



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑪ CH 688 185 A5

⑤① Int. Cl.⁶: B 23 H 007/06

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ **PATENTSCHRIFT** A5

②① Gesuchsnummer: 03149/93

②② Anmeldungsdatum: 19.10.1993

③③ Priorität: 20.10.1992 JP A4-281346
30.06.1993 JP A5-162724

②④ Patent erteilt: 13.06.1997

④⑤ Patentschrift
veröffentlicht: 13.06.1997

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

⑦② Erfinder:
Magara, Takuji, Nagoya-shi/Aichi 461 (JP)
Yamada, Hisashi, Nagoya-shi/Aichi 461 (JP)

⑦④ Vertreter:
Bovard AG, Optingenstrasse 16, 3000 Bern 25 (CH)

⑤④ **Verfahren zum Funkenentladungsschneiden einer Innenecke eines Werkstückes.**

⑤⑦ Eine elektrische Funkenerosions-Bearbeitungsmaschine mit Bearbeitungsdraht für die Bearbeitung einer Ecke an einem Werkstück, welche eine Luftspalt-Fehlertension zur Erzeugung einer Steuergeschwindigkeits-Komponente verwendet. Eine Geschwindigkeits-Steuervorrichtung wird zur Begrenzung einer Steuergeschwindigkeit auf nicht mehr als einen eingestellten Geschwindigkeitswert verwendet. Als Alternative wird die Fehlertension zur Erzeugung der Kombination einer Integrations-Komponente und einer Sprungantwort-Komponente verwendet, welche dann zur Erzeugung einer Steuergeschwindigkeit verwendet wird. Ausserdem kann eine Innenecke mit einem kleinen minimalen Eckradius mit einer hohen Genauigkeit bearbeitet werden, durch eine derartige Definition einer Vielzahl von Bearbeitungspfaden mit einem kreisförmigen Abschnitt an einer Innenecke, dass diese den gleichen Radius erhalten.



Beschreibung

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren gemäss Anspruch 1.

Die Fig. 6a zeigt eine konventionelle elektrische Funkenerosions-Maschine. In dieser Zeichnung ist eine Drahtelektrode 1 mit einem Bearbeitungs-Speisegerät 3 verbunden, und ein Werkstück 2 ist beweglich montiert auf einem X-Tisch 4, welcher das Werkstück 2 in X-Richtung bewegt, und auf einem Y-Tisch 5, welcher das Werkstück 2 in Y-Richtung bewegt. Motoren 6a und 6b werden zum Bewegen des X- bzw. des Y-Tisches betrieben, während Servoverstärker 7a, 7b die Motoren 6a bzw. 6b ansteuern. Im Betrieb bilden ein NC-Programm 8 (NC: numerische Steuerung) und eine Speichervorrichtung 9, welche Offsetdaten (Versetzungsdaten) speichert, Eingangsgrössen für eine NC-Einheit 10, welche eine (nicht gezeigte) Arithmetikeinheit enthält für die Berechnung von Bearbeitungspfaden, basierend auf dem NC-Programm und den Offsetdaten. Ein Steuerapparat 11 steuert die effektiven Achsenbewegungen in Abhängigkeit der durch die NC-Einheit 10 berechneten Bearbeitungspfade.

In einem konventionellen Beispiel wird die Drahtelektrode 1 durch eine (nicht gezeigte) Drahtelektroden-Betriebsvorrichtung betrieben, und das Bearbeitungs-Speisegerät 3 speist einen Impulsstrom in die Strecke zwischen der Drahtelektrode 1 und dem Werkstück 2 ein, um das Werkstück 2 zu bearbeiten. Die NC-Einheit 10 berechnet die Bearbeitungspfade, basierend auf dem NC-Programm und 5 den Offsetdaten, welche zuvor vom Speicher oder von einem NC-Magnetband geliefert wurden. Abhängig von den Resultaten der Bearbeitungspfad-Berechnung gibt der Steuerapparat 11 Bewegungsbefehle an die X- und Y-Bewegungs-Servoverstärker 7a, 7b zum Ansteuern der Motoren 6a, 6b aus, wodurch sich die Drahtelektrode 1 und das Werkstück 2 gegenseitig in zwei Dimensionen bewegen, um das Werkstück 2 zu bearbeiten.

Die richtige Wahl der Höhe der Betriebsspannungen ist eine gut bekannte Forderung zur Erzielung einer hohen Bearbeitungsqualität. Die Fig. 6b zeigt weitere Details der konventionellen elektrischen Funkenerosions-Maschine. In dieser Zeichnung weisen die bereits in der Fig. 6a gezeigten Bestandteile die gleichen Bezugszeichen auf. Eine Erkennungsschaltung 12 für den Bearbeitungsluftspalt wird verwendet, um eine mittlere Spannung über dem Bearbeitungsluftspalt während der Bearbeitung zu erkennen. Der Draht 1 wird von einer Drahtrolle 14 über einen Zugspannmechanismus 17 zum Luftspalt geliefert, der im Werkstück 2 gebildet wird. Der Draht passiert dann über eine Drahtrolle 15 und wird in einem Drahtauffanggefäss 16 aufgefangen. Beim Luftspalt wird der Draht 1 durch dielektrische Düsen 13a und 13b geführt.

Die Fig. 6c zeigt ein Geschwindigkeits-Steuerprogramm für den NC-Apparat 10. Zuerst wird als Schritt S20 die mittlere Spannung detektiert, dann berechnet die Arithmetikeinheit der NC-Einheit 10 als Schritt S21 einen Fehler zwischen einer eingestellten Spannung und einer mittleren Spannung über dem Bearbeitungsluftspalt pro vorbestimmte Abtastzeit. Als Verarbeitungsschritt S22 berechnet die Arithmetikeinheit der NC-Einheit 10 einen Geschwindigkeitssteuerbefehl pro vorbestimmte Abtastung aus der im Schritt S21 ermittelten Fehlerspannung.

Im Betrieb bewirkt ein Geschwindigkeitssignal des NC-Apparates 11, dass der Servoverstärker 7 den Servomotor 6 ansteuert, wodurch die Tische 4, 5 derart bewegt werden, dass das Werkstück 2 in Übereinstimmung mit einem gewünschten Ablauf bewegt wird. Die Bewegungsgeschwindigkeit während der Bearbeitung ändert in Abhängigkeit des Zustandes des Bearbeitungsluftspaltes. Das heisst, dass die Bewegungsgeschwindigkeit bei breitem Bearbeitungsluftspalt erhöht und bei schmalen Bearbeitungsluftspalt reduziert wird. Bei Verwendung dieser Technik wird eine Berührung der Drahtelektrode 1 mit dem Werkstück 2 verhindert und eine optimale Bearbeitung erreicht. Da der Luftspalt-Abstand während der Bearbeitung aufgrund der mittleren Spannung während der Bearbeitung beurteilt werden kann, wird die Bewegungsgeschwindigkeit im allgemeinen derart gesteuert, dass die mittlere Spannung über dem Bearbeitungsluftspalt mit einem vorbestimmten, eingestellten Wert übereinstimmt.

