a) und (b) erforderlich, und jeweils dreimal für (d) und (e).

Eine Form mit einem scharfen entfernten Ende wird durch eine Bewegungsortskurve ausgebildet, die von der Rückwand bis zum entfernten Ende auf beiden Seiten des scharfen entfernten Endes reicht, wie in Fig. 6(A) gezeigt ist. Fig. 6(B) erläutert die Verwendung einer Bewegungsortskurve, entlang derer eine Formgebung von dem entfernten Ende aus durchgeführt wird. Diese Vorgehensweise führt zu Vibrationen mit grösserer Amplitude, welche die Drahtelektrode 1 an dem entfernten Ende beeinflussen können, an welchem die Entladung begonnen hat. Dieses Verfahren neigt dazu, eine Abrundung des scharfkantigen, entfernten Endes hervorzurufen. Durch Verwendung einer Bewegungsortskurve, die bis zum entfernten Ende geht, wie in Fig. 6(A), werden sowohl die Konzentration der Entladung als auch Schwingungen der Drahtelektrode verringert, sodass ein scharfkantiges entferntes Ende exakt ausgebildet werden kann.

Fig. 7 zeigt eine Ortskurve für einen Bogen, der am Startpunkt und am Endpunkt des Formgebungsvorgangs vorhanden ist. Wenn eine geradlinige Ortskurve für die Startlinie und den Endpunkt vorgesehen wird, wie in Fig. 7(B) gezeigt, so gibt es eine Tendenz, dass die Entladung mehr im Zentrum auftritt. Dies führt zu einer Erhöhung der Schwingungsamplitude der Drahtelektrode 1, wodurch Einfressungen 1d hervorgerufen werden. Wenn jedoch gemäss Fig. 7(A) eine bogenförmige Ortskurve am Startpunkt und am Endpunkt vorgesehen wird, um die Änderung des Entladungszustands abzumildern, können eine Konzentration der Entladung und Schwingungen der Drahtelektrode verhindert werden, und kann eine Form ohne Einfressungen 1d erzeugt werden.

Die Bearbeitungsgeschwindigkeit, mit welcher die elektrische Entladung zur Formgebung an dem Spalt zwischen der Drahtelektrode 1 und der Scheibe 6 mit Metallbindung erzeugt wird, wird durch die Umdrehungsgeschwindigkeit der Scheibe 6 mit Metallbindung beeinflusst. Mit wachsender Umdrehungsgeschwindigkeit nimmt die Bearbeitungsgeschwindigkeit zu. Eine Darstellung dieser Beziehung ist in Fig. 8 gezeigt, wobei der Durchmesser der Drahtelektrode 0,2 mm beträgt, und die Drehrichtung der Scheibe 6 mit Metallbindung in derselben Richtung verläuft wie die Bewegungsrichtung der Drahtelektrode 1. Die Bearbeitungsgeschwindigkeit wird durch die Erhöhung der Drehzahl der Scheibe 6 mit Metallbindung beeinflusst, bis die Drehzahl annähernd 100 Umdrehungen pro Minute beträgt. Derselbe Effekt tritt auf, wenn die Drehrichtung der Scheibe 6 mit Metallbindung entgegengesetzt zur Bewegungsrichtung der Drahtelektrode 1 verläuft, allerdings erreicht die Bearbeitungsgeschwindigkeit ein Maximum, wenn die Drehzahl etwa 70 Umdrehungen pro Minute beträgt. Eine höhere Umdrehungsgeschwindigkeit führt dazu, dass die Drahtelektrode 1 bricht. Daher kann eine stabile Formgebung bei hoher Geschwindigkeit und ohne Bruch der Drahtelektrode 1 durchgeführt werden, solange die Drehrichtung der Scheibe 6 mit Metallbindung zur Bewegungsrichtung der Drahtelektrode 1 passt.

Ein entsprechendes Beispiel für eine Nutbearbeitung wird nachstehend unter Bezugnahme auf Fig. 9 beschrieben. Wie in Fig. 9 gezeigt ist, wird die Scheibe 6 mit Metallbindung dadurch bearbeitet, dass die Drahtelektrode 1 geneigt wird. Da eine Entladung erzeugt wird, die infolge der Neigung der Drahtelektrode 1 eine grosse Breite aufweist, kann die Drahtelektrode 1 in Richtung auf das Zentrum der Scheibe bewegt werden, um eine breite Nut in der Scheibe 6 mit Metallbindung zu erzeugen. Ein Vorteil dieses Verfahrens besteht darin, dass durch Auswahl eines bestimmten Winkels für die Drahtelektrode 1 eine Nut mit einer gewünschten Breite ausgebildet werden kann.

Spezifische Beispiele für die einzelnen, in Fig. 1 dargestellten Vorrichtungen werden nachstehend erläutert.

Vorzugsweise ist die Spannungsanlegungsvorrichtung 4 eine Magnetspulenbremse, die elektrisch gesteuert oder geregelt werden kann, und welche die angelegte mechanische Spannung in Reaktion

auf den Durchmesser der Drahtelektrode 1 und die Anzahl an Bearbeitungsvorgängen ändern kann. Die Spannungssteuervorrichtung 5 ist die Bremssteuervorrichtung zur elektrischen Steuerung der Magnetspulenbremse 4. Die Spannungssteuervorrichtung steuert die Magnetspulenbremse 4 in Reaktion auf das Ausgangssignal der Feinbearbeitungssteuervorrichtung 23. Die Energiesteuervorrichtung 9 ist eine Bearbeitungsenergiequellensteuervorrichtung zum Steuern des Stromspitzenwertes und der Einschaltzeit, der Ausschaltzeit, und der Spannungen im unbelasteten Zustand der Bearbeitungsenergiequelle. Die Energiesteuervorrichtung 9 stellt weiterhin eine hohe Energiezufuhr während des Grobbearbeitungsvorgangs und eine geringe Energiezufuhr während des Endbearbeitungsvorgangs zur Verfügung, in Reaktion auf das Ausgangssignal von der Feinbearbeitungssteuervorrichtung 23.

Die Drehvorrichtung 10 ist ein wechselrichtergetriebener Wechselstrommotor, der die Drehgeschwindigkeit und die Drehrichtung der Scheibe 6 mit Metallbindung ändern kann, um die Leistung in Reaktion auf den Durchmesser der Drahtelektrode 1 und die Art der durchgeführten Bearbeitung zu optimieren. Die Umdrehungsgeschwindigkeitssteuervorrichtung 11 steuert die Frequenz des Wechselstrommotors 10, sodass die Umdrehungsgeschwindigkeit elektrisch gesteuert oder geregelt wird. Hierdurch wird die Geschwindigkeit des Wechselstrommotors 10 gesteuert. Die Drehrichtungssteuervorrichtung 12 steuert elektrisch die Drehrichtung, und ändert die Drehrichtung in Reaktion auf die Richtung, in welcher die Drahtelektrode 1 bewegt wird. Die NC-Vorrichtung 16 steht in Verbindung mit einem Computer, und steuert daher die Position und Geschwindigkeit der Drehvorrichtung 10 entsprechend den Befehlen vom Computer nach einem Geschwindigkeitssteuerprogramm. Die Relativgeschwindigkeitssteuervorrichtung 17 steht mit einem Computer in Verbindung, um die Vorschubgeschwindigkeit für die Drehvorrichtung 10 zu steuern. Der Computer erzeugt die Befehle in Reaktion auf das Ausgangssignal der Feinbearbeitungssteuervorrichtung 23 für den Geschwindigkeitssteuervorgang. Die UV-Achsensteuervorrichtung 20 steht mit einem Computer in Verbindung und treibt die UV-Achsenmotoren so an, dass die Neigung der Drahtelektrode 1 gesteuert wird, wobei der UV-Achsensteuervorgang auf der Grundlage von Computersoftware erfolgt. Vorzugsweise ist die Programmeingabevorrichtung 21 eine Fabrikautomatisierungsvorrichtung, eine Tastatur oder eine Eingabevorrichtung, die einen Papierstreifen (Lochstreifen) verwendet, und wird zur Eingabe eines numerischen Steuerprogramms verwendet. Vorzugsweise ist die Programmspeichervorrichtung 22 ein Halbleiterspeicher und wird zur Speicherung eines numerischen Steuerprogramms verwendet, das eingegeben wird.

Ausführungsform 2

Fig. 10 zeigt schematisch die Anordnung einer Schleifscheibenformgebungsvorrichtung gemäss Ausführungsform 2 der Erfindung. Die Bezugszei-

chen und Symbole, die denen entsprechen, die in Fig. 1 verwendet wurden, bezeichnen identische oder entsprechende Bauteile.

Gemäss Fig. 10 weist die Ausführungsform 2 der Schleifscheibenformgebungsvorrichtung zusätzlich eine Spannungserfassungsvorrichtung 24 zur Erfassung der Spannung an dem Spalt zwischen der Drahtelektrode 1 und der Scheibe 6 mit Metallbindung während der Formgebung auf; eine Stromerfassungsvorrichtung 25 zur Erfassung des Stroms an dem Spalt zwischen der Drahtelektrode 1 und der Scheibe 6 mit Metallbindung während der Formgebung; eine Geschwindigkeitsberechnungsvorrichtung 26 zur Berechnung der Bewegungsgeschwindigkeit für den Tisch 13, unter Verwendung der Spannung und des Stroms, die von der Spannungserfassungsvorrichtung 24 bzw. der Stromerfassungsvorrichtung 25 erfasst werden; eine Auslenkungserfassungsvorrichtung 27 zur Erfassung der Auslenkung der Drahtelektrode 1 während der Formgebung; und eine Korrekturortskurvenberechnungsvorrichtung 28 zur Berechnung einer korrigierten Ortskurve der Relativbewegung, unter Verwendung der Auslenkung, die von der Auslenkungserfassungsvorrichtung 27 erfasst wird.

Die Fig. 11(A) und 11(B) zeigen schematisch den Formgebungsvorgang, der durchgeführt wird, während die sich drehende Scheibe 6 mit Metallbindung und die Drahtelektrode 1 in Bezug aufeinander und mit konstanter Geschwindigkeit bewegt werden. Gepunktete Abschnitte bezeichnen jene Bereiche, in denen eine Formgebung erfolgt, während eine Bewegung in der durch den Pfeil angedeuteten Richtung erfolgt. Fig. 12 ist ein Diagramm, welches die mittlere Bearbeitungsspannung und den mittleren Bearbeitungsstrom als Funktion der Entfernung von der äusseren Endoberfläche Scheibe während der in Fig. 11 gezeigten Formgebung zeigt.

Fig. 13 ist ein Flussdiagramm der Berechnung der Bewegungsgeschwindigkeit.

Fig. 14 zeigt schematisch den Formgebungsvorgang, der durchgeführt wird, während die sich drehende Scheibe 6 mit Metallbindung und die Drahtelektrode 1 in Bezug aufeinander und bei konstanter Geschwindigkeit bewegt werden. Gepunktete Abschnitte sind jene, bei denen momentan eine Formgebung erfolgt, während eine Bewegung in der durch den Pfeil angedeuteten Richtung erfolgt. Fig. 15 ist ein Diagramm, welches die Auslenkung der Drahtelektrode 1 als Funktion der Tiefe einer Schneidbearbeitung von der äusseren Oberfläche der Scheibe in Richtung auf das Zentrum während der Formgebung zeigt.

Fig. 16 ist eine Querschnittsansicht, welche die Ausbildung einer gewünschten Form durch Bewegung der Drahtelektrode 1 und der Scheibe 6 mit Metallbindung in Bezug aufeinander zeigt, während eine Korrektur der Auslenkung des Drahts erfolgt. Fig. 16(A) zeigt die Auslenkung der Drahtelektrode 1, die bei geradliniger Formgebung nicht korrigiert ist. Die Auslenkung ist nahe der Aussenoberfläche verringert, wobei die Wand schräg verläuft, in Richtung nach aussen. Fig. 16(B) zeigt die Auslenkung, die um die Entfernung h bei geradliniger Formgebung korrigiert ist; der schraffierte Abschnitt ist je-

ner, der korrigiert wird, während die Wand senkrecht zur Aussenoberfläche verläuft. Fig. 16(C) zeigt einen verschobenen Bogen, sodass eine Bewegung weg von der Drahtelektrode 1 erfolgt, wenn keine Korrektur für die Bogenform durchgeführt wird, und die Auslenkung der Drahtelektrode 1 verringert ist, wenn sie sich der Aussenoberfläche nähert. In Fig. 16(D) ist ein Bogen nicht verschoben, sondern um die Entfernung h korrigiert; der schraffierte Abschnitt stellt die Korrektur dar. Gestrichelte Linien in der Figur geben Bewegungsortskurven an, und die Formgebung erfolgt so, wie dies durch die Pfeile dargestellt ist.

Unter Bezugnahme auf die Fig. 11 bis 16 wird nachstehend der Betriebsablauf bei der zweiten Ausführungsform der Erfindung erläutert, also bei der in Fig. 10 gezeigten Vorrichtung.

In Fig. 10 erfasst die Spannungserfassungsvorrichtung 24 die Spannung an dem Spalt zwischen der Drahtelektrode 1 und der Scheibe 6 mit Metallbindung, während die Stromerfassungsvorrichtung 25 den Strom an dem Spalt zwischen der Drahtelektrode 1 und der Scheibe 6 mit Metallbindung erfasst. Die Geschwindigkeitsberechnungsvorrichtung 25 verwendet die erfassten Werte für die Spannung und den Strom zur Berechnung einer Bewegungsgeschwindigkeit; die Relativgeschwindigkeitssteuervorrichtung 17 bzw. die NC-Vorrichtung 16 steuern die Bewegungsgeschwindigkeit bzw. die Bewegungsortskurve.

Wenn eine Formgebung der Scheibe 6 mit Metallbindung von der Aussenoberfläche in Richtung auf das Zentrum bei konstanter Bewegungsgeschwindigkeit erfolgt, wie in den Fig. 11 und 12 gezeigt, nimmt die zu bearbeitende Materialmenge zu, entsprechend der Abnahme der Entfernung zum Zentrum. Mit abnehmender Entfernung zum Zentrum wird die Spannung an dem Spalt zwischen der Drahtelektrode 1 und der Scheibe 6 mit Metallbindung verringert, und steigt der Strom an dem Spalt an. Wenn die Formgebung mit konstanter Bewegungsgeschwindigkeit durchgeführt wird, ist aussen am Eingang die Spannung hoch und der Strom niedrig; daher ist die zu bearbeitende Materialmenge in Bezug auf die Entladungsenergie gering, und wird die Bearbeitung weniger effizient durchgeführt. Da die zu bearbeitende Materialmenge in Bezug auf die Entladungsenergie grösser ist, wenn die Spannung an dem am weitesten hinten gelegenen Ort unzureichend ist, tritt ein Kurzschluss auf, und daher eine Unterbrechung der Formgebung. Daher wird die Bewegungsgeschwindigkeit am Eingang auf der äusseren Oberfläche erhöht, und wird verringert, wenn eine Formgebung eines tieferen Abschnitts erfolgt. Dies stellt sicher, dass eine konstante Spannung und ein konstanter Strom an dem Spalt zwischen der Drahtelektrode 1 und der Scheibe 6 mit Metallbindung aufrechterhalten werden. Daher kann eine äusserst effiziente, konstante Formgebung durchgeführt werden, eine Änderung des Entladungsspalts verringert werden, und die Genauigkeit der Formgebung verbessert werden.