Die mittlere Spannung wird nämlich, wie in der Fig. 6c gezeigt wird, während des Schrittes S20 detektiert. Alsdann wird eine Differenz zwischen einer eingestellten Spannung V_s , welche durch die Arithmetikeinheit vorbestimmt wurde, und der mittleren Spannung über dem Bearbeitungsluftspalt V , welche durch die Erkennungsschaltung 12 für den Bearbeitungsluftspalt detektiert wurde (hiernach als Fehlerspannung V_e bezeichnet) zum ersten Mal während des Schrittes S21 berechnet. Die Arithmetikeinheit der NC-Einheit 10 berechnet dann einen Geschwindigkeitskomponenten-Änderungswert $DF_{(n)}$, definiert als Funktion der Fehlerspannung V_e . $DF_{(n)}$ wird erhalten aus dem Produkt des Konversionsparameters K , welcher einen Spannungswert in einen Geschwindigkeitswert umwandelt, und der Fehlerspannung $V_{e(n)}$. Alsdann wird die aufdatierte Steuergeschwindigkeit $F_{(n)}$, die als Resultat aus der Addition des Geschwindigkeitskomponenten-Änderungswerts $DF_{(n)}$ zu einem vorher berechneten Wert $F_{(n-1)}$ erhalten wird, berechnet. Dieses Steuergeschwindigkeits-Signal wird zum Servoverstärker 7 übertragen, um den Servomotor 6 anzusteuern, wodurch der Tisch 4 und das Werkstück 2 mit einer gewünschten Steuergeschwindigkeit bewegt werden. Solche arithmetischen Operationen werden für jede vorbestimmte Abtastzeit wiederholt. Demgemäss wird die Steuerung derart vorgenommen, dass die Bewegungsgeschwindigkeit des Werkstücks in Abhängigkeit des Zustandes des Bearbeitungsluftspaltes, und dass die Bearbeitung weitergeführt wird.

Diese Art der Geschwindigkeitssteuerung ist spezifisch für elektrische Draht-Funkenerosions-Maschinen, bei denen das Steuerungssystem zur Vermeidung von sprunghaften Geschwindigkeitsänderungen

ausgelegt ist. Da die Drahtelektrode nicht steif ist, erzeugt eine steile Änderung der Geschwindigkeit eine Schwingung, welche das Schliessen und das Öffnen des Bearbeitungsluftspaltes wiederholt, was zur Unfähigkeit führt, das Werkstück richtig zu bearbeiten.

Es wird nun die Feinbearbeitung einer Ecke angesichts dieser Bedingungen betrachtet. Die Fig. 7a zeigt Änderungen beim Materialabtrag in der Feinbearbeitung einer Innenecke, wobei A einen Abschnitt mit geradliniger Bewegung angibt, B einen Abschnitt mit zunehmendem Abtrag bezeichnet, in welchem der Abtrag vor der Ecke zunimmt, C einen Abschnitt mit Bogenbewegung darstellt, D einen Abschnitt mit abnehmendem Abtrag bezeichnet, in welchem der Abtrag vor dem Ende der Bogenbewegung abnimmt, und E einen Abschnitt mit geradliniger Bewegung nach der Ecke angibt. O₁ bis O₄ bezeichnen Drahtzentrumpositionen in einem Eck-Feinbearbeitungsverfahren, wobei O₁ die Drahtzentrumposition am Ausgangspunkt des Abschnittes mit zunehmendem Abtrag darstellt, O_B die Drahtzentrumposition an irgendeinem Punkt im Abschnitt B mit zunehmendem Abtrag, O₂ die Drahtzentrumposition am Ausgangspunkt der Bogenbewegung C bezeichnet, O₃ die Drahtzentrumposition am Ausgangspunkt des Abschnittes D mit abnehmendem Abtrag angibt, O_D die Drahtzentrumposition an irgendeinem Punkt innerhalb des Abschnittes D mit abnehmendem Abtrag bezeichnet, und O₄ die Drahtzentrumposition am Endpunkt der Bogenbewegung angibt.

L₁ bis L₄ stellen Abtragsmengen an entsprechenden Drahtzentrumpositionen O₁ bis O₄ dar, wobei L₁ den Abtrag bezeichnet, wenn sich das Drahtzentrum an der Stelle O₁ befindet, L_B den Abtrag bezeichnet, wenn sich das Drahtzentrum an der Stelle O_B befindet, L₂ den Abtrag bezeichnet, wenn sich das Drahtzentrum an der Stelle O₂ befindet, L₃ den Abtrag bezeichnet, wenn sich das Drahtzentrum an der Stelle O₃ befindet, L_D den Abtrag bezeichnet, wenn sich das Drahtzentrum an der Stelle O_D befindet, und L₄ den Abtrag bezeichnet, wenn sich das Drahtzentrum an der Stelle O₄ befindet. Der Parameter r gibt eine Distanz vom Zentrumsunkt eines Bogenortes zu einer bearbeiteten Oberfläche (in der Zeichnung durch eine punktierte Linie angegeben) an der Ecke, und r bezeichnet den Bogenradius eines Drahtzentrumortes an der Ecke.

Während der geradlinige Abtrag in der Zeichnung bis zur Drahtelektroden-Zentrumsposition O₁ (Abschnitt A) L₁ beträgt, nimmt der Abtrag am Eckeingang (Abschnitt B) sprunghaft von L₁ auf L₂ zu, und die Ecke wird mit zunehmend bleibendem Abtrag (Abschnitt C) bearbeitet. Der Abtrag am Eckausgang (Abschnitt D) nimmt sprunghaft von L₃ auf L₄ ab und kehrt zur Abtragsmenge bei der geradlinigen Bearbeitung zurück (Abschnitt E). Die Fig. 7b zeigt ein Beispiel mit typischen Änderungen der Abtragsmengen (in Mikrometern) bei der Feinbearbeitung einer Innenecke.

Umgekehrt nehmen die Abtragsmengen bei der Feinbearbeitung einer Aussenecke ab, wie im Beispiel der Fig. 7c gezeigt wird.

Die wie beschrieben angeordnete konventionelle elektrische Funkenerosions-Maschine war oft nicht in der Lage, auf sprunghafte Abtragsänderungen bei der Feinbearbeitung einer Ecke mit entsprechenden Geschwindigkeiten zu reagieren, was einen sich ändernden Bearbeitungsluftspalt und damit Formfehler bewirkte.

Die Fig. 8 zeigt eine weitere Schwierigkeit, welche die Bearbeitungspfade für die Innenecken-Feinbearbeitung beim konventionellen Beispiel betrifft. Beim Feinbearbeiten einer Innenecke wird diese durch Änderung eines Eckradius in einer Vielzahl von aufeinanderfolgenden Bearbeitungsdurchgängen derart bearbeitet (in der Zeichnung mit 1. bis 4. Bearbeitung bezeichnet), dass eine bearbeitete Form nach dem letzten Bearbeitungsdurchgang (gemäss Zeichnung die 4. Bearbeitung) einen gewünschten Radius R aufweist. Im besondern wird die Innenecke auf dem Pfad derart bearbeitet, dass der Eckradius bei jedem Bearbeitungsdurchgang einen Wert erhält, der durch Subtraktion eines Offsetwertes in jedem Bearbeitungsgang von einem programmierten Radius R (dem am Schluss gewünschten Radius) wie unten angegeben erhalten wird:

$$R_n = R - H_n$$

wobei

R_n: Eck-Pfadradius bei der «n-ten» Bearbeitung

R: programmierter Radius

H_n: Offsetwert bei der «n-ten» Bearbeitung.

Bei der konventionellen, wie oben beschrieben angeordneten und wie in der offenbarten Japanischen Patent-Veröffentlichung Nr. SHO63-105 837 beschriebenen elektrischen Funkenerosions-Maschine war es notwendig, einen Eckradius stufenweise zu erhöhen, wenn die Bearbeitungsverfahren von Grob- auf die abschliessende Feinbearbeitung umgestellt wurde. Auf diese Weise wurde der gewünschte Eckradius schlussendlich erreicht. Hingegen bestand in der Praxis für den Minimalradius einer Innenecke eine Grenze von ungefähr 0,2 mm, welche mit einer Drahtelektrode von z.B. 0,2 mm Durchmesser feinbearbeitet werden konnte.

Angesichts der obengenannten Schwierigkeiten bei der Bearbeitung von Ecken mit Bearbeitungsdraht-Maschinen ist die vorliegende Erfindung auf verschiedene Ziele ausgerichtet.

Es ist demgemäss ein Ziel der vorliegenden Erfindung, die Nachteile der konventionellen Konstruk-

tion durch die Schaffung einer elektrischen Funkenerosions-Maschine zu überwinden, welche bei Ecken eine nichtlineare Geschwindigkeitssteuerung ausübt, dies zwecks sofortiger Anpassung an Abtragsänderungen an der Ecke, wodurch die Feinbearbeitungsgenauigkeit an der Ecke verbessert wird.

Es ist ein weiteres Ziel der vorliegenden Erfindung, die Nachteile der konventionellen Technik durch Schaffung eines elektrischen Funkenerosions-Bearbeitungsverfahrens mit Bearbeitungsdraht und einer dafür bestimmten Maschine zu überwinden, welche einen bearbeitbaren Innen-Eckradius stark reduziert und die Bearbeitungsgenauigkeit bei der Inneneck-Feinbearbeitung verbessern kann.

Eine nach dem erfindungsgemässen Verfahren arbeitende elektrische Draht-Funkenerosions-Maschine verwendet eine Geschwindigkeits-Steuervorrichtung, die die Steuerung derart ausübt, dass ein Geschwindigkeitssteuerbefehl einen eingestellten Geschwindigkeitswert nicht überschreitet.

Eine nach dem erfindungsgemässen Verfahren arbeitende elektrische Draht-Funkenerosions-Maschine verwendet eine detektierte Bearbeitungsluftspalt-Spannung, um eine integrale Steuergeschwindigkeits-Komponente zu berechnen, und verwendet einen programmierten Bogenradius und einen Elektroden-Offsetwert, um bei der Feinbearbeitung eines Bogens einen eingestellten Geschwindigkeitswert zu berechnen, und definiert den eingestellten Geschwindigkeitswert als Steuergeschwindigkeit, falls die Steuergeschwindigkeit den eingestellten Geschwindigkeitswert überschreiten sollte.

Im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung wird eine Differenz oder ein Verhältnis zwischen einer detektierten Bearbeitungsluftspalt-Spannung und einer vor gegebenen Referenzspannung pro vorbestimmte Abtastzeit zur Berechnung einer Integrations-Steuergeschwindigkeits-Komponente verwendet.

Gemäss einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung werden eine Sprungantwort-Komponente und eine Integrations-Komponente für die Berechnung einer Vorschubrate pro Abtastung verwendet, und es wird ein eingestellter Geschwindigkeitswert als Funktion eines programmierten Bogenradius und eines Elektroden-Offsetwertes bei der Feinbearbeitung eines Bogens ermittelt und der eingestellte Geschwindigkeitswert wird als Integrations-Komponente verwendet, falls die Integrations-Komponente den eingestellten Geschwindigkeitswert überschreiten sollte, so dass die Integrations-Komponente den eingestellten Geschwindigkeitswert nicht überschreitet.

Im besondern berechnet die elektrische Draht-Funkenerosions-Maschine den einzustellenden Geschwindigkeitswert an der Ecke aus dem Eck-Bogenradius und dem Offsetwert, und sie übt die Steuerung derart aus, dass die Bewegungsgeschwindigkeit nicht den eingestellten Geschwindigkeitswert überschreitet.

Die elektrische Draht-Funkenerosions-Maschine berechnet ebenfalls den einzustellenden Geschwindigkeitswert an der Ecke aus dem Eck-Bogenradius und dem Offsetwert, und sie übt die Steuerung derart aus, dass die Integrations-Komponente der Bewegungsgeschwindigkeit nicht den eingestellten Geschwindigkeitswert überschreitet.

Ein erfindungsgemässes elektrisches Funkenerosions-Bearbeitungsverfahren mit Bearbeitungsdraht ist ebenfalls einsetzbar für das Bearbeiten einer Innenecke auf einem Pfad des gleichen Radius bei jedem von einer Vielzahl von Bearbeitungsdurchgängen.

Eine elektrische Funkenerosions-Maschine mit Bewegungsdraht berechnet ebenfalls einen Bewegungspfad an einer Innenecke für jeden von einer Vielzahl von Bearbeitungsdurchgängen, derart, dass kreisförmige Pfade bei der Inneneck-Bearbeitung mit mehreren Bearbeitungsdurchgängen, welche abweichende Offsetwerte aufweisen, alle den gleichen Radius haben werden.

Ein erfindungsgemässes elektrisches Funkenerosions-Bearbeitungsverfahren mit Bearbeitungsdraht bearbeitet ebenfalls eine Innenecke auf einem Pfad vom gleichen Radius bei jedem Bearbeitungsdurchgang und unter Bearbeitungsbedingungen, z.B. elektrische Bearbeitungsbedingungen und Vorschubrate, welche in Abhängigkeit der Abtragsmenge an der Innenecke angepasst werden.

Im weitem besteht eine elektrische Funkenerosions-Maschine mit Bearbeitungsdraht aus einem Verfahren und Apparat zur Berechnung eines Bewegungspfades an einer Innenecke für jeden von einer Vielzahl von Bearbeitungsdurchgängen, derart, dass kreisförmige Pfade bei der Inneneck-Bearbeitung mit Bearbeitungsdurchgängen, welche abweichende Offsetwerte aufweisen, den gleichen Radius haben, aus einem Verfahren und Apparat für die derartige Definition des Bewegungspfades, dass er in Übereinstimmung mit den Betriebsergebnissen aus der ersten Berechnung den gleichen Inneneck-Radius aufweist, aus einem Verfahren und Apparat zur Berechnung der Abtragsmengenänderung für jeden Bearbeitungsdurchgang an der Innenecke, und aus einem Verfahren und Apparat, welche elektrische Bearbeitungsbedingungen, Vorschubrate, usw., an der Innenecke in Übereinstimmung mit den Resultaten der zweiten Berechnung ändert und steuert.