Eine Erläuterung der Verarbeitung, die durch die Geschwindigkeitsberechnungsvorrichtung 26 zur Berechnung der Bewegungsgeschwindigkeit unter Ver-

wendung der erfassten Spannung des erfassten Stroms durchgeführt wird, erfolgt unter Bezugnahme auf das Flussdiagramm in Fig. 13. Zuerst werden im Schritt S0 eine Bezugsspannung und eine Bezugsgeschwindigkeit in die Geschwindigkeitsberechnungsvorrichtung 26 eingegeben. In dem Schritt S1 wird die Spannung durch die Spannungserfassungsvorrichtung 24 erfasst. In dem Entscheidungsschritt S2 wird die erfasste Spannung mit der Bezugsspannung verglichen. Wenn die erfasste Spannung um 10 Volt oder mehr kleiner ist als die Bezugsspannung, wird das Ergebnis als positiv beurteilt. Infolge dieses Ergebnisses erfasst im Schritt S3 die Stromerfassungsvorrichtung 25 einen Strom, der zu einer Verringerung der Bewegungsgeschwindigkeit führt, im Schritt S4. Wenn jedoch die erfasste Spannung im Schritt S1 als grösser oder gleich (Bezugsspannung -10 Volt) [*] beurteilt wird, so wird das Ergebnis im Schritt S3 als negativ beurteilt, und wird im Schritt S5 die Geschwindigkeit so berechnet, dass die Differenz zwischen der Bezugsspannung und der erfassten Spannung verwendet wird. Im Schritt S6 erfolgt eine Überprüfung, um zu bestimmen, ob die Geschwindigkeit doppelt so gross ist wie die Bezugsgeschwindigkeit oder nicht. Ist die Geschwindigkeit kleiner oder gleich dem Doppelten der Bezugsgeschwindigkeit, so wird die Formgebung bei der berechneten Geschwindigkeit durchgeführt. Ist die Geschwindigkeit grösser oder gleich der Bezugsgeschwindigkeit, so wird die Entscheidung als negativ beurteilt. Diese negative Beurteilung führt zu einer Erfassung des Stroms im Schritt S7 und zu einer Erhöhung der Geschwindigkeit im Schritt S8 in Reaktion auf den erfassten Strom. Im Schritt S9 wird die Geschwindigkeit, die auf diese Weise durch die Geschwindigkeitsberechnungsvorrichtung 25 erhalten wird, als Geschwindigkeitsausgangssignal für die Relativgeschwindigkeitssteuervorrichtung 17 ausgegeben.

Die Korrektur der Auslenkung der Drahtelektrode 1 wird nachstehend unter Bezugnahme auf die Fig. 14 bis 16 erläutert. Die Auslenkungsvorrichtung 27 in Fig. 10 erfasst die Auslenkung der Drahtelektrode 1 während der Formgebung. Die Korrekturortskurvenberechnungsvorrichtung 28 berechnet eine korrigierte Ortskurve für die Relativbewegung unter Verwendung der Auslenkung, die von der Auslenkungserfassungsvorrichtung 27 festgestellt wird. Die NC-Steuervorrichtung 16 steuert die Bewegungsortskurve zur Formgebung der Scheibe 6 mit Metallbindung.

Wenn die Scheibe 6 mit Metallbindung von der Aussenoberfläche in Richtung auf das Zentrum hin bearbeitet wird, nimmt das Ausmass der Bearbeitung in Richtung zum Zentrum hin zu. Daher steigt eine Entladungsreaktionskraft an, die auf die Drahtelektrode 1 einwirkt, wie in Fig. 14 gezeigt ist. Die Drahtelektrode 1 wird in der Richtung entgegengesetzt zu der Seite ausgelenkt, an welcher die Entladung erzeugt wird. Die Beziehung zwischen dem Ausmass der Auslenkung des Drahts und der Tiefe des bearbeiteten Materials ist in Fig. 1r dargestellt. Mit fortschreitender Bearbeitung, wenn ein tieferer Abschnitt erreicht wird, wirkt die Kraft in Bezug auf die Bewegungsortskurve in der Richtung entgegen-

gesetzt jener Seite ein, an welcher die Entladung hervorgerufen wird. In Reaktion auf die Auslenkung, die von der Auslenkungserfassungsvorrichtung 27 festgestellt wird, werden die Neigung und die Verschiebung des Endpunktes an einem Bogenabschnitt zu jener Seite hin, in Bezug auf die Bewegungsortskurve, korrigiert, an welcher die Entladung erzeugt wird. Als Beispiel zeigt Fig. 16(A) den Fall, in welchem keine Korrektur erfolgt; die bearbeitete Materialmenge der Scheibe 6 mit Metallbindung steigt auf der hinteren (oberen) Seite an. Fig. 16(B) zeigt eine Korrektur in Bezug auf die Entfernung h; die bearbeitete Materialmenge der Scheibe 6 mit Metallbindung ist konstant. Entsprechend ist in Fig. 16(C) die bearbeitete Materialmenge an dem linken oberen Bogen erhöht, da keine Korrektur erfolgt; Fig. 16(D) zeigt eine Korrektur bezüglich der Entfernung h, sodass sich eine konstante bearbeitete Materialmenge ergibt.

Bestimmte Beispiele für die einzelnen Vorrichtungen in Fig. 10 werden nachstehend erläutert.

Die Spannungserfassungsvorrichtung 24 erfasst die mittlere Spannung an der Ausgangsseite der Bearbeitungsenergieversorgungsquelle und verwendet die mittlere Spannung zum Steuern der Vorschubgeschwindigkeit. Die Stromerfassungsvorrichtung 25 erfasst den mittleren Strom an der Ausgangsseite der Bearbeitungsenergieversorgungsquelle und verwendet den mittleren Strom zum Steuern der Vorschubgeschwindigkeit. Die Geschwindigkeitsberechnungsvorrichtung 26 steht in Verbindung mit einem Computer und berechnet die Vorschubgeschwindigkeit unter Verwendung der mittleren Spannung und des mittleren Stroms. Die Auslenkungserfassungsvorrichtung 27 steht in Verbindung mit einem Computer und berechnet die Auslenkung der Drahtelektrode 1 unter Verwendung der erfassten Werte für die mechanische Drahtspannung in dem Auslenkungserfassungsvorgang. Die Korrekturortskurvenberechnungsvorrichtung 28 steht in Verbindung mit einem Computer und berechnet eine Bewegungsortskurve unter Verwendung der Auslenkung der Drahtelektrode 1 in dem Berechnungsvorgang für die korrigierte Ortskurve. Die Geschwindigkeitsberechnungsvorrichtung, die Auslenkungserfassungsvorrichtung und die Korrekturortskurvenberechnungsvorrichtung werden jeweils durch Computersoftware betrieben.

Ausführungsform 3

Fig. 17 zeigt schematisch die Anordnung einer Schleifscheibenformgebungsvorrichtung gemäss Ausführungsform 3 der Erfindung. Jene Bezugszeichen und Symbole, welche den in Fig. 1 verwendeten entsprechen, bezeichnen identische oder entsprechende Bauteile.

Die Schleifscheibenformgebungsvorrichtung gemäss Ausführungsform 3 weist weiterhin einen ersten Drahtzufuhrspulenkörper 29 auf; einen zweiten Drahtzufuhrspulenkörper 30; eine Befestigungsvorrichtung 31 zwischen dem ersten Drahtzufuhrspulenkörper 29 und dem zweiten Drahtzufuhrspulenkörper 30; eine Drahtelektrodenänderungsvorrichtung 32 zur Änderung der Drahtelektrode 1 zwi-

schen dem ersten Drahtzufuhrspulenkörper 29 und dem zweiten Drahtzufuhrspulenkörper 30; eine mit einer V-Nut versehene Drahtführung 33 zum Führen der Drahtelektrode entlang einer v-förmigen Nut, die sich in Richtung auf das Zentrum der Scheibe hin öffnet; und eine Umdrehungsgeschwindigkeitsberechnungsvorrichtung 34 zur automatischen Einstellung der Umdrehungsgeschwindigkeitssteuervorrichtung 10 so, dass sich deren Einstellung in Reaktion auf die mechanische Spannung ändert, die an die Drahtelektrode 1 angelegt ist.

Fig. 18(A) ist ein Diagramm, welches das Bearbeitungs geschwindigkeitsverhältnis als Funktion der Scheibenumdrehungsgeschwindigkeit für jeden Durchmesser der Drahtelektrode 1 zeigt. Während eine Entladung an dem Spalt zwischen der sich drehenden Scheibe 6 mit Metallbindung und der Drahtelektrode 1 erzeugt wird, werden die Scheibe 6 mit Metallbindung und die Drahtelektrode 1 relativ zueinander bewegt. Die durchgezogene Linie bezeichnet eine Drahtelektrode 1 mit einem Durchmesser von 0,2 mm; die gepunktete Linie bezeichnet eine Drahtelektrode 1 mit einem Durchmesser von 0,15 mm; und die gestrichelte Linie bezeichnet eine Drahtelektrode 1 mit einem Durchmesser von 0,1 mm.

Der schraffierte Abschnitt in Fig. 18(B), der den Formgebungszustand bezeichnet, gibt den Bereich an, dessen Formgebung fertig ist. Die Formgebung wird durchgeführt, während die Scheibe 6 mit Metallbindung und die Drahtelektrode 1 relativ zueinander und in der durch den Pfeil Md angezeigten Richtung bewegt werden. Das Bearbeitungs geschwindigkeitsverhältnis ist das Geschwindigkeitsverhältnis für die einzelnen Parameter, wenn die maximale Geschwindigkeit auf 1,0 gesetzt ist. Diese maximale Geschwindigkeit betrifft einen Fall, in welchem die Drahtelektrode 1 einen Durchmesser von 0,2 mm hat.

Fig. 19(A) ist ein Diagramm, welches die Beziehung zwischen der Scheibenumdrehungsgeschwindigkeit und dem Bearbeitungsexaktheitsverhältnis zeigt. Diese Beziehung ist grafisch für jeden Durchmesser der Drahtelektrode 1 dargestellt. Die durchgezogene Linie bezeichnet die Drahtelektrode 1 mit einem Durchmesser von 0,2 mm, die gepunktete Linie bezeichnet die Drahtelektrode 1 mit einem Durchmesser von 0,15 mm, und die gestrichelte Linie bezeichnet die Drahtelektrode 1 mit einem Durchmesser von 0,1 mm. Die Formgebung wird so durchgeführt, dass die Scheibe 6 mit Metallbindung und die Drahtelektrode 1 in Bezug aufeinander in der durch den Pfeil angegebenen Richtung bewegt werden, um die in Fig. 19(B) dargestellte Form zu erzielen. Das Bearbeitungsexaktheitsverhältnis ist das Verhältnis der Genauigkeit für die einzelnen Parameter, wenn die höchste Genauigkeit auf 1,0 gesetzt ist. Dieses Bearbeitungsexaktheitsmaximum ist für den Fall dargestellt, in welchem die Drahtelektrode 1 einen Durchmesser von 0,2 mm aufweist.

Fig. 20 ist eine Querschnittsansicht von Grobbearbeitungs- und Feinbearbeitungsprogrammen mit Drahtelektroden 1 mit unterschiedlichem Durchmesser entsprechend der Art der Bearbeitung. Fig. 20(A) bezeichnet einen Grobbearbeitungs vor-

gang, und Fig. 20(B) zeigt einen Feinbearbeitungsvorgang. Die schraffierten Abschnitte sind jene, die entfernt werden, durch den jeweiligen Vorgang, und die Pfeile geben die Bewegungsrichtung des jeweiligen Vorgangs an.

Nachstehend wird der Betriebsablauf der dritten Ausführungsform der Erfindung beschrieben.

In Fig. 17 wird die Drahtelektrode 1 entlang dem Drahtelektrodenweg von dem ersten Drahtzufuhrspulenkörper 29 zugeführt; eine mechanische Spannung wird an die Drahtelektrode 1 durch die Spannungsanlegungsvorrichtung 4 angelegt. Die Drahtelektrode 1 wird durch die mit einer V-Nut versehene Drahtführungen 33 geführt, die sich vor und hinter der Scheibe 6 mit Metallbindung befinden, und sich in Richtung auf das Zentrum der Scheibe 6 mit Metallbindung öffnen. Um die erste Drahtelektrode durch die zweite Drahtelektrode auszutauschen, zieht die Drahtelektrodenänderungsvorrichtung 32 die Drahtelektrode 1 von dem zweiten Drahtzufuhrspulenkörper 30 ab, und zieht die Drahtelektrode entlang dem voranstehend geschilderten Drahtelektrodenweg. Diese Drahtführungen 33 mit der sich zum Zentrum hin öffnenden V-Nut können trotz der Tatsache verwendet werden, dass die Drahtelektrode durch eine andere Drahtelektrode mit einem unterschiedlichen Durchmesser ersetzt wird. Die Führungen reichen zum Führen der Drahtelektrode 1 deswegen aus, da die Entladungsreaktionskraft einer Drahtelektrode 1 nicht in Richtung auf das Zentrum der Scheibe 6 mit Metallbindung wirkt, obwohl die Drahtelektrode 1 gegen die Führungen angedrückt wird.

Wenn der Durchmesser der Drahtelektrode 1 geändert wird, ändert sich auch die mechanische Spannung, die an die Drahtelektrode 1 angelegt ist. Die Umdrehungsgeschwindigkeit wird von der Umdrehungsgeschwindigkeitsberechnungsvorrichtung 34 berechnet, und die Umdrehungsgeschwindigkeit wird von der Umdrehungsgeschwindigkeitssteuervorrichtung 11 in Reaktion auf das Ausgangssignal der Spannungssteuervorrichtung 5 geändert.

Die Beziehung zwischen der Umdrehungsgeschwindigkeit der Scheibe 6 mit Metallbindung und der Bearbeitungsgeschwindigkeit für jeden Drahtelektroden Durchmesser ist in Fig. 18 gezeigt. Für die Drahtelektrode 1 mit dem Durchmesser von 0,2 mm nimmt die Bearbeitungsgeschwindigkeit in Beziehung zur Umdrehungsgeschwindigkeit zu, bis die Umdrehungsgeschwindigkeit 120 Umdrehungen pro Minute erreicht; daraufhin bleibt die Bearbeitungsgeschwindigkeit bei grösseren Umdrehungsgeschwindigkeiten konstant. Für die Drahtelektrode 1 mit einem Durchmesser von 0,15 mm nimmt die Bearbeitungsgeschwindigkeit in Beziehung zur Umdrehungsgeschwindigkeit der Scheibe 6 mit Metallbindung zu, bis die Umdrehungsgeschwindigkeit 100 Umdrehungen pro Minute erreicht, und bleibt bei grösseren Drehzahlen konstant. Für die Drahtelektrode mit einem Durchmesser von 0,1 mm nimmt die Geschwindigkeit in Beziehung zur Umdrehungsgeschwindigkeit zu, bis die Umdrehungsgeschwindigkeit 65 Umdrehungen pro Minute erreicht, und ist danach bei grösseren Umdrehungsgeschwindigkeiten konstant.

Die Beziehung zwischen der Umdrehungsgeschwindigkeit der Scheibe 6 mit Metallbindung und der Bearbeitungsgenauigkeit für jeden Drahtelektroden Durchmesser ist in Fig. 19 gezeigt. Bei der Drahtelektrode 1 mit einem Durchmesser von 0,2 mm ist eine hohe Genauigkeit zwischen 80 und 450 Umdrehungen pro Minute erhältlich. Für die Drahtelektrode 1 mit einem Durchmesser von 0,15 mm ist eine hohe Genauigkeit zwischen 80 und 200 Umdrehungen pro Minute erhältlich. Für die Drahtelektrode 1 mit einem Durchmesser von 0,1 mm ist eine hohe Genauigkeit zwischen 70 und 100 Umdrehungen pro Minute erhältlich. Wie voranstehend erläutert, ändert sich die geeignete Umdrehungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit von dem Durchmesser der in der Vorrichtung eingesetzten Drahtelektrode 1. Wenn der Durchmesser der Drahtelektrode 1 geändert wird, wird die Umdrehungsgeschwindigkeit entsprechend geändert. Auf diese Weise kann eine Formgebung mit höherer Bearbeitungsgeschwindigkeit und exakter durchgeführt werden.