Die Fig. 1a veranschaulicht die Anordnung einer elektrischen Funkenerosions-Maschine mit Bearbeitungsdraht in einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, und die Fig. 1b veranschaulicht die Anordnung einer zweiten Ausführungsform.

Die Fig. 2a veranschaulicht die Bearbeitungspfade der Inneneck-Feinbearbeitung bei der ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung, und die Fig. 2b veranschaulicht die Abtragsmengenänderungen bei der Inneneck-Bearbeitung, zur Beschreibung des Betriebes der zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

Die Fig. 3 veranschaulicht die Abtragsmengenänderungen bei der Inneneck-Bearbeitung, zur Beschreibung des Betriebes der zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

Die Fig. 4a ist ein Flussdiagramm, das eine dritte Ausführungsform der Erfindung veranschaulicht,

und die Fig. 4b ist ein Flussdiagramm, das den Betrieb der arithmetischen Mittel der dritten Ausführungsform der Erfindung veranschaulicht.

Die Fig. 5 ist ein Flussdiagramm, das eine vierte Ausführungsform der Erfindung veranschaulicht.

Die Fig. 6a veranschaulicht die Anordnung einer konventionellen elektrischen Funkenerosions-Maschine mit Bearbeitungsdraht.

Die Fig. 6b stellt noch eine weitere Veranschaulichung einer konventionellen, in der Technik bekannten elektrischen Draht-Funkenerosions-Maschine dar.

Die Fig. 6c ist ein Flussdiagramm, das die Geschwindigkeitssteuerung der in der Technik bekannten elektrischen Draht-Funkenerosions-Maschine veranschaulicht.

Die Fig. 7a ist ein Diagramm, das Abtragsmengenänderungen bei der Inneneck-Feinbearbeitung veranschaulicht.

Die Fig. 7b ist eine Kurvendarstellung, die Abtragsmengenänderungen bei der Inneneck-Feinbearbeitung veranschaulicht.

Die Fig. 7c ist eine Kurvendarstellung, die Abtragsmengenänderungen bei der Ausseneck-Feinbearbeitung veranschaulicht.

Die Fig. 8 veranschaulicht die Bearbeitungspfade bei der Inneneck-Feinbearbeitung mit der konventionellen elektrischen Funkenerosions-Maschine mit Bearbeitungsdraht.

Die erste Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird nun gemäss den Fig. 1a und 2a beschrieben. In der Fig. 1a sind die Draht-Elektrode 1, das Werkstück 2, das Bearbeitungs-Speisegerät 3, der X-Tisch 4, der Y-Tisch 5, die Motoren 6a und 6b, die Servoverstärker 7a und 7b, das NC-Programm 8 und die Speichervorrichtung 9 für die Speicherung von Offsetdaten ebenfalls im konventionellen System gemäss der Fig. 6a erkennbar. Zusätzlich zur konventionellen Anordnung ist ein Wahlschalter 21 vorhanden, welcher zur Auswahl zwischen einer Betriebsart Normalbearbeitung und einer Bearbeitungs-Betriebsart für gleichbleibenden Radius verwendet wird. Ferner ist innerhalb der NC-Einheit 10 eine Arithmetikeinheit 20 vorhanden, die verwendet wird zur Berechnung eines Bewegungspfades für jeden Bearbeitungsdurchgang an einer Innenecke, basierend auf dem NC-Programm und den Offsetdaten, so dass kreisförmige Pfade bei der Inneneck-Bearbeitung der Bearbeitungsverfahren mit abweichenden Offsetdaten den gleichen Radius aufweisen, sofern der Wahlschalter 21 auf die Betriebsart für gleichbleibenden Radius eingestellt wurde. Der Steuerapparat 11 dient der Steuerung von Pfadbewegungen, damit der Inneneck-Radius bei jedem Bearbeitungsdurchgang gleich gross wird, in Übereinstimmung mit den durch die Arithmetikeinheit 20 berechneten Bearbeitungspfaden.

Im Betrieb wird, wie beim konventionellen Beispiel, die Drahtelektrode 1 durch die (nicht gezeigte) Drahtelektroden-Betriebsvorrichtung betrieben, und das Bearbeitungs-Speisegerät 3 speist einen Impulsstrom in die Strecke zwischen der Drahtelektrode 1 und dem Werkstück 2 ein, um das Werkstück 2 zu bearbeiten. Die Arithmetikeinheit 20 berechnet die Bearbeitungspfade, basierend auf dem NC-Programm und den Offsetdaten, welche zuvor vom Speicher oder von einem NC-Magnetband geliefert wurden. Falls der Wahlschalter 21 auf die Betriebsart für gleichbleibenden Radius eingestellt wurde, berechnet die Arithmetikeinheit 20 einen Bewegungspfad an der Innenecke für jeden Bearbeitungsdurchgang, so dass kreisförmige Pfade bei der Inneneck-Bearbeitung der Bearbeitungsdurchgänge mit abweichenden Offsetwerten den gleichen Radius erhalten. Abhängig von den Resultaten der Bearbeitungspfade-Berechnung gibt der Steuerapparat 11 Bewegungsbefehle an die X- und Y-Bewegungs-Servoverstärker 7a, 7b zum Ansteuern der Motoren 6a, 6b aus, wodurch sich die Drahtelektrode 1 und das Werkstück 2 gegenseitig in zwei Dimensionen bewegen, um das Werkstück 2 zu bearbeiten.

Die Fig. 2a zeigt die Bearbeitungspfade der Inneneck-Feinbearbeitung bei der ersten Ausführungsform.

Bei der Feinbearbeitung der Innenecke wird diese derart bearbeitet, dass ein Eckradius in den mehreren Bearbeitungsdurchgängen (in der Zeichnung mit 1. bis 4. Bearbeitung bezeichnet), während des Ablaufes von der Grobbearbeitung zum letzten Bearbeitungsdurchgang (gemäss Zeichnung die 4. Bearbeitung), gleichförmig wird.

Falls der Wahlschalter 21 auf die Betriebsart Normalbearbeitung eingestellt wurde, berechnet die Arithmetikeinheit 20 ebenfalls die Bearbeitungspfade für die Änderung des Eckradius in den Bearbeitungsdurchgängen (in der Zeichnung mit 1. bis 4. Bearbeitung bezeichnet), wie in der Fig. 7 für das konventionelle Beispiel gezeigt wird, und das Werkstück wird in der Betriebsart Normal-Inneneck-Bearbeitung gemäss dem Ergebnis einer solchen Berechnung bearbeitet.

Während mit einem gewöhnlichen Bearbeitungsverfahren mit einem Draht von 0,2 mm Durchmesser ein minimaler Eckradius von ungefähr 0,2 mm ermöglicht wird, erlaubt das oben erwähnte Verfahren bei Verwendung eines Drahtes von 0,2 mm Durchmesser in der Bearbeitungs-Betriebsart für gleichbleibenden Radius, eine Ecke mit einem minimalen Eckradius von ungefähr 0,15 mm zu bearbeiten.