Wie in Fig. 20(A) gezeigt ist, wird eine Drahtelektrode 1 mit einem grossen Durchmesser in dem Grobbearbeitungszeitraum eingesetzt. Fig. 20(B) zeigt eine Drahtelektrode 1 mit kleinem Durchmesser, die während der Feinbearbeitung verwendet wird, um eine kompliziertere Form auszubilden. Wie voranstehend erläutert, ist der Zeitraum zur Ausbildung einer komplizierteren Form unter Verwendung einer Elektrode mit kleinerem Durchmesser länger als jener, der zur Formgebung einer Schleifscheibe mit einer grösseren Drahtelektrode 1 erforderlich ist. Der Zeitraum zur Ausbildung einer komplizierten Form, die beispielsweise die Drahtelektrode 1 mit einem Durchmesser von 0,1 mm erfordert, kann dadurch verkürzt werden, dass die Grobbearbeitung am Anfang unter Verwendung der Drahtelektrode 1 mit einem Durchmesser von 0,2 mm durchgeführt wird. Darüber hinaus muss die Drahtelektrode 1 mit einem Durchmesser von 0,1 mm nur auf dem erforderlichen Abschnitt der Feinbearbeitung verwendet werden, wodurch die Bearbeitungszeit weiter verringert werden kann.

Ausführungsform 4

Fig. 21 zeigt schematisch die Anordnung einer Schleifscheibenformgebungsvorrichtung gemäss Ausführungsform 4 der Erfindung. Jene Bezugszeichen und Symbole, die denen entsprechen, die in Fig. 1 verwendet wurden, bezeichnen identische oder entsprechende Bauteile.

Die Schleifscheibenformgebungsvorrichtung gemäss Ausführungsform 4 weist weiterhin eine Einsatzbedingungsingabevorrichtung 35 zur Eingabe von Einsatzbedingungen auf, beispielsweise eines Schleifzeitraums, des Materials der Schleifscheibe, und bestimmte Ereignisse, die während des Schleifvorgangs erforderlich sind; eine Antriebsentfernungsberechnungsvorrichtung 36 zur Berechnung der Antriebsentfernung, die für den Nachrichtvorgang in Reaktion auf die voranstehend genannten Verwendungszustände erforderlich ist; und eine Nachrichtausführungsvorrichtung 37 zur Verwendung eines Computerprogramms, das in der Pro-

grammspeichervorrichtung 22 gespeichert ist, um eine gewünschte Form zum Nachrichten einer Schleifscheibe 6 zur Verfügung zu stellen.

Die Fig. 22(A) und (B) sind Querschnittsansichten, welche einen Nachrichtvorgang zeigen, der unter Verwendung eines Programms durchgeführt wird, welches vorher erzeugt und gespeichert wird. Die gestrichelten Linien bezeichnen Ortskurven MT für die Relativbewegungen der sich drehenden Scheibe 6 mit Metallbindung und der Drahtelektrode 1; d bezeichnet die Entfernung des Antriebs, und der schraffierte Abschnitt ist der Bereich, der durch Bearbeitung der Entfernung entsprechend der Entfernung d nachgerichtet wird.

Nachstehend wird der Betriebsablauf bei der vierten Ausführungsform der Erfindung beschrieben.

Die Einsatzbedingungen, beispielsweise der Schleifzeitraum für die Verwendung der Scheibe 6 mit Metallbindung, das Werkstückmaterial und die Vorgänge, die während des Schleifvorgangs erforderlich sind, werden in die Einsatzbedingungsingabevorrichtung 35 eingegeben. Die Antriebsentfernungsberechnungsvorrichtung 36 berechnet dann die Entfernung des Antriebs, die zum Nachrichten der Scheibe erforderlich ist, aus den eingegebenen Einsatzbedingungen. Dieses Originalprogramm für die Formgebung wird in der Programmspeichervorrichtung 22 gespeichert, und wird dann durch die Entfernung des Antriebs korrigiert. Die Nachrichtausführungsvorrichtung 37 steuert dann die NC-Vorrichtung 16 mit dem korrigierten Programm. Auf diese Weise werden die Scheibe 6 mit Metallbindung und die Drahtelektrode 1 in Bezug aufeinander bewegt, um ein Nachrichten der Schleifscheibe 6 durchzuführen. Daher muss kein neues Programm für den Nachrichtvorgang vorbereitet werden.

Das ursprüngliche Programm kann dazu verwendet werden, die Formgebung mehrere Male zu wiederholen, während die Programmortskurven um die Entfernung d des Antriebs versetzt werden. Beispielsweise kann für die in Fig. 22(B) gezeigte Form die Scheibe 6 mit Metallbindung dadurch ausgeformt werden, dass die Entfernung d des Antriebs gemäss Fig. 22(B) verwendet wird, und daher kann das Nachrichten durch dasselbe Programm durchgeführt werden, welches ursprünglich eingesetzt wurde.

Ausführungsform 5

Fig. 23 zeigt schematisch die Anordnung einer Schleifscheibenformgebungsvorrichtung gemäss Ausführungsform 5 der Erfindung. Jene Bezugszeichen und Symbole, welche denen entsprechen, die in Fig. 1 verwendet wurden, bezeichnen identische oder entsprechende Bauteile.

Die Schleifscheibenformgebungsvorrichtung gemäss Ausführungsform 5 weist weiterhin eine Welle 38 auf; eine Temperaturmessvorrichtung 39 zur Messung der Temperatur der Welle 38; eine Zimmertemperaturmessvorrichtung 40 zur Messung der Zimmertemperatur; eine Verschiebungsspeichervorrichtung 41 zum Speichern einer Verschiebungsentfernung für jede Temperatur der Welle 38; und eine

Wellenkorrekturberechnungsvorrichtung 42 zur Berechnung einer Korrektur der Verschiebungsentfernung, die durch eine Änderung der Temperatur der Welle 38 hervorgerufen wird.

Fig. 24 zeigt schematisch die Positionsverschiebung in der Scheibe 6 mit Metallbindung infolge einer Änderung der Temperatur der Welle 38. Die Entfernung gegenüber einem Bezugspunkt Z0, wenn die Scheibe 6 mit Metallbindung für einen signifikanten Zeitraum ortsfest ist, beträgt 1, und die Entfernung gegenüber dem Bezugspunkt Z0, wenn die Scheibe 6 mit Metallbindung gedreht wird, beträgt 1', und die Verschiebung beträgt $\Delta 1$. Die gestrichelte Linie gibt die Position der Scheibe 6 mit Metallbindung an, nachdem sie gedreht wurde.

Nachstehend wird der Betriebsablauf der fünften Ausführungsform der Erfindung beschrieben.

Die Temperatur der Welle 38 wird durch die Temperaturmessvorrichtung 39 gemessen; die Zimmertemperatur wird von der Zimmertemperaturmessvorrichtung 40 gemessen. Wenn die Umdrehungsgeschwindigkeit der Drehvorrichtung 10 geändert wird, ändert sich die infolge der Umdrehung erzeugte Wärme, und gibt es eine entsprechende Temperaturänderung bei der Welle 38. Dies führt zu einer entsprechenden Verschiebung der Position der Schleifscheibe 6.

Auf der Grundlage der Daten in der Verschiebungsspeichervorrichtung 41 berechnet die Wellenkorrekturberechnungsvorrichtung 42 die Korrektur der Verschiebung, und führt eine Korrektur unter Verwendung der NC-Vorrichtung 16 so durch, dass die Relativbewegung und die Differenz zwischen der Temperatur der Welle 38 und der Zimmertemperatur gesteuert wird. Dies führt dazu, dass das Einlaufen mit der sich drehenden, vorgeformten Scheibe und eine Änderung der Umdrehungsgeschwindigkeit über einen weiten Bereich durchgeführt werden können.

Ausführungsform 6

Fig. 25 zeigt schematisch die Anordnung einer Schleifscheibenformgebungsvorrichtung gemäss Ausführungsform 6 der Erfindung. Jene Bezugszeichen und Symbole, die denen entsprechen, die in den Fig. 1 und 10 verwendet wurden, bezeichnen identische oder entsprechende Bauteile.

Die Schleifscheibenformgebungsvorrichtung gemäss Ausführungsform 6 weist weiterhin eine Parametereingabevorrichtung 43 auf, um Formparameter einzugeben, beispielsweise die Entladungsenergie, die mechanische Drahtspannung, die Scheibenumdrehungsgeschwindigkeit, die Bezugsgeschwindigkeit, die Bezugsspannung, und einen Korrekturwert; eine Formgebungszustandsspeichervorrichtung 44 zur Markierung einer Kombination der Parameter als Formgebungszuständen und zum Speichern der Zustände; und eine Formgebungszustandseinstellvorrichtung 45 zur Einstellung der gespeicherten Formgebungszustände. Fig. 26 zeigt schematisch einen Eingabebildschirm für die Parametereingabevorrichtung 43, auf welchem in der am weitesten links gelegenen Spalte Parameterauswahlschalter gezeigt sind, und in der obersten Zeile die Markie-

rungscode für die Formgebungszustände gezeigt sind. Die Werte werden in der Matrix der Schalter eingestellt, und die Zahlen sind Daten.

Die Eingabeformparameter werden in die Parametereingabevorrichtung 43 unter Verwendung bestimmter Markierungscode eingegeben. Diese Information wird in der Formgebungszustandsspeichervorrichtung 44 gespeichert. Die Formgebungszustandseinstellvorrichtung 45 kann direkt auf die sich ergebenden, gespeicherten Formgebungszustände zugreifen, unter Verwendung des zugehörigen Markierungscode. Alternativ hierzu ist die Formgebungszustandseinstellvorrichtung 45 dazu fähig, auf die sich ergebenden, gespeicherten Formgebungszustände durch Bezugnahme auf einen Markierungscode in einem Softwarecode zuzugreifen. Beispielsweise könnte die Formgebungszustandseinstellvorrichtung 45 auf den sich ergebenden, gespeicherten Formgebungszustand mit der Markierung E100 zugreifen, indem E100 in einem Softwareprogramm aufgerufen wird. Der Formgebungszustand wurde daher nur durch Einstellung der Formgebungszustandsnummer bestimmt.

Die einzelnen Anordnungen der jeweiligen Vorrichtungen, die voranstehend anhand der Ausführungsformen 3 bis 6 erläutert wurden, werden nunmehr anhand der Kombinationen der Ausführungsformen 3 bis 6 unter Bezugnahme auf Fig. 17, 21, 23 und 25 erläutert. In Fig. 17 besteht die Befestigungsvorrichtung 31 aus Wellen, auf welche zwei Drahtzufuhrspulenkörper 29 und 30 aufgespacht sind, und aus einer Platte, an welcher die Wellen befestigt sind. Vorzugsweise wird die Drahtelektrodenänderungsvorrichtung 32 durch eine Vorrichtung mit einem Greifmechanismus ersetzt, welche eine Drahtelektrode mit einem kleinen Durchmesser (annähernd 0,2 mm Durchmesser) halten kann. Ein Draht mit einem grösseren Durchmesser wird vorzugsweise für die Grobbearbeitung oder Anfangsbearbeitung verwendet, wogegen ein Draht mit einem kleinen Durchmesser zur Fertigstellung komplizierter Formen verwendet wird.

Die Umdrehungsgeschwindigkeitsberechnungsvorrichtung 34 steht in Verbindung mit einem Computer und bestimmt die Umdrehungsgeschwindigkeit in Reaktion auf Daten bezüglich der mechanischen Drahtspannung, die während des Umdrehungsgeschwindigkeitsberechnungsvorgangs ermittelt werden.

Bei der vierten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist, wie in Fig. 21 gezeigt, die Einsatzbedingungseingabevorrichtung 35 vorgesehen, die eine Kathodenstrahlröhre, eine Tastatur und eine Anzeigevorrichtung zur Kommunikation mit einem Computer aufweist. Während des Einsatzbedingungseingabevorgangs, der von der Computersoftware durchgeführt wird, wird der Einsatzzustand eingegeben. Die Antriebsentformungsberechnungsvorrichtung 36 steht mit einem Computer in Verbindung, bestimmt die Entfernung des Antriebs und legt die Entfernung des Antriebs unter Verwendung der Computersoftware fest. Die Nachrichtausführungsvorrichtung 37 kommuniziert mit dem Computer und korrigiert eine programmierte Ortskurve unter Verwendung der erhaltenen Entfernung des An-

triebs, wobei der Nachrichtausführungsvorgang durch die Software durchgeführt wird.

Fig. 23 erläutert die fünfte Ausführungsform der Erfindung, bei welcher die Temperaturmessvorrichtung 39 zur Erfassung der Temperatur unter Verwendung eines Temperatursensors vorgesehen ist, der an der Welle angebracht ist. Die Zimmertemperaturmessvorrichtung 40 erfasst die Zimmertemperatur unter Verwendung eines äusseren Temperatursensors. Die Verschiebungsspeichervorrichtung 41 speichert bestimmte Verschiebungsspeicherwerte in Bezug auf eine Temperaturdifferenz zwischen der Welle und dem Zimmer. Die Wellenkorrekturberechnungsvorrichtung 42 steht in Verbindung mit einem Computer und berechnet das erforderliche Korrekturausmass unter Verwendung der Wellenkorrekturberechnungscomputersoftware, um die Differenz zwischen der Zimmertemperatur und der Temperatur der Welle zu untersuchen.

Weiterhin weist, wie in Fig. 25 bezüglich der Ausführungsform 6 gezeigt ist, die Parametereingabevorrichtung 43 eine Kathodenstrahlröhre und eine Tastatur auf. Die Parametereingabevorrichtung steht in Verbindung mit einem Computer und gibt verschiedene Formgebungsbedingungen in die Parametereingabevorgangssoftware ein. Die Formgebungszustandsspeichervorrichtung 44 speichert Formgebungsbedingungen in Reaktion auf die einzelnen Formgebungsparameter. Die Formgebungszustandseinstellvorrichtung 45 weist eine Kathodenstrahlröhre und eine Tastatur auf. Die Formgebungszustandseinstellvorrichtung 45 steht mit dem Computer in Verbindung, um verschiedene Zustände einzustellen, einschliesslich der Geschwindigkeit, in dem Formgebungszustandseinstellvorgang, der von der Software gesteuert wird. Der voranstehend geschilderte Computer kann ein Mikroprozessor mit integrierten Halbleiterschaltungen sein; bei der Vorrichtung können ein Computer oder mehrere eingesetzt werden.

Die voranstehend geschilderten Ausführungsformen der Erfindung weisen folgende Vorteile auf: eine einfache Verringerung der Schleifscheibenbearbeitungszeit; eine Verbesserung der Genauigkeit der Formgebung der Schleifscheibe; das Verhindern von Einfressungen durch Verringerung der Entladungskonzentration und der Drahtelektrodenschwingungen; Verhindern des Brechens der Drahtelektrode, wodurch eine stabile Formgebung erzielt wird; eine einfache Bereitstellung eines Nachrichtens einer Schleifscheibe; eine Verbesserung der Genauigkeit beim Nachrichten; eine Erhöhung der potenziellen Drehgeschwindigkeitsänderungen unter Verwendung einer Verschiebungsspeichervorrichtung 41; und die Durchführung einer automatischen Formgebung durch Laden von Kombinationen von Parametern für Formgebungszustände, die gespeichert werden können, und auf die zugegriffen werden kann.

Die Erfindung wurde in Bezug auf bestimmte, bevorzugte Ausführungsformen beschrieben. Fachleuten auf diesem Gebiet werden verschiedene Abänderungen und Hinzufügungen innerhalb des Wesens der Erfindung auffallen. Der Umfang der Erfindung ist nur durch die Gesamtheit der vorliegenden Anmeldeunterlagen beschränkt, und soll

von den beigefügten Patentansprüchen umfasst sein.

Patentansprüche

5

1. Schleifscheibenformgebungsvorrichtung zur Ausformung einer Schleifscheibe mithilfe einer elektrischen Entladung, die neben einer Drahtelektrode erzeugt wird, mit:

10

einer Drahtelektrode (1) für eine Bearbeitung mit elektrischer Entladung;
einer Drehvorrichtung (10) zum Drehen der Schleifscheibe (6);

15

einer Umdrehungsgeschwindigkeitssteuervorrichtung (11) zum Steuern der Umdrehungsgeschwindigkeit der Schleifscheibe (6);
einer Energiesteuervorrichtung (9) zum Steuern der Entladungsenergie, welche einem Spalt zwischen der Drahtelektrode (1) und der Schleifscheibe (6)

20

zugeführt wird;

20

einer Relativgeschwindigkeitssteuervorrichtung (17) zum Steuern einer Relativbewegungsgeschwindigkeit zwischen der Drahtelektrode (1) und der Schleifscheibe (6); und

25

einer Feinbearbeitungssteuervorrichtung (23) zum Steuern der Umdrehungsgeschwindigkeitssteuervorrichtung (11), der Energiesteuervorrichtung (9) und der Relativgeschwindigkeitssteuervorrichtung (17).