Eine zweite Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird nun gemäss den Fig. 1b, 2b und 3 beschrieben. Die Fig. 1b zeigt das gleiche wie die Fig. 1a, mit der Ausnahme, dass eine Arithmetikeinheit 22 hinzugefügt wurde, welche die Abtragsmengenänderungen an der Innenecke für jeden Bearbeitungsdurchgang aus den durch die Arithmetikeinheit 20 ermittelten Bearbeitungspfaden berechnet. Es ist ebenfalls ein Steuerapparat 23 am Ausgang der Arithmetikeinheit 22 zur Anpassung und Steuerung der elektrischen Bearbeitungsbedingungen an der Innenecke angeschlossen, dies gemäss der auf den Be-

rechnungsergebnissen der Arithmetikeinheit 22 basierenden Zunahme oder Abnahme der Abtragsmenge.

Im Betrieb wird, wie in der Fig. 1b ersichtlich wird, die Drahtelektrode 1 durch die (nicht gezeigte) Drahtelektroden-Betriebsvorrichtung betrieben, und das Bearbeitungs-Speisegerät 3 speist einen Impulsstrom in die Strecke zwischen der Drahtelektrode 1 und dem Werkstück 2 ein, um das Werkstück 2 zu bearbeiten. Die Arithmetikeinheit 20 berechnet die Bearbeitungspfade, basierend auf dem NC-Programm und den Offsetdaten, welche zuvor vom Speicher oder von einem NC-Magnetband geliefert wurden. Falls der Wahlschalter 21 auf die Betriebsart für gleichbleibenden Radius eingestellt wurde, berechnet die Arithmetikeinheit 20 einen Bewegungspfad an der Innenecke für jeden Bearbeitungsdurchgang, so dass kreisförmige Pfade bei der Inneneck-Bearbeitung der mehreren Bearbeitungsdurchgänge mit abweichenden Offsetwerten den gleichen Radius erhalten, wie in der Fig. 2a gezeigt wird. Abhängig von den Resultaten der Bearbeitungspfade-Berechnung gibt der Steuerapparat 11 Bewegungsbefehle an die X- und Y-Bewegungs-Servoverstärker 7a, 7b zum Ansteuern der Motoren 6a, 6b aus, wodurch sich die Drahtelektrode 1 und das Werkstück 2 gegenseitig in zwei Dimensionen bewegen, um das Werkstück 2 zu bearbeiten.

In der Zwischenzeit berechnet die Arithmetikeinheit 22 die Änderungen der Abtragsmenge an der Innenecke für jeden Bearbeitungsdurchgang aus den durch die Arithmetikeinheit 20 ermittelten Bearbeitungspfaden. Die Fig. 2b und 3 zeigen die Änderungen der Abtragsmenge bei der Inneneck-Bearbeitung. In diesen Zeichnungen, nach einer gleichmässigen Abtragsmenge L_0 bis zur Elektroden-Zentrumsposition O_0 , erhöht sich die Abtragsmenge in einem linearen Bewegungsgebiet (Gebiet B gemäss Fig. 3) vor Beginn der kreisförmigen Bewegung an der Elektroden-Zentrumsposition von O_0 bis O_3 sprunghaft, und sie erreicht den Maximalwert beim Ausgangspunkt O_3 der kreisförmigen Bewegung. Anschliessend nimmt die Abtragsmenge in einem Gebiet mit kreisförmiger Bewegung (Gebiet C gemäss Fig. 3) plötzlich ab und kehrt am Endpunkt O_7 der kreisförmigen Bewegung zur Abtragsmenge L_7 ($= L_0$) von linearen Abschnitten zurück. Das Verhältnis der Abtragsmengenänderung in der Bearbeitungs-Betriebsart mit gleichbleibendem Radius ist viel höher als in der konventionellen Betriebsart Normal-Eckbearbeitung, wie sie in der offenbarten Japanischen Patent-Veröffentlichung Nr. SHO63-105 837 beschrieben wird. Aus dieser Sicht können gewöhnliche Steuerungen, betrieben mit Spannungsmittelwerten und konstantem Vorschub, nicht auf plötzliche Abtragsmengenänderungen reagieren, und es wird an der Innenecke ein Kurzschluss oder ähnliches ereignen, was die Bearbeitung extrem schwierig macht und die Bearbeitungsgenauigkeit bedeutend verschlechtert. Bei der vorliegenden Ausführungsform werden die Abtragsmengenänderungen an der Innenecke berechnet und die elektrischen Bearbeitungsbedingungen für die Werkstück-Bearbeitung gemäss den Abtragsmengenänderungen angepasst. Da die Abtragsmenge im Gebiet B vor der Innenecke sprunghaft zunimmt, wie in der Fig. 3 gezeigt wird, wird nämlich die Entladungsfrequenz erhöht, um den mittleren Bearbeitungsstrom zu steigern, damit die Bearbeitungsenergie erhöht wird. Ebenfalls weil die Abtragsmenge im Gebiet C mit kreisförmiger Bewegung plötzlich abnimmt, wird auch die Bearbeitungsenergie reduziert.

Im besondern kann bei Betrachtung des Verfahrens des Materialabtrages an einer Ecke, wie er in der Fig. 2b gezeigt wird, die Art der Bestimmung der Abtragsmenge wie folgt verstanden werden.

In der Fig. 2b wird zuerst der Materialabtrag während der linearen Bewegung vor der Ecke (Elektroden-Zentrumsposition: O_0 bis O_3) betrachtet. Falls das Zentrum der kreisförmigen Elektrodenbewegung als Ursprung (0, 0) definiert wird, gilt:

Gleichung der Elektroden-Peripherie

$$(x - 1_x)^2 + (y + r)^2 = R^2 \quad (1)$$

worin

r: kreisförmiger Pfadradius des Drahtzentrums

R: Drahtelektrodenradius

und dann wird die Gleichung der vorbearbeiteten Oberfläche zu:

$$(x - \Delta H)^2 + (Y - \Delta H)^2 = (R + r)^2 \quad (2)$$

worin ΔH : Elektroden-Verschiebungswert (Differenz zwischen dem Vorbearbeitungspfad und dem Offsetwert).

Falls angenommen wird, dass die Koordinaten des Schnittpunktes der obengenannten Gleichungen (1) und (2) (x_{p1} , Y_{p1}) lauten, wird die Abtragsmenge L wie folgt berechnet:

$$L = R + r - Y_{p1} \quad (3)$$

Daraus folgend wird die Abtragsmenge L zur Zeit der linearen Bewegung vor der Ecke (Gebiet B gemäss Fig. 3) durch Berechnung des Schnittpunktes der Gleichungen (1) und (2) und Einsetzen des Resultats in die Gleichung (3) ermittelt.

Was den Materialabtrag im Gebiet mit kreisförmiger Bewegung an der Ecke (Elektroden-Zentrumsposition: O₃ bis O₇) betrifft, wird nun eine ähnliche Gleichung der Elektroden-Peripherie zu:

$$(x + r \sin \theta)^2 + (y + r \cos \theta)^2 = R^2 \quad (4)$$

5 worin:

θ : Winkel der Zentrumsposition auf dem kreisförmigen Pfad

10 und die Gleichung der vorbearbeiteten Oberfläche wird zu:

$$x = \Delta H - R - r \quad (5)$$

Die Koordinaten des Schnittpunktes der obengenannten Gleichungen (4) und (5) sind definiert als (X_{p2}, Y_{p2}).

15 Jetzt wird unter der Annahme, dass der Schnittpunkt einer Tangente an der Elektroden-Peripherie mit einer Senkrechten von (X_{p2}, Y_{p2}) auf die Tangente bei (X_{p3}, Y_{p3}) liegt, die Abtragsmenge L wie folgt berechnet:

$$20 \quad L = [(X_{p3} - X_{p2})^2 + (Y_{p3} - Y_{p2})^2]^{0.5} \quad (6)$$

Es wird also durch Finden des Schnittpunktes der Gleichungen (4), (5), durch Finden des Schnittpunktes der Senkrechten von Schnittpunkt zur Tangente an der Elektroden-Peripherie mit der Tangente, und durch Berechnen des Abstandes zwischen den zwei Schnittpunkten unter Verwendung der Gleichung (6) die Abtragsmenge L bei kreisförmiger Bewegung an der Ecke (Gebiet C gemäss Fig. 3) ermittelt.

30 Während bei einem gewöhnlichen Bearbeitungsverfahren mit einem Draht von 0,2 mm Durchmesser ein minimaler Eckradius von ungefähr 0,2 mm erzielt werden kann, erlaubt das obengenannte Verfahren, mit einem Draht von 0,2 mm Durchmesser, durch Bearbeitung der Ecke in der Bearbeitungsart für gleichbleibenden Eckradius und durch Anpassung und Steuerung der elektrischen Bearbeitungsbedingungen in Abhängigkeit von den Abtragsmengenänderungen eine Ecke mit einem minimalen Eckradius von ungefähr 0,11 mm zu bearbeiten. Ein Formfehler an der Innenecke kann ebenfalls auf weniger als 2 µm reduziert werden.

35 Während die obengenannte Ausführungsform in der Form eines Beispiels beschrieben wurde, in welchem die elektrischen Bearbeitungsbedingungen in Abhängigkeit von der Abtragsmenge an der Innenecke angepasst wurden, wird anerkannt werden, dass die anderen Bearbeitungsbedingungen, z.B. Vorschubraten und Bearbeitungspfade, ebenfalls angepasst werden können, um die Form nach der Feinbearbeitung auszugleichen. Mit anderen Worten wird die Steuerung derart ausgeübt, dass die Vorschubrate im Gebiet B vor der Ecke, wo die Abtragsmenge zunimmt, reduziert wird und dass die Vorschubrate im Gebiet C mit kreisförmiger Bewegung, wo die Abtragsmenge abnimmt, erhöht wird, damit die Bearbeitungsgenauigkeit verbessert wird. Bei zunehmender Abtragsmenge besteht im allgemeinen auch eine Neigung zu einem Über-Abtrag, wie in der offenbarten Japanischen Patent-Veröffentlichung Nr. SHO63-105 837 beschrieben wird. Deshalb kann durch Anpassung der Bearbeitungspfade, um diesen Über-Abtrag auszugleichen, ebenfalls die Bearbeitungsgenauigkeit verbessert werden.

45 Es wird nun eine dritte Ausführungsform der Erfindung gemäss den anliegenden Zeichnungen beschrieben. Die Fig. 4a ist ein Flussdiagramm, welches die Geschwindigkeitssteuerung in einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht. Der Schritt S21 ist ein Schritt, der normalerweise durch eine Arithmetikeinheit ausgeführt wird und umfasst die Berechnung eines Fehlers zwischen einer eingestellten Spannung und einer mittleren Spannung über dem Bearbeitungsluftspalt pro vorbestimmte Abtastzeit, wie sie im Schritt S20 detektiert wurde. Danach wird ein Schritt S22 durch die Arithmetikeinheit ausgeführt und er umfasst die Berechnung einer integralen Steuergeschwindigkeit aus der im Schritt S21 ermittelten Fehlerspannung. Schlussendlich wird in einem Schritt S23 ein eingestellter Geschwindigkeitswert als ein Geschwindigkeits-Steuersignal festgelegt, falls das Geschwindigkeits-Steuersignal den eingestellten Geschwindigkeitswert bei der Feinbearbeitung eines Bogens überschreiten sollte.

55 Die Fig. 4b veranschaulicht ein Flussdiagramm für die Berechnung des eingestellten Geschwindigkeitswertes, das in der Eck-Feinbearbeitung verwendet wird, in welchem ein Schritt S24 den Schritt bezeichnet, der beurteilt, ob eine zu bearbeitende Ecke eine Aussenecke oder eine Innenecke ist, und in welchem Schritte S25a und S25b die Berechnung von eingestellten Geschwindigkeitswerten an den Aussen- bzw. Innenecken vornehmen.

60 Es wird nun der Betrieb mit Bezugnahme auf die Fig. 1, 4a, 4b und 6b beschrieben. Wie bei der konventionellen Konstruktion gemäss Fig. 6b wird der Bearbeitungsstrom durch das Bearbeitungs-Speisegerät 3 über die Drahtelektrode 1 und das Werkstück 2 eingespiesen, zwischen welchen eine Entladung zur Ermöglichung des Bearbeitungsprozesses erzeugt wird. Zuerst wird die mittlere Spannung durch den Detektor 12 im Schritt S20 erkannt und zur numerischen Steuereinheit 10 geliefert. Dort be-

rechnet im Schritt S21 die Arithmetikeinheit 20 eine Differenz zwischen einer eingestellten Spannung V_s , welche bereits voreingestellt wurde, und der mittleren Spannung V über dem Bearbeitungsluftspalt, welche durch die Erkennungsschaltung 12 für den Bearbeitungsluftspalt detektiert wurde (hiernach als Fehlerspannung V_e bezeichnet). In diesem Fall kann die Fehlerspannung V_e durch das Verhältnis der eingestellten Spannung V_s zur mittleren Spannung V über dem Bearbeitungsluftspalt dargestellt werden. Im Schritt S22 berechnet die Arithmetikeinheit 20 dann einen Geschwindigkeitskomponenten-Änderungswert $DF_{(n)}$, definiert als Funktion der Fehlerspannung V_e , welche das Produkt z.B. des Konversionsparameters K , welcher einen Spannungswert in einen Geschwindigkeitswert umwandelt, und der Fehlerspannung ist, und sie berechnet ebenfalls die aufdatierte Steuergeschwindigkeit $F_{(n)}$, die als Resultat aus der Addition des Geschwindigkeitskomponenten-Änderungswerts $DF_{(n)}$ zu einem vorher berechneten Wert $F_{(n-1)}$ erhalten wird.