30

2. Schleifscheibenformgebungsvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass weiterhin vorgesehen sind:

35

eine Spannungserfassungsvorrichtung (24, 50) zur Erfassung einer Spannung an dem Spalt zwischen der Drahtelektrode (11) und der Schleifscheibe (6); und

35

eine Stromerfassungsvorrichtung (25) zur Erfassung eines Stroms an dem Spalt zwischen der Drahtelektrode (1) und der Schleifscheibe (6);

40

wobei die Relativgeschwindigkeitssteuervorrichtung (17) Relativbewegungsgeschwindigkeiten für die Drahtelektrode (1) und die Schleifscheibe (6) unter Verwendung der erfassten Spannung und des erfassten Stroms berechnet.

45

3. Schleifscheibenformgebungsvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass weiterhin vorgesehen sind:

50

eine Auslenkungserfassungsvorrichtung (27) zur Erfassung einer Auslenkung der Drahtelektrode (1) an der Schleifscheibe (6); und

eine Korrekturortskurvensteuervorrichtung (28) zur Berechnung einer Relativbewegungsortskurve für die Drahtelektrode (1) und die Schleifscheibe (6).

50

4. Schleifscheibenformgebungsvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass weiterhin vorgesehen sind:

55

mehrere Drahtzufuhrspulenkörper (29, 30), auf welchen Drahtelektroden (1) mit unterschiedlichen Durchmessern aufgewickelt sind; und

60

eine Drahtelektrodenänderungsvorrichtung (32) zur Auswahl einer der Drahtelektroden (1), damit diese von einem der mehreren Drahtzufuhrspulenkörper (29, 30) zur Schleifscheibe (6) läuft;

65

wobei die Umdrehungsgeschwindigkeitssteuervorrichtung (11) die Drehzahl der Schleifscheibe (16)

in Reaktion auf den Durchmesser einer ausgewählten Drahtelektrode (1) berechnet.

5. Schleifscheibenformgebungsvorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass weiterhin vorgesehen sind:

eine Nut, die sich im Wesentlichen v-förmig in Richtung auf die Schleifscheibe (6) hin öffnet; und mehrere Drahtführungen (33) zum Führen der Drahtelektrode (1).

6. Schleifscheibenformgebungsvorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass weiterhin eine Spannungssteuervorrichtung (5) für die mechanische Spannung vorgesehen ist, um das Anlegen einer mechanischen Spannung an die Drahtelektrode (1) zu steuern, wobei die Drehzahl der Schleifscheibe (6) in Reaktion auf die mechanische Spannung der Drahtelektrode (1) geändert wird.

7. Schleifscheibenformgebungsvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass weiterhin vorgesehen sind:

eine Einsatzbedingungsingabevorrichtung (35) zur Eingabe von Einsatzbedingungen;

eine Antriebsentfernungsberechnungsvorrichtung (36) zur Berechnung einer Antriebsentfernung während eines Nachrichtenvorgangs in Reaktion auf die Einsatzbedingungen; und

eine Nachrichtenausführungsvorrichtung (37) zur Verwendung eines Programms zur Bereitstellung einer gewünschten Form zum Nachrichten der Schleifscheibe (6) entsprechend der Antriebsentfernung, welche von der Antriebsentfernungsberechnungsvorrichtung (36) berechnet wird.

8. Schleifscheibenformgebungsvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass weiterhin vorgesehen sind:

eine Temperaturmessvorrichtung (39) zur Messung der Temperatur einer Welle (38) der Drehvorrichtung (10); und

eine Zimmertemperaturmessvorrichtung (40) zur Messung der Zimmertemperatur;

eine Verschiebungsspeichervorrichtung (41) zum Speichern einer Verschiebungsentfernung für jede Temperatur der Welle (38); und

eine Wellenkorrekturberechnungsvorrichtung (42) zur Korrektur der Relativpositionen der Drahtelektrode (1) und der Schleifscheibe (6) in Reaktion auf die Verschiebungsentfernungen, welche infolge einer Änderung der Wellentemperatur auftreten.

9. Schleifscheibenformgebungsvorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass weiterhin vorgesehen sind:

eine Parametereingabevorrichtung (43) zur Eingabe von Formgebungsparametern;

eine Formgebungszustandsspeichervorrichtung (44) zum Nummerieren von Kombinationen der Formgebungsparameter als Formgebungszustände und zum Speichern dieser Kombinationen; und

eine Formgebungszustandseinstellvorrichtung (45) zum Einstellen der gespeicherten Formgebungszustände.

10. Verfahren zur Ausformung von Schleifscheiben unter Verwendung einer Schleifscheibenformgebungsvorrichtung nach einem der vorangehenden Patentansprüche, umfassend die Verfahrensschritte: Drehen einer Schleifscheibe (6); und

Bewegen einer Drahtelektrode (1) über die Schleifscheibe (6);

Bewegen der Drahtelektrode (1) und der Schleifscheibe (6) relativ zueinander;

5 Steuern der Relativbewegungsgeschwindigkeit zwischen der Drahtelektrode (1) und der Schleifscheibe (6) unter Verwendung einer Relativgeschwindigkeitssteuervorrichtung (17);

10 Steuern der Umdrehungsgeschwindigkeit der Schleifscheibe (6) unter Verwendung einer Umdrehungsgeschwindigkeitssteuervorrichtung (11); und Erzeugung einer Entladung über eine Arbeitsflüssigkeit an einem Spalt zwischen der Drahtelektrode (1) und der Schleifscheibe (6);

15 Entladen von Energie von der Drahtelektrode (1) an den Spalt zur Ausformung der Schleifscheibe (6); Steuern der Energieentladung unter Verwendung einer Energiesteuervorrichtung (9); und

20 Steuern der Relativgeschwindigkeitssteuervorrichtung (17), der Umdrehungsgeschwindigkeitssteuervorrichtung (11) und der Energiesteuervorrichtung (9), während die Schleifscheibe (6) gedreht wird, um so die Umdrehungsgeschwindigkeit der Schleifscheibe (6) und die Entladungsenergie für eine

25 Feinbearbeitung einzustellen, und die Bewegungsgeschwindigkeit für die Drahtelektrode oder die Schleifscheibe so einzustellen, dass eine Formgebung mit Hochgeschwindigkeit während der Feinbearbeitung ermöglicht wird.

30 11. Verfahren nach Anspruch 10, gekennzeichnet durch weitere folgende Schritte: Ausformen der Schleifscheibe (6) durch eine Grobbearbeitung, unabhängig von einem Feinbearbeitungsschritt, wobei eine Formgebung durchgeführt wird, während ein konstanter Endbearbeitungsrest für eine gewünschte Form übriggelassen wird; und

35 Ausformen der Schleifscheibe (6) durch eine nachfolgende Feinbearbeitung, in welcher der Endbearbeitungsrest entfernt wird, um die gewünschte Form zu erzielen.

40 12. Verfahren nach Anspruch 10, gekennzeichnet durch folgende weitere Schritte: mehrfache Durchführung der Feinbearbeitung, mit schrittweiser Verringerung der Entladungsenergie, die dem Spalt zwischen der Drahtelektrode (1) und der Schleifscheibe (6) zugeführt wird; und

45 schrittweise Änderung der Geschwindigkeit, mit welcher sich die Drahtelektrode (1) und die Schleifscheibe (6) relativ zueinander bewegen, in Reaktion auf die schrittweise Verringerung der Entladungsenergie, um so eine gewünschte Form für die Schleifscheibe (6) zu erzielen.

50 13. Verfahren nach Anspruch 10, gekennzeichnet durch folgende weitere Schritte: Abtrennen von Abschnitten der Schleifscheibe (6), welche eine exaktere Endbearbeitung während der Feinbearbeitung erfordern; und

55 Durchführung der Feinbearbeitung nur für diese Abschnitte, um eine gewünschte Form zu erzielen.

60 14. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet dass die Feinbearbeitung einer gewünschten Form die Ausbildung eines scharfkantigen, entfernten Endes erfordert, wobei weiterhin der Schritt vorgesehen ist, die Drahtelektrode (1) und die Schleifscheibe (6) relativ zueinander so zu bewegen,

65

dass sich die Drahtelektrode (1) von der Rückseite der gewünschten Form in Richtung zu dem entfernten Ende bewegt, wodurch die gewünschte Form entlang einer Bearbeitungsortskurve ausgebildet wird, die sich zum entfernten Ende erstreckt.

5

15. Verfahren nach Anspruch 10, gekennzeichnet durch folgende weitere Schritte:

kurvenförmige Ausbildung einer Ortskurve für Relativbewegungen der Drahtelektrode (1) und der Schleifscheibe (6) vor einem Formgebungsstartpunkt und nahe an einer Solloberfläche, die unmittelbar vor dem Startpunkt liegt; und Krümmung der Ortskurve unmittelbar vor einem Formgebungsendpunkt.

10

16. Verfahren nach Anspruch 10, gekennzeichnet durch den Schritt der Bewegung der Drahtelektrode (1) in Laufrichtung in derselben Richtung wie der Drehrichtung der Schleifscheibe (6).

15

17. Verfahren nach Anspruch 10, gekennzeichnet durch den Schritt der Bewegung der Drahtelektrode (1) in geneigter Anordnung zur Achse der Schleifscheibe (6).

20

18. Verfahren nach Anspruch 10, gekennzeichnet durch:

die Erfassung einer Spannung und eines Stroms an dem Spalt zwischen der Drahtelektrode (1) und der Schleifscheibe (6); und

25

Steuern der Relativbewegung der Drahtelektrode (1) und der Schleifscheibe (6) in Reaktion auf die erfasste Spannung und den erfassten Strom.

30

19. Verfahren nach Anspruch 10, gekennzeichnet durch folgende weitere Schritte:

Erfassung einer Auslenkung der Drahtelektrode (1) an der Schleifscheibe (6); und

Steuern einer Relativbewegungsortskurve für die Drahtelektrode (1) und die Schleifscheibe (6), um so eine Verschiebung für eine Endbearbeitungsform zu korrigieren, die von der erfassten Auslenkung herrührt.

35

20. Verfahren nach Anspruch 10, gekennzeichnet durch den Schritt des Steuerns der Drehzahl der Schleifscheibe (6) in Reaktion auf den Durchmesser der Drahtelektrode (1).

40

21. Verfahren nach Anspruch 10, gekennzeichnet durch den Schritt der Änderung des Durchmessers der Drahtelektrode (1) in Reaktion auf einen der folgenden Bearbeitungsschritte:

45

eine Grobbearbeitung, die senkrecht zur Schleifscheibe (6) durchgeführt wird;

eine Grobbearbeitung, die parallel zur Schleifscheibe (6) durchgeführt wird;

50

eine Feinbearbeitung, die einen schrägen Abschnitt ausbildet; und

eine Feinbearbeitung, die einen bogenförmigen Abschnitt ausbildet.

55

22. Verfahren nach Anspruch 10, gekennzeichnet durch den Schritt des Nachrichtens einer verschlissenen Schleifscheibe (6) durch Einstellung einer Bewegungsortskurve der Drahtelektrode (1) und der Schleifscheibe (6) in Richtung nach Innen zum Zentrum der Schleifscheibe (6) hin um eine bestimmte Entfernung in Bezug auf eine Bewegungsortskurve für einen ursprünglichen Formgebungsvorgang für die Schleifscheibe (6).

60

65

FIG.1

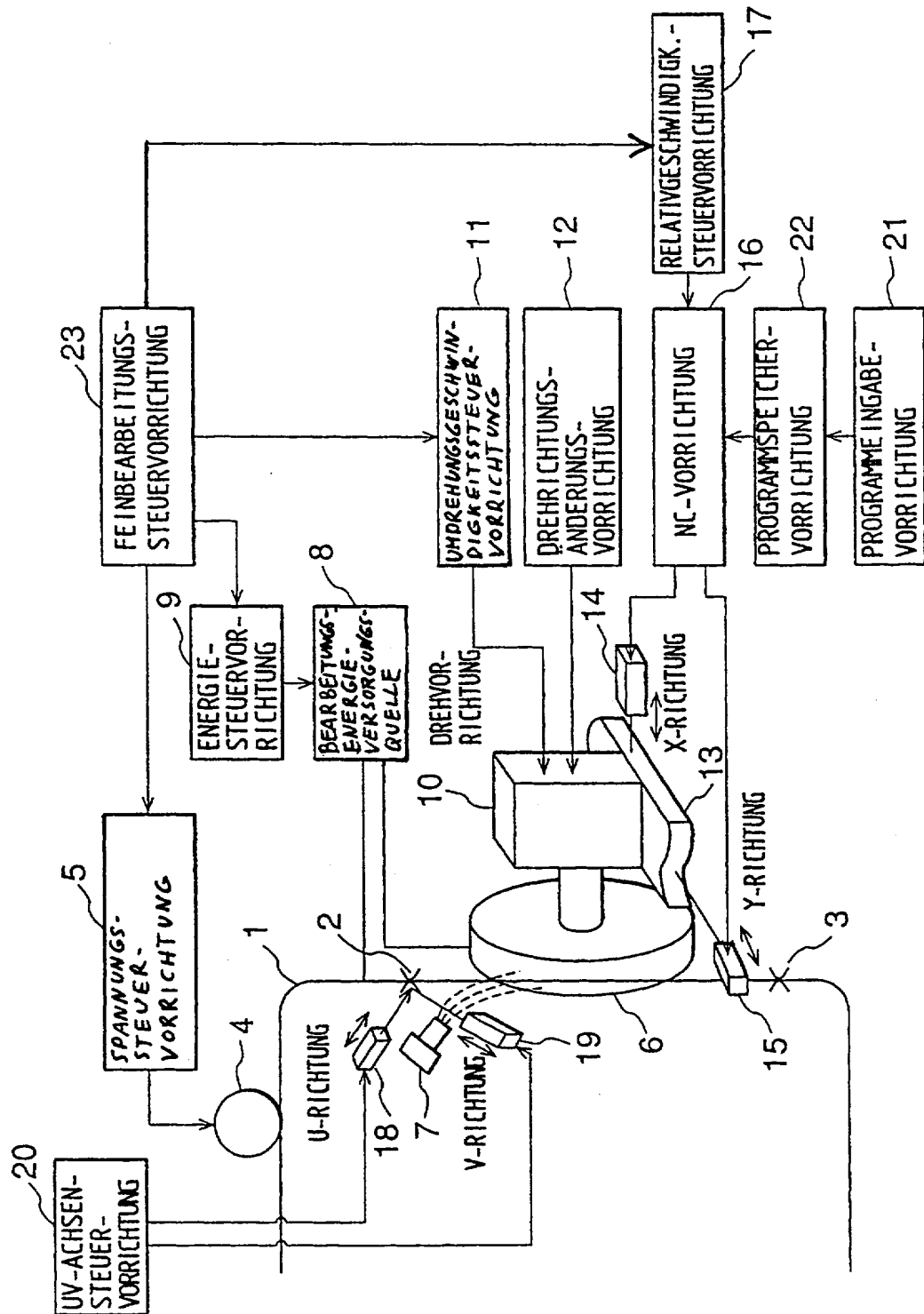


FIG.2

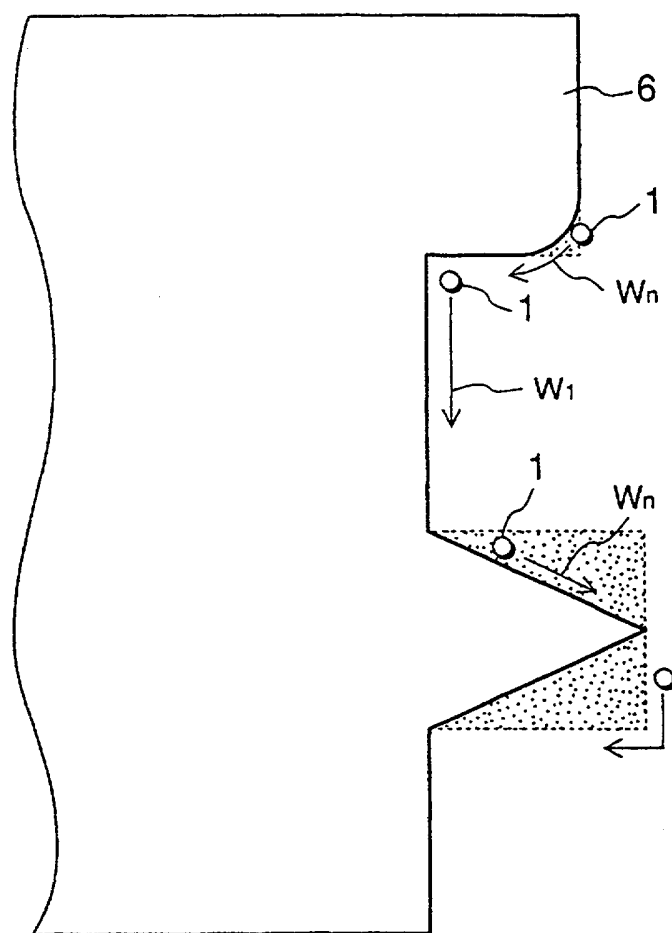
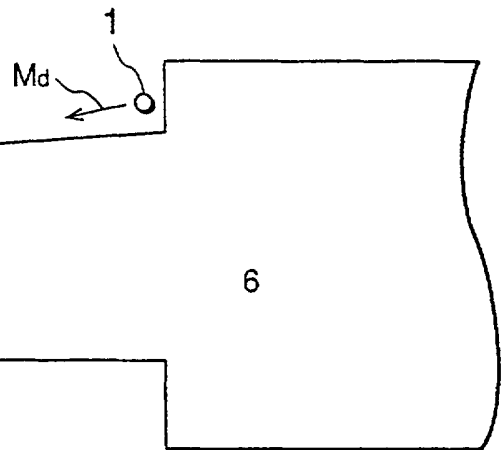
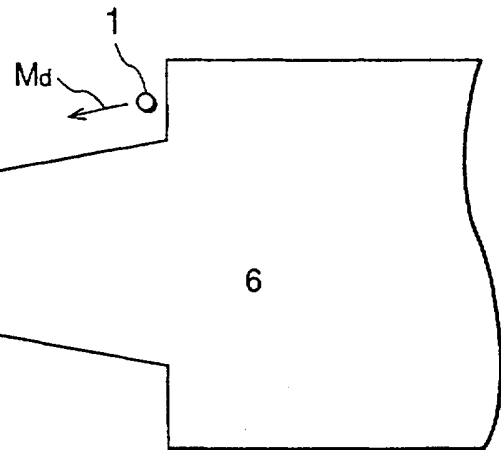


FIG.3

W_{n1}: 1. SCHRITT



W_{n2}: 2. SCHRITT



W_{n3}: 3. SCHRITT

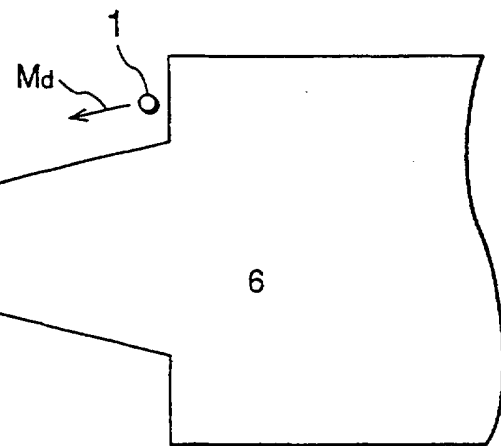


FIG.4

	W _{n1}	W _{n2}	W _{n3}
SPANNUNG	100V	80V	60V
STROMSPITZENWERT	150A	120A	100A
EINSCHALTZEIT	1 μ s	1 μ s	5 μ s
AUSSCHALTZEIT	10 μ s	10 μ s	10 μ s
RELATIVBEWEGUNGS- GESCHWINDIGKEIT	0.5mm	0.3mm	0.2mm

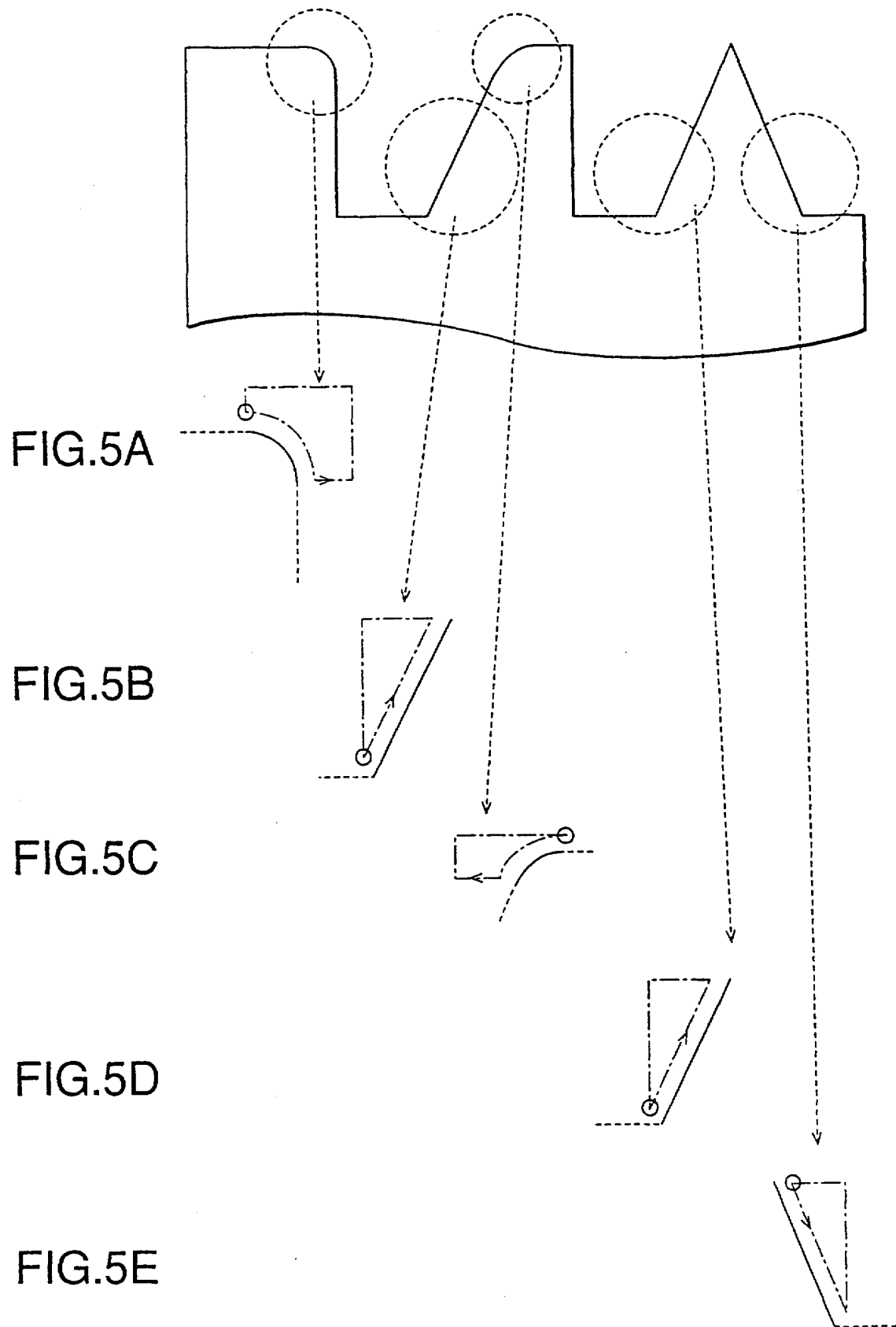


FIG.6A

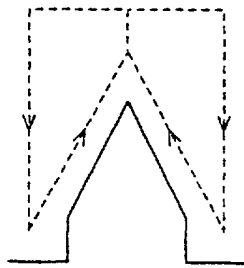


FIG.6B

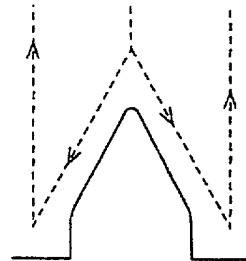


FIG.7A

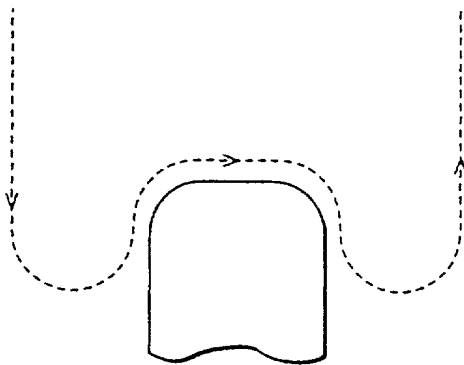


FIG.7B

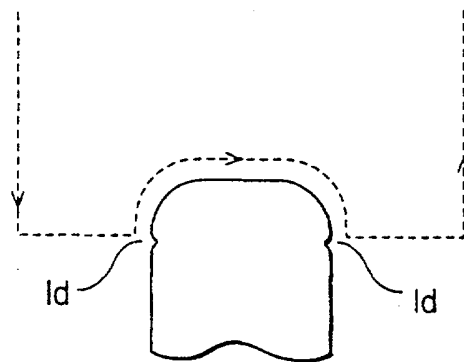


FIG.8A

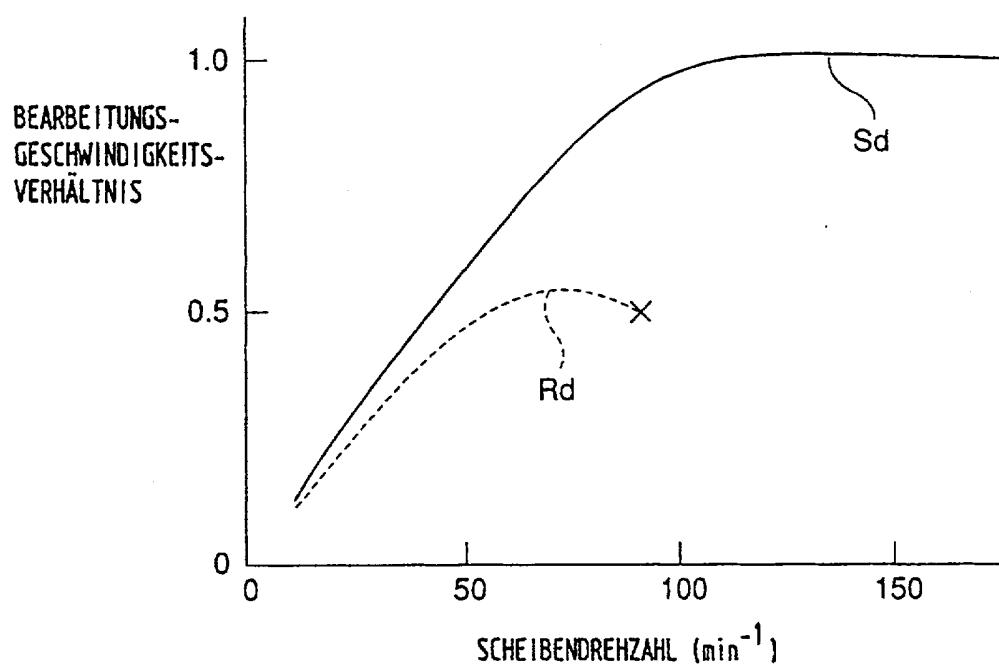
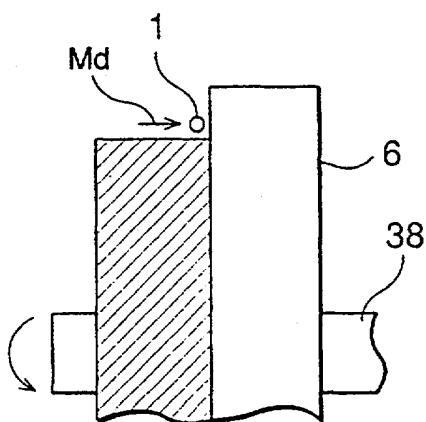