In der Zwischenzeit beurteilt die Steuereinheit 21 der NC-Einheit 10' im Schritt S24, wie in der Fig. 4b gezeigt wird, ob es sich bei einer Ecke um eine Aussenecke oder eine Innenecke handelt. Ob eine Ecke eine Aussenecke oder eine Innenecke ist, kann zum Beispiel durch Kombination eines Bogen-Befehls-codes (z.B. entspricht ein Uhrzeigersinn-Bogen dem Befehl G02 und ein Gegenuhrzeigersinn-Bogen dem Befehl G03) mit einem Offset-Befehlscode (linksgerichteter Offset G41, rechtsgerichteter Offset G42, bezogen auf Vorwärtsrichtung) im NC-Programm 8 bestimmt werden. Ein eingestellter Geschwindigkeitswert F_{lmax} an einer Ecke wird durch die Arithmetikeinheit im Schritt S25a für eine Aussenecke und im Schritt S25b für eine Innenecke berechnet. Bei der Verarbeitung der Schritte S25a und S25b in der Arithmetikeinheit wird der eingestellte Geschwindigkeitswert F_{lmax} definiert als Funktion des programmierten Bogenradius R und des Elektroden-Offsets H , und es werden geeignete eingestellte Geschwindigkeitswerte gemäss den Grössen der Ecke R und des Offsets H berechnet. Sie können zum Beispiel durch die folgenden Gleichungsausdrücke dargestellt werden:

$$\text{Aussenecke: } F_{lmax} = b \cdot ((R + H)/R)^a \quad (7)$$

$$\text{Innenecke: } F_{lmax} = b \cdot ((R - H)/R)^a \quad (8)$$

worin a und b Werte sind, die durch die Plattendicke, usw., des Werkstückes 2 bestimmt werden. Wie oben beschrieben wurde, wird für die Innenecke ein niedriger eingestellter Geschwindigkeitswert eingestellt und für die Aussenecke ein hoher eingestellter Geschwindigkeitswert eingestellt.

Zur Fig. 4a zurückkehrend, vergleicht dann die Arithmetikeinheit im Schritt S23 den eingestellten Geschwindigkeitswert F_{lmax} und die Steuergeschwindigkeit $F_{(n)}$. Falls die Steuergeschwindigkeit $F_{(n)}$ den eingestellten Geschwindigkeitswert beim Feinbearbeiten eines Bogens überschreiten sollte, wird eine arithmetische Operation ausgeführt, um den eingestellten Geschwindigkeitswert als Geschwindigkeits-Steuersignal festzulegen, und dieses Ergebnis wird dann als die massgebliche Steuergeschwindigkeit verwendet. Dieses Steuergeschwindigkeits-Signal wird zum Servoverstärker 7 übertragen, um den Servomotor 6 anzusteuern, wodurch der Tisch 4 und das Werkstück 2 mit einer gewünschten Steuergeschwindigkeit bewegt werden. Solche arithmetischen Operationen werden für jede vorbestimmte Abtastzeit wiederholt, wobei die Bewegungsgeschwindigkeit des Werkstücks derart gesteuert wird, dass sie in Abhängigkeit des Zustandes des Bearbeitungsluftspaltes angepasst wird, und dass die Bearbeitung weitergeführt wird.

Eine weitere Ausführungsform der Erfindung wird nun gemäss und mit Bezugnahme auf die Fig. 5 beschrieben, welche ein Flussdiagramm ist, das den Betrieb der vorliegenden Erfindung veranschaulicht. Anschliessend an die Erkennung einer mittleren Spannung V , wie früher unter Bezugnahme auf den Schritt S20 diskutiert worden ist, berechnet die Arithmetikeinheit 20 im Schritt S21 einen Fehler zwischen einer eingestellten Spannung und einer mittleren Spannung über dem Bearbeitungsluftspalt pro vorbestimmte Abtastzeit. Danach berechnet die Arithmetikeinheit 20 in einem Schritt S26 eine integrale Steuergeschwindigkeits-Komponente durch Addition eines Geschwindigkeits-Änderungswertes, der erhalten wird durch Berücksichtigung von Geschwindigkeitsinformationen aus früheren Abtastungen, zu einem vorher berechneten Wert (hiernach als Integrations-Komponente bezeichnet). Gleichzeitig berechnet die Arithmetikeinheit 20 in einem Schritt S27 eine transiente Steuergeschwindigkeits-Komponente pro Abtastung (hiernach mit Sprungantwort-Komponente bezeichnet) aus dem Berechnungsergebnis der durch die Arithmetikeinheit 20 im Schritt S21 ermittelten Fehlerspannung. Im Schritt S23 legt die Arithmetikeinheit 21 einen eingestellten Geschwindigkeitswert als massgebliche Integrations-Komponente fest, falls die Integrations-Komponente den eingestellten Geschwindigkeitswert an einem Bogen überschreiten sollte.

Schlussendlich berechnet die Arithmetikeinheit in einem Schritt S28 eine Vorschubrate pro Abtastung aus dem Summentotal der Sprungantwort-Komponente und der Integrations-Komponente.

Im Betrieb wird, wie beim konventionellen Verfahren gemäss den Fig. 6b und 6c, der Bearbeitungsstrom durch das Bearbeitungs-Speisegerät 3 über die Drahtelektrode 1 und das Werkstück 2 eingespiessen, zwischen welchen eine Entladung zur Ermöglichung des Bearbeitungsprozesses erzeugt wird. Wie in der Fig. 5 erkennbar ist, berechnet die Arithmetikeinheit 20 im Schritt S21 eine Differenz zwischen einer eingestellten Spannung V_s , welche bereits voreingestellt wurde, und der mittleren Spannung V über dem Bearbeitungsluftspalt, welche durch die Erkennungsschaltung 12 für den Bearbeitungsluftspalt detektiert wurde (hiernach als Fehlerspannung bezeichnet). Im Schritt S26 berechnet die Arithmetikeinheit

21 einen Integrations-Komponenten-Änderungswert $DFI_{(n)}$, welcher definiert wurde als Funktion der genannten Fehlerspannung V_e und einer früheren Geschwindigkeits-Komponente. Der Integrations-Komponenten-Änderungswert $DFI_{(n)}$ wird zum Beispiel durch den folgenden Ausdruck dargestellt:

$$5 \quad DFI_{(n)} = K1 \cdot V_{e(n)} \cdot FI_{(n-1)} \quad (9)$$

worin $K1$ ein Konversionsparameter für die Umwandlung eines Spannungswertes in einen Geschwindigkeitswert ist. In der Folge wird eine aufdatierte Steuergeschwindigkeit $F_{(n)}$ berechnet durch Addition des Integrations-Komponenten-Änderungswertes $DFI_{(n)}$ zu einem früher berechneten Wert $FI_{(n-1)}$. Gleichzeitig zur Berechnung der Integrations-Komponente führt die Arithmetikeinheit 20 den Schritt S27 aus und berechnet eine Sprungantwort-Komponente FE pro Abtastung aus dem Berechnungsergebnis der Fehlerspannung, das durch die Arithmetikeinheit im Schritt S21 ermittelt wurde. Die Sprungantwort-Komponente wird zum Beispiel durch den folgenden Ausdruck dargestellt:

$$15 \quad FE_{(n)} = K2 \cdot V_{e(n)} \quad (10)$$

worin $K2$ ein Konversionsparameter für die Umwandlung eines Spannungswertes in einen Geschwindigkeitswert ist.