FIG.8B



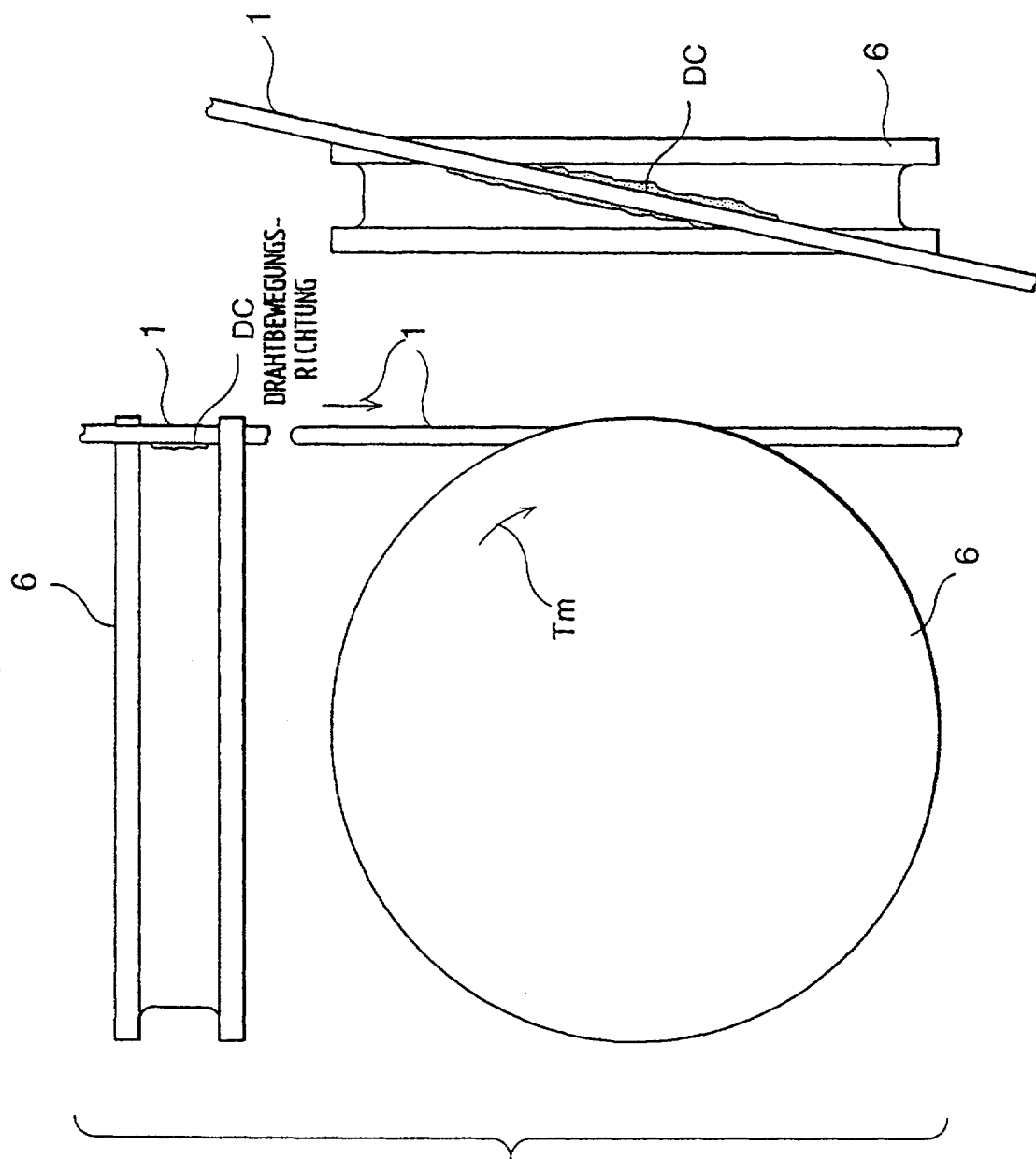


FIG.9

FIG.10

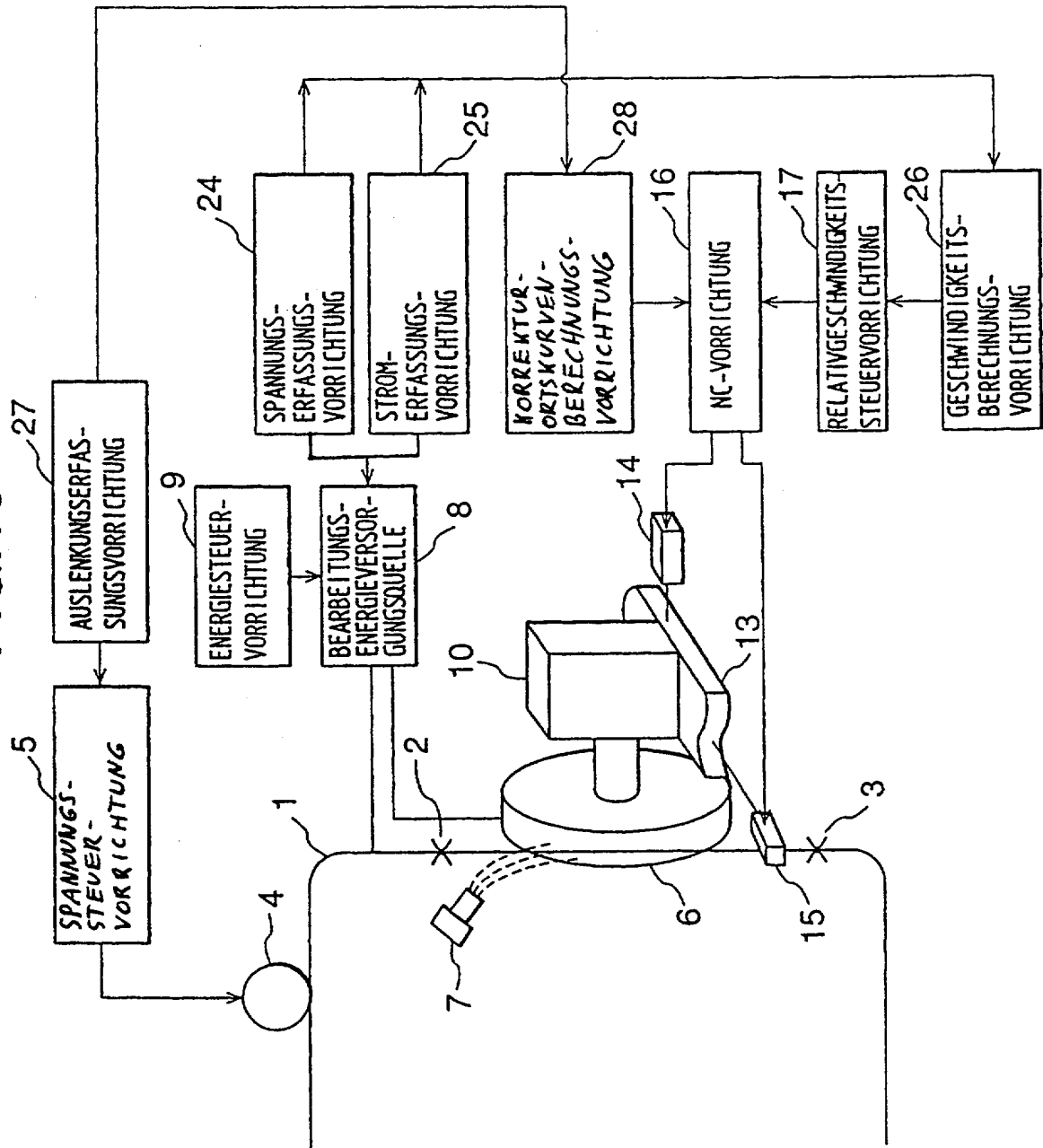


FIG.11A

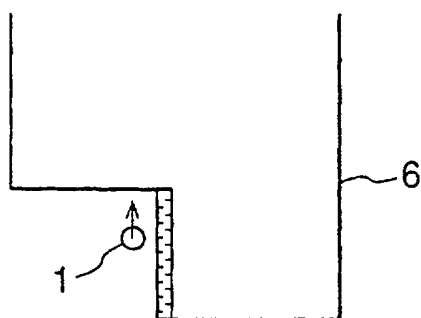


FIG.11B

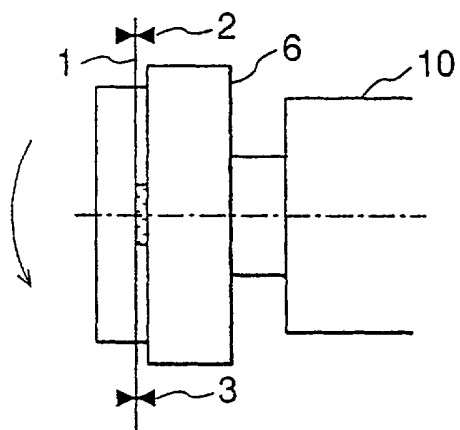


FIG.12

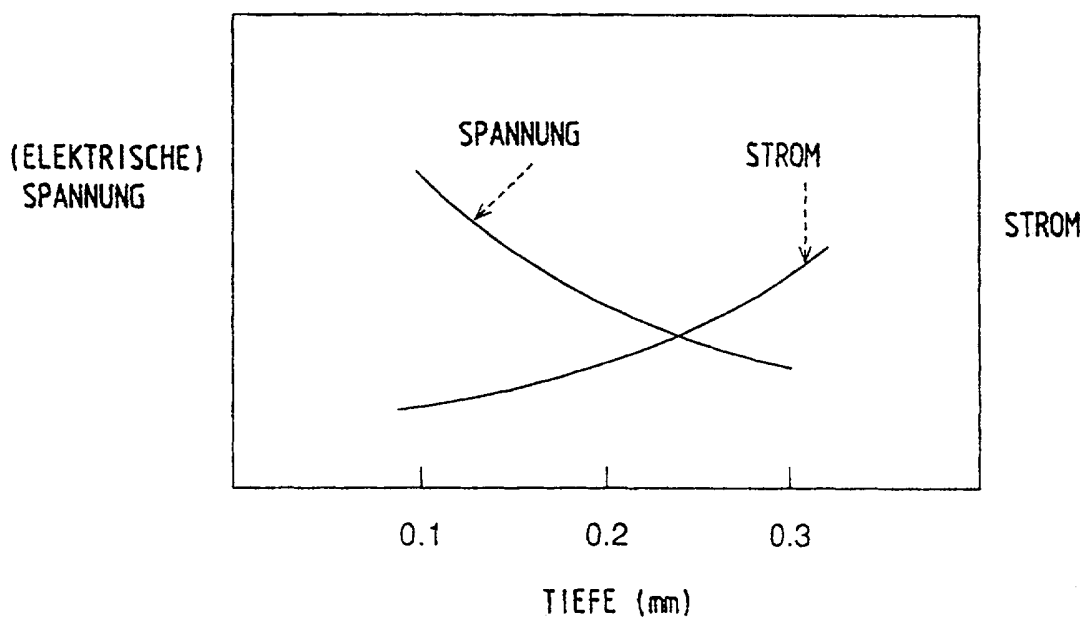


FIG.13

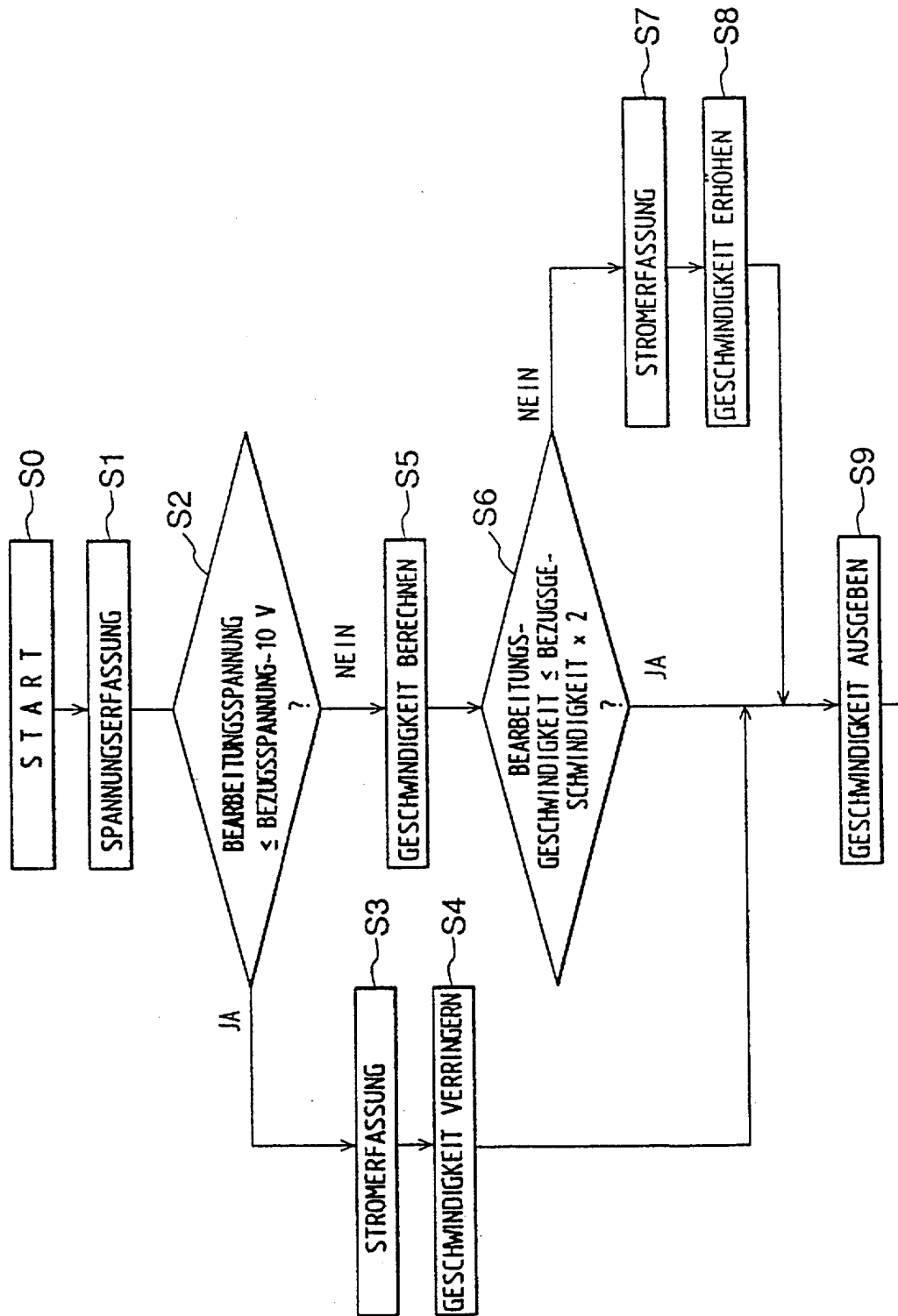


FIG.14A

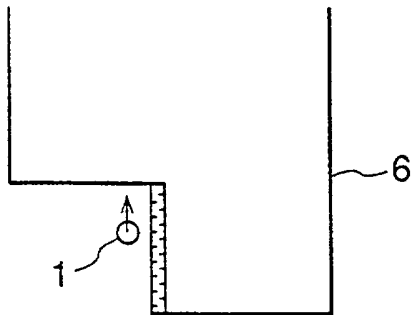


FIG.14B

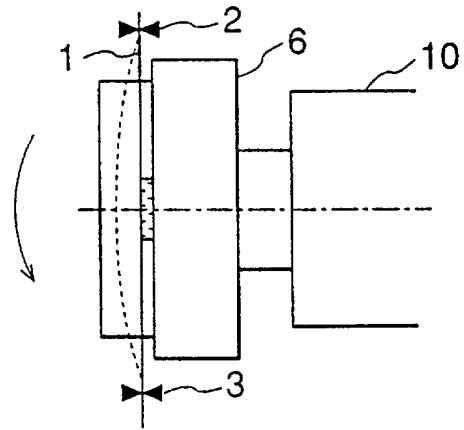


FIG.15

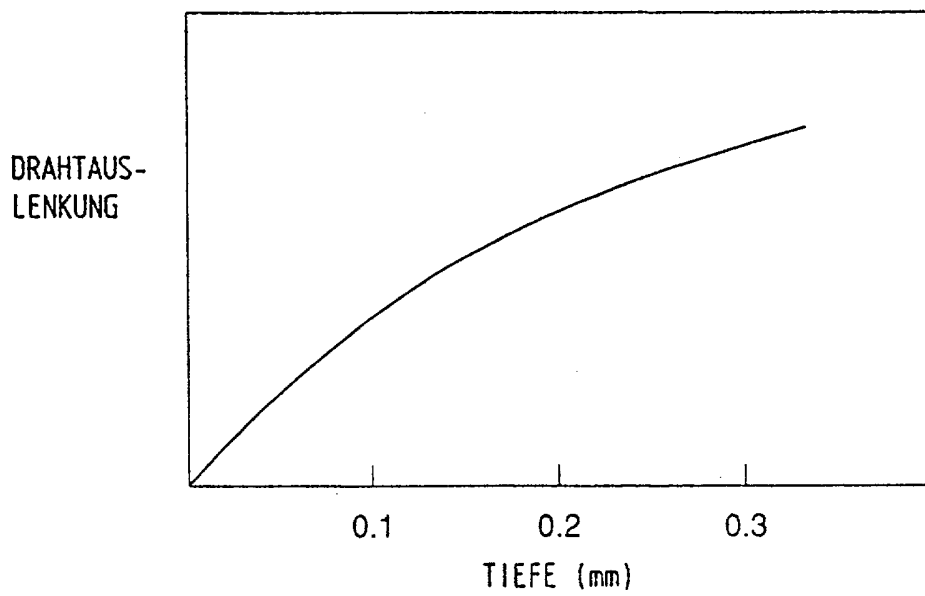


FIG.16A

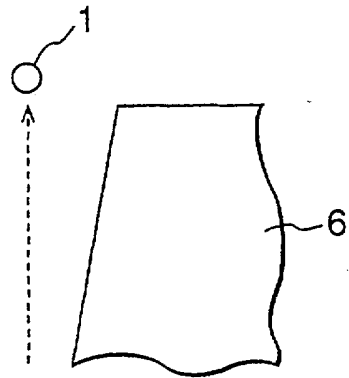


FIG.16B

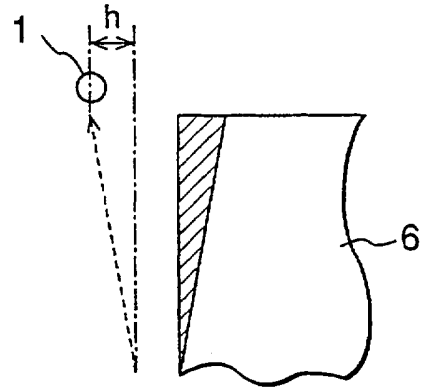


FIG.16C

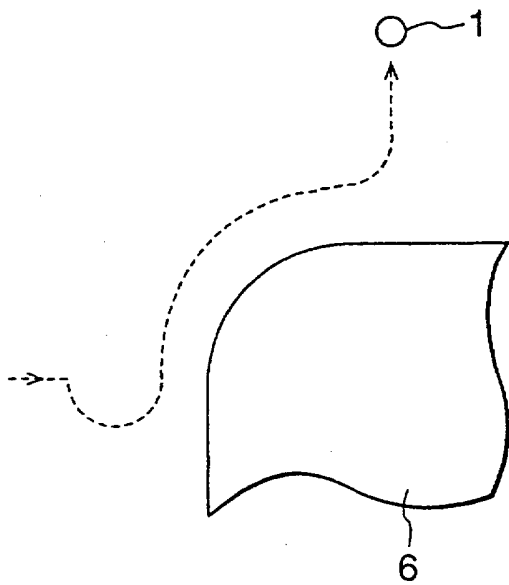


FIG.16D

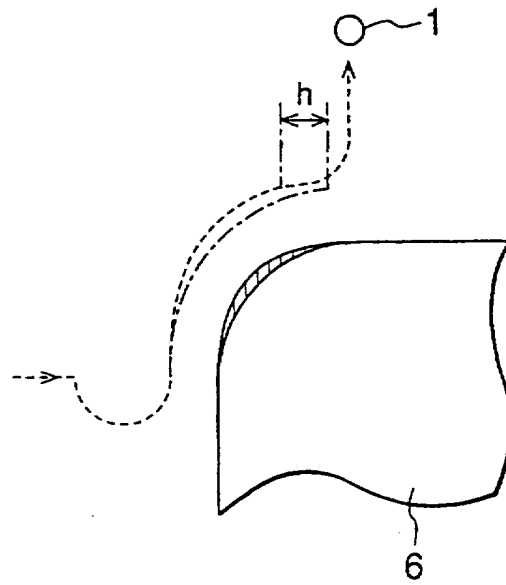
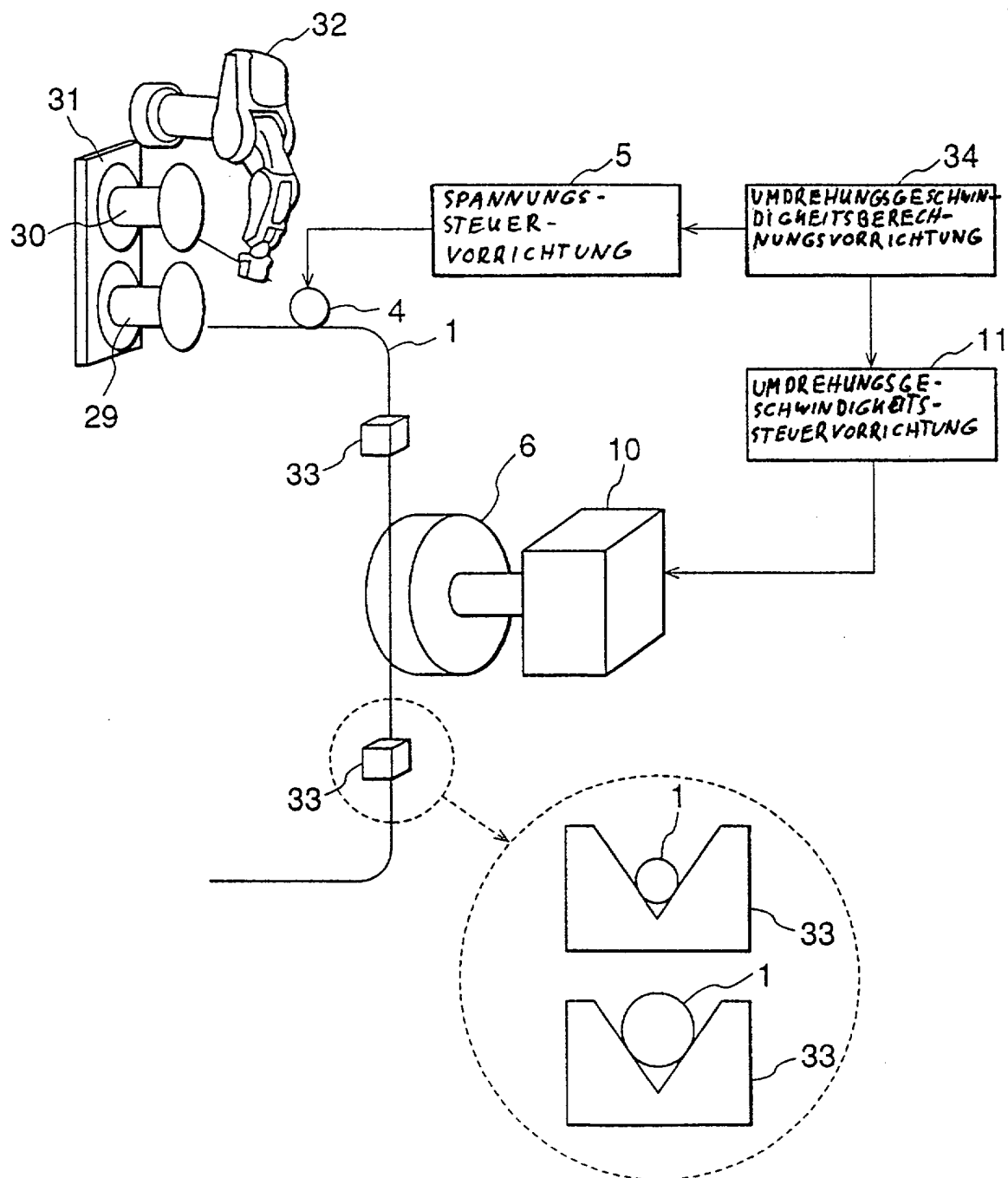


FIG.17



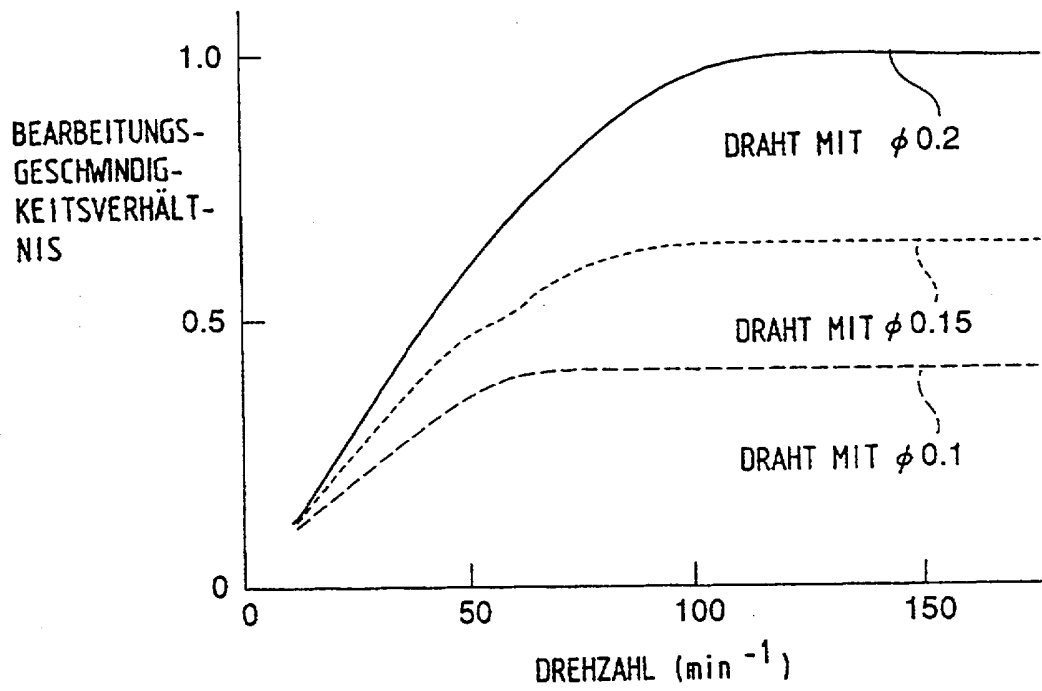


FIG.18B

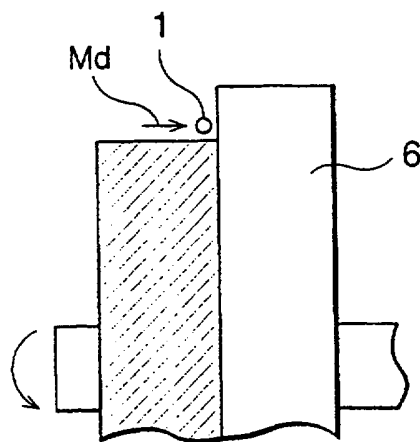


FIG.19A

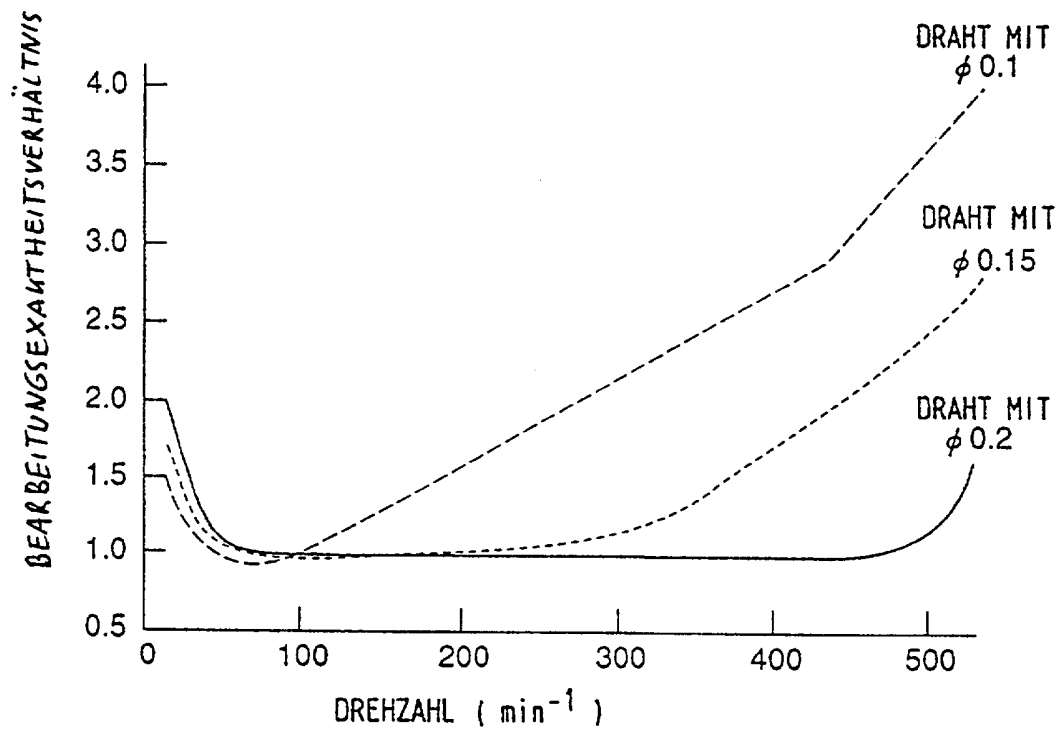


FIG.19B

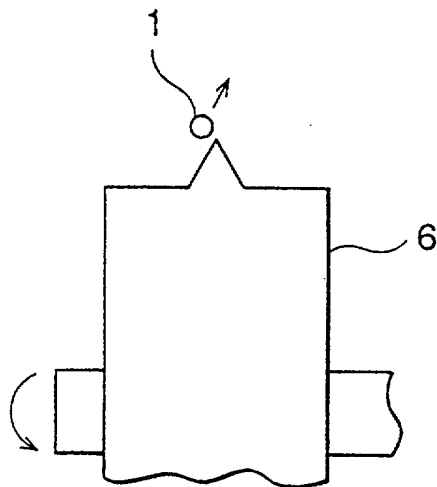


FIG.20A

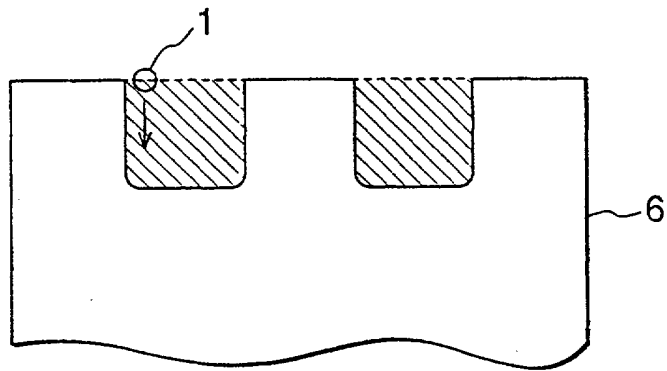


FIG.20B

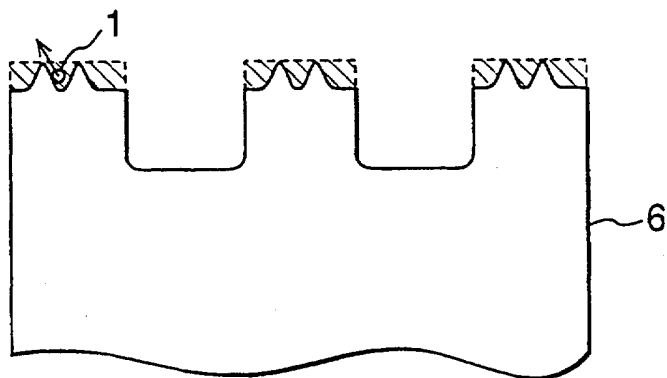


FIG.21

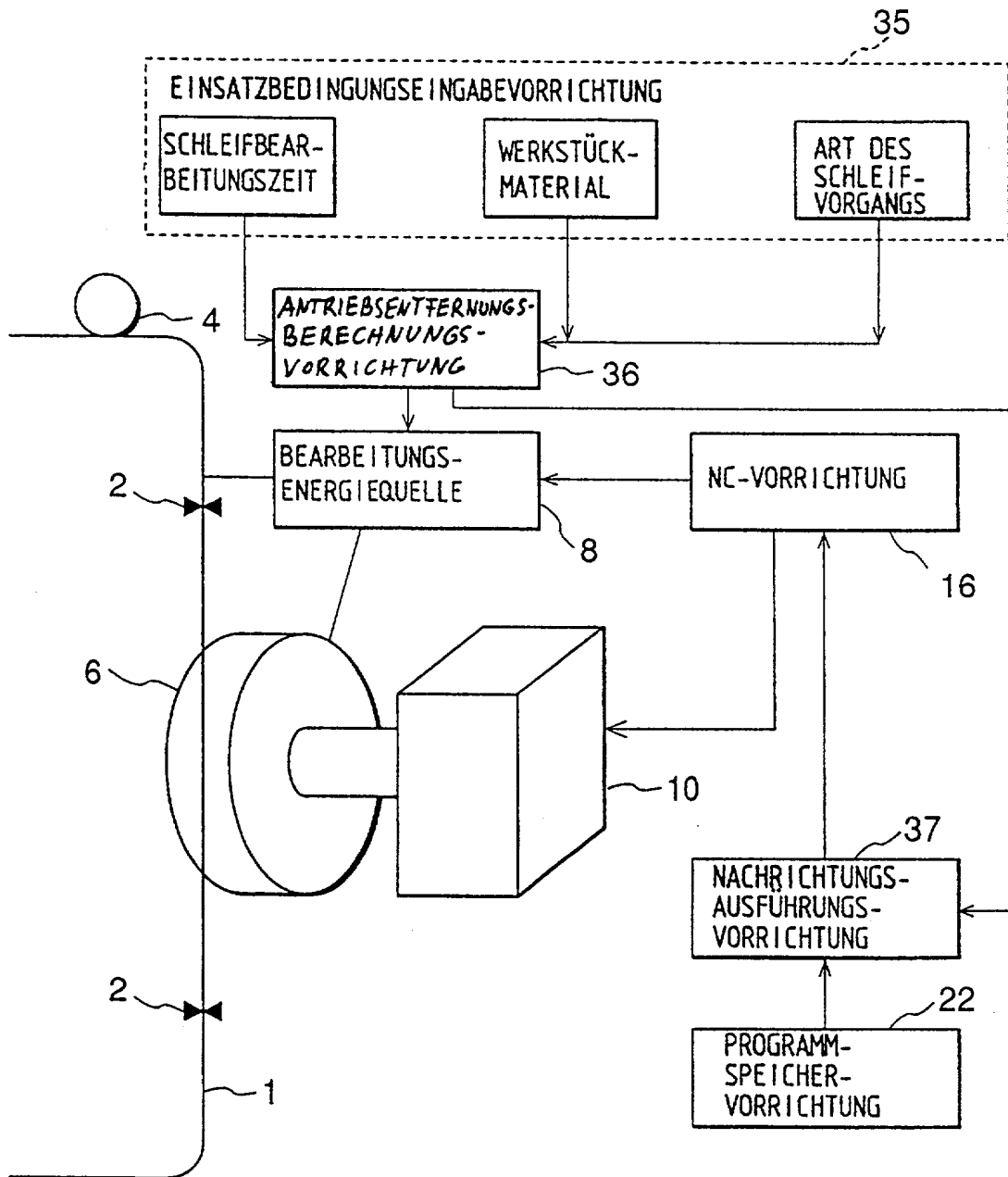


FIG.22A

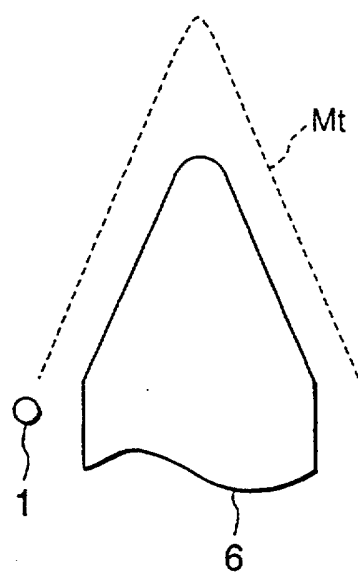


FIG.22B

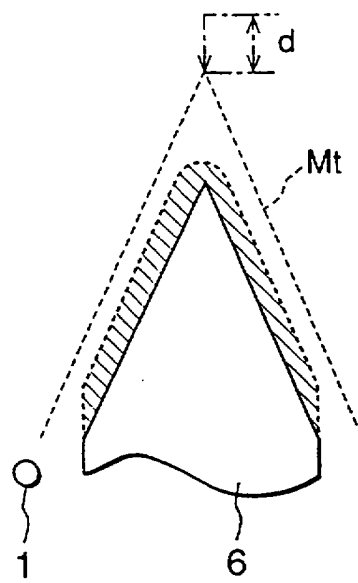


FIG.23

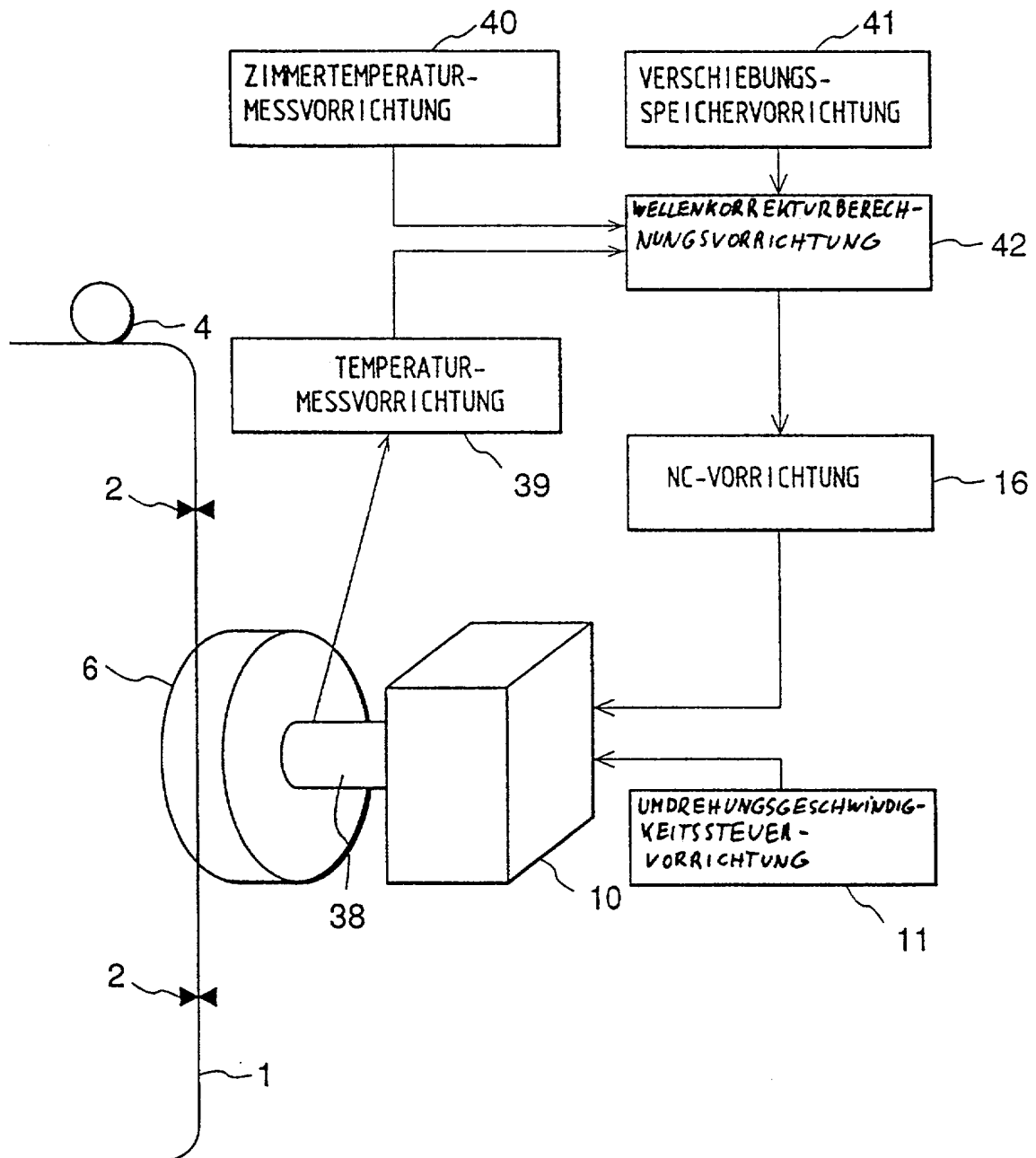


FIG.24

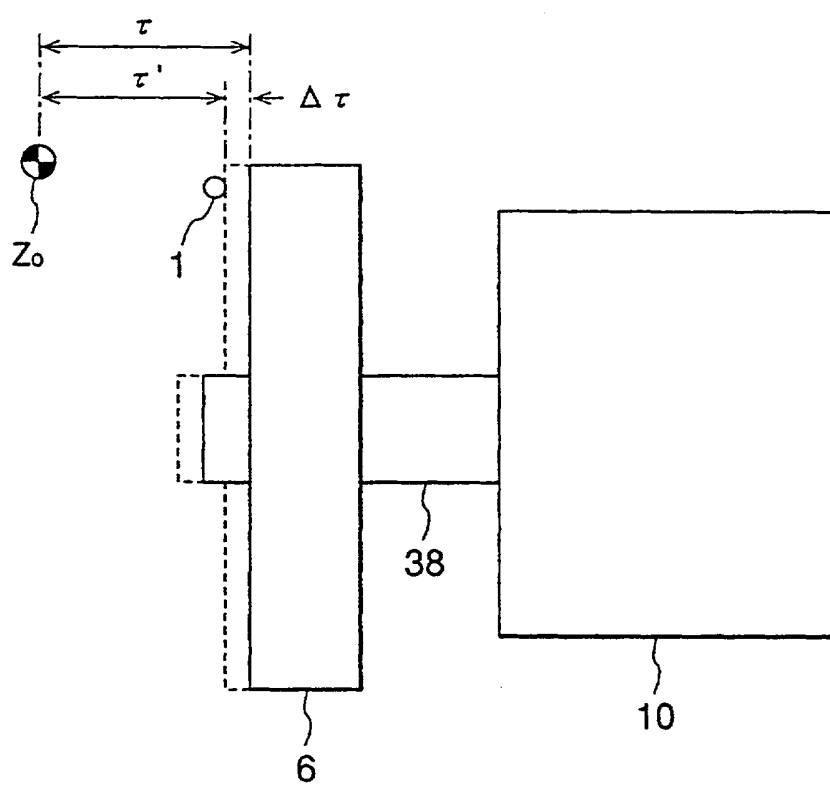


FIG.25

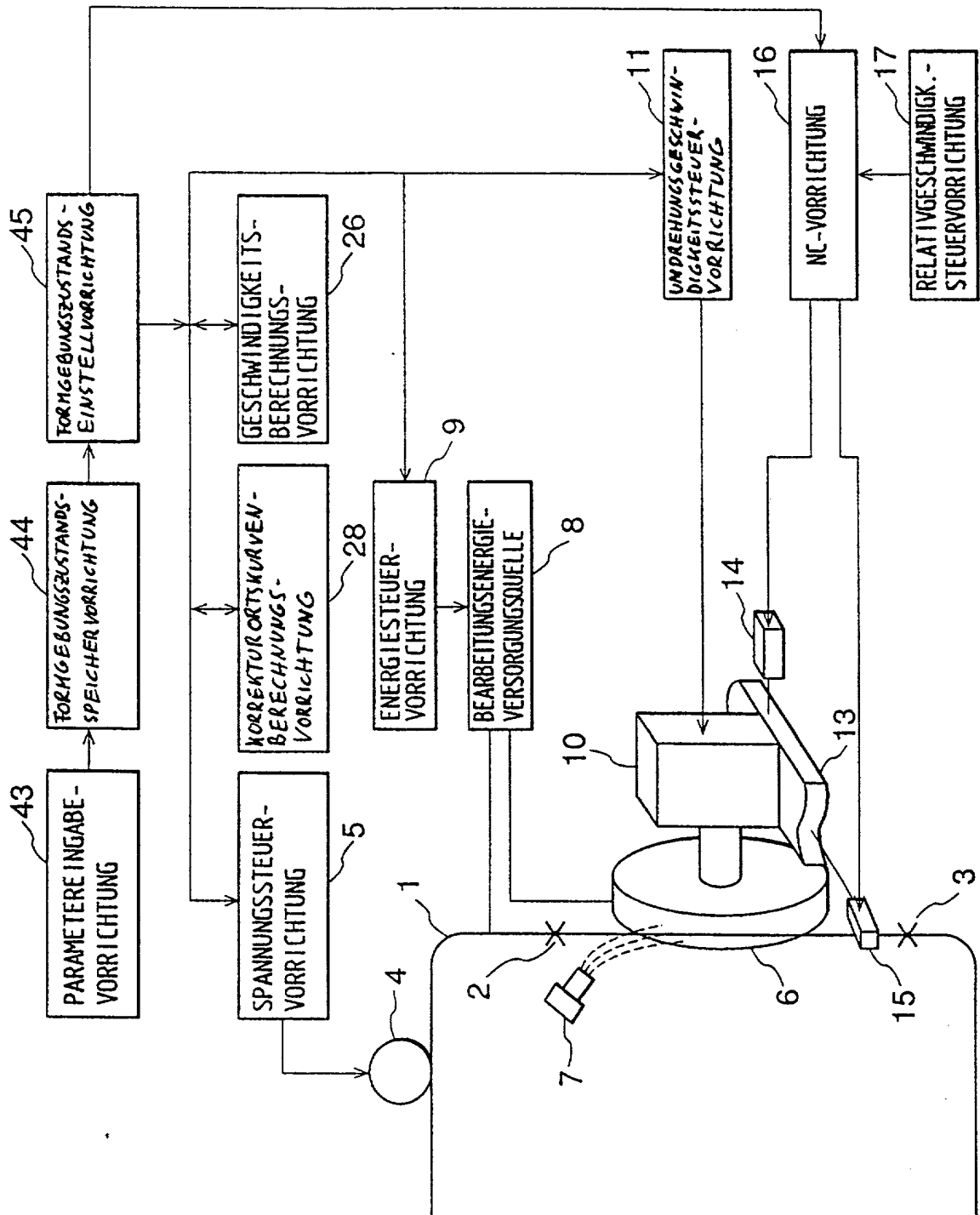


FIG.26

E100	E101	E102	E103
100	90	80	70
150	130	110	100
1	1	3	5
10	10	10	10
0.5	0.4	0.3	0.3
50	50	60	60
1000	1000	1100	1200
500	400	200	100
0.05	0.05	0.05	0.04

(a) SPANNUNG

(b) STROMSPITZENWERT

(c) EINSCHALTZEIT

(d) AUSSCHALTZEIT

(e) BEZUGSGESCHWIN-
DIGKEIT

(f) BEZUGSSPANNUNG

(g) (MECH.) DRAHT-
SPANNUNG

(h) SCHEIBENDREHZAHL

(i) AUSMASS DER
KORREKTUR

FIG.27

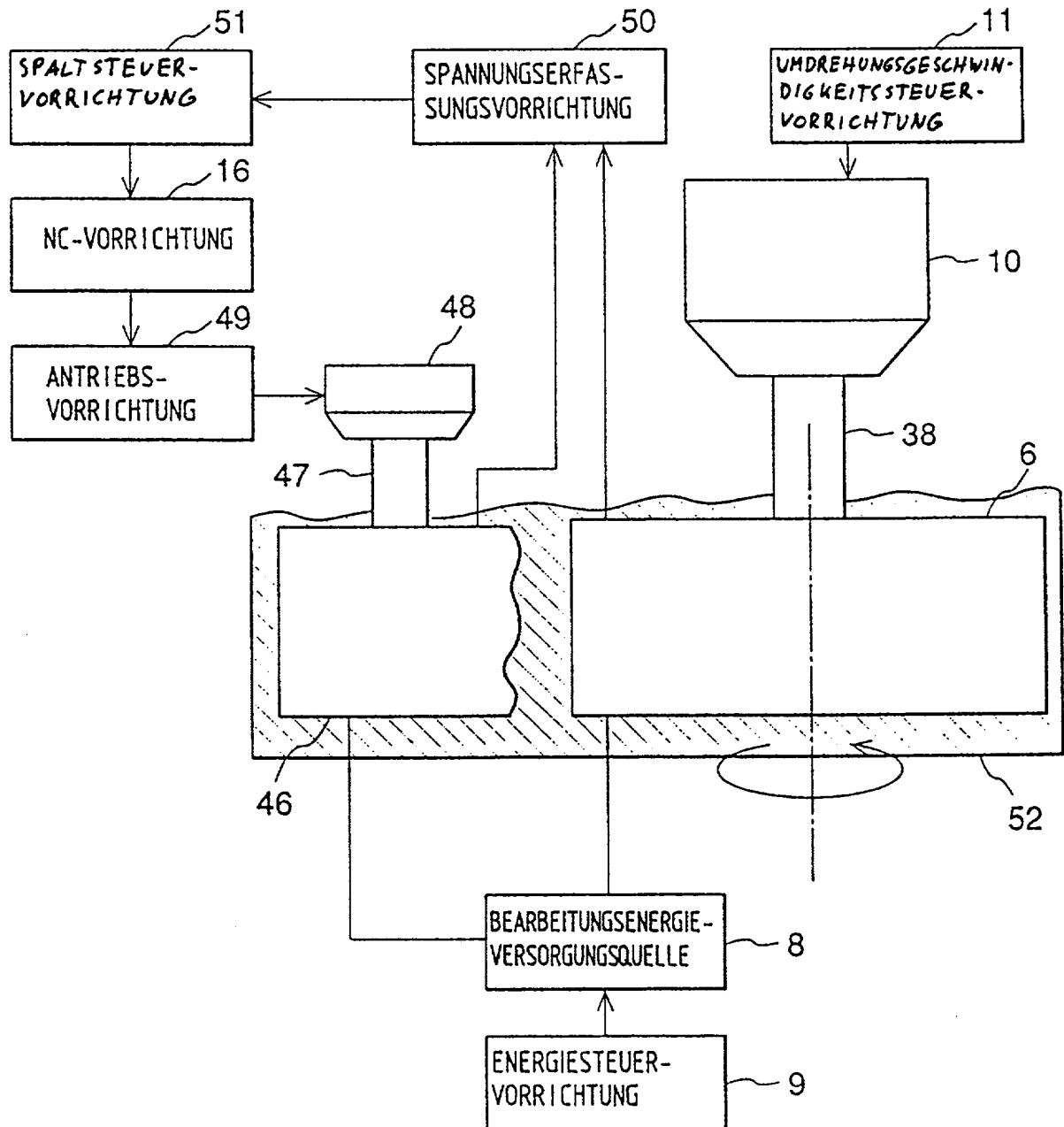


FIG.28