Wie in der dritten Ausführungsform, welche den in der Fig. 4b gezeigten Berechnungsgang verwendet, kann ein Beurteilungsschritt S24 vorhanden sein, bei dem die NC-Einheit beurteilt, ob es sich bei einer Ecke um eine Aussenecke oder eine Innenecke handelt. Ein eingestellter Geschwindigkeitswert F_{max} an einer Ecke wird durch die Arithmetikeinheit im Schritt S25a für eine Aussenecke und im Schritt S25b für eine Innenecke berechnet. In der Arithmetikeinheit wird in den Schritten S25a und S25b der eingestellte Geschwindigkeitswert F_{max} definiert als Funktion des programmierten Bogenradius R und des Elektroden-Offsets H , und es werden geeignete eingestellte Geschwindigkeitswerte gemäss den Grössen der Ecke R und des Offsets H berechnet. Zudem wird für die Innenecke ein niedriger eingestellter Geschwindigkeitswert eingestellt und für die Aussenecke ein hoher eingestellter Geschwindigkeitswert eingestellt. Die Arithmetikeinheit 20 vergleicht im Schritt S23 gemäss Fig. 5 den eingestellten Geschwindigkeitswert F_{max} und die Steuergeschwindigkeit $F_{(n)}$. Falls die Steuergeschwindigkeit $F_{(n)}$ den eingestellten Geschwindigkeitswert beim Feinbearbeiten eines Bogens überschreiten sollte, wird eine arithmetische Operation ausgeführt, um den eingestellten Geschwindigkeitswert als Integrations-Komponente festzulegen. Schlussendlich berechnet die Arithmetikeinheit im Schritt S28 das Summentotal der im Schritt S26 ermittelten Integrations-Komponenten und der im Schritt S27 berechneten Sprungantwort-Komponente, und dieses Ergebnis wird dann als die massgebliche Steuergeschwindigkeit verwendet.

Wie bei der konventionellen Konstruktion, mit Bezugnahme auf die Fig. 6b, wird dieses Steuergeschwindigkeits-Signal zum Servoverstärker 7 übertragen, um den Servomotor 6 anzusteuern, wodurch der Tisch 4 und das Werkstück 2 mit einer gewünschten Steuergeschwindigkeit bewegt werden. Solche arithmetischen Operationen werden für jede vorbestimmte Abtastzeit wiederholt, wobei die Bewegungsgeschwindigkeit des Werkstücks derart gesteuert wird, dass sie in Abhängigkeit des Zustandes des Bearbeitungsluftspaltes angepasst wird, und dass die Bearbeitung weitergeführt wird.

Es ist offensichtlich, dass die vorliegende Erfindung, wie sie oben beschrieben wurde, für das Bearbeiten einer Innenecke auf einem Bearbeitungspfad mit gleichbleibendem Radius bei jedem Bearbeitungsdurchgang ausgelegt ist, wobei der bearbeitbare minimale Eckradius im Vergleich zur konventionellen Technik extrem verkleinert werden kann.

Es ist ebenfalls offensichtlich, dass die vorliegende Erfindung ausgelegt ist für das Bearbeiten einer Innenecke auf einem Bearbeitungspfad mit gleichbleibendem Radius bei jedem Bearbeitungsdurchgang und für das Bearbeiten desselben unter Bearbeitungsbedingungen, z.B. elektrische Bearbeitungsbedingungen und Vorschubraten, die in Abhängigkeit von den Abtragsmengenänderungen an der Innenecke angepasst werden, wobei der bearbeitbare minimale Eckradius extrem verkleinert werden kann und eine feine Inneneck-Form auch in der Bearbeitungsgenauigkeit bedeutend verbessert werden kann.

Es ist offensichtlich, dass die vorliegende Erfindung, wie sie oben beschrieben wurde, ebenfalls eine elektrische Draht-Funkenerosions-Maschine erzielt, welche einen eingestellten Geschwindigkeitswert in Abhängigkeit von einem Eckbogenradius und einem Elektroden-Offset an einer Ecke ermittelt, und welche die Steuergeschwindigkeit an einer Innenecke derart steuert, dass erstere sofort dem eingestellten Geschwindigkeitswert entspricht, wodurch ein Unter-Abtrag bei der Inneneck-Feinbearbeitung vermieden werden kann. An einer Aussenecke wird zudem der eingestellte Geschwindigkeitswert erhöht, um einen Über-Abtrag zu vermeiden. Da die oben erwähnte Steuerung automatisch für alle Ecken ausgeübt wird, wird die Feinbearbeitungsgenauigkeit ausserordentlich verbessert.

Es ist ebenfalls offensichtlich, dass die vorliegende Erfindung eine elektrische Draht-Funkenerosions-Maschine erzielt, welche eine Integrations-Komponente an einer Ecke derart steuert, dass erstere sofort einem eingestellten Geschwindigkeitswert entspricht. Zusätzlich ist die Maschine, da eine Sprungantwort-Komponente für die Integrations-Komponente betrachtet wird, anpassungsfähig bei feinen Abtragsmengenänderungen in der Eckbearbeitung, was die Eckform-Genauigkeit weiter verbessert. Im weiteren kann die Maschine, falls eine plötzliche Bearbeitungsgebiet-(Abtrags-)Änderung auftritt, zum

Beispiel, wenn ein Draht durch eine Werkstück-Endfläche berührt wird, das Werkstück extrem stabil bearbeiten.

Die vollständigen Offenbarungen von allen und jeden fremden Patentanmeldungen, aus welchen in der vorliegenden Anmeldung Nutzen fremder Priorität beansprucht wird, sind im vorliegenden Dokument

5 unter Bezugnahme darauf einbezogen, dies gleichwertig, wie wenn diese gänzlich dargelegt würden.
Obschon diese Erfindung in mindestens einer bevorzugten Ausführungsform mit einem gewissen Grad an Besonderheit beschrieben wurde, sollte verstanden werden, dass die vorliegende Offenbarung der bevorzugten Ausführungsform nur beispielsweise erfolgte und dass zahlreiche Änderungen der Details und der Anordnung der Bestandteile vorgenommen werden können, ohne dabei vom Sinn und Be-

10 reich der hiernach beanspruchten Erfindung abzuweichen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Funkenentladungsschneiden einer Innenecke eines Werkstückes durch eine Draht-
15 elektrode, enthaltend die Schritte: in jedem einer Mehrzahl von Bearbeitungsprozessen wird die Draht-
elektrode auf einem Elektrodenweg geführt, der ein Bogensegment in der Innenecke mit vorbestimmtem Radius und mit vorbestimmtem Offset hat; und vor jedem der nächsten Bearbeitungsprozesse wird der Offset des Elektrodenweges unter Beibehaltung des Radius reduziert.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die elektrischen Bearbeitungsbedingun-
20 gen abhängig von einem berechneten Materialschnitt entlang des jeweiligen Elektrodenweges gesteuert werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorschubgeschwindigkeit abhängig von einer Durchschnittsspannung über dem Bearbeitungsspalt gesteuert wird.

25

30

35

40

45

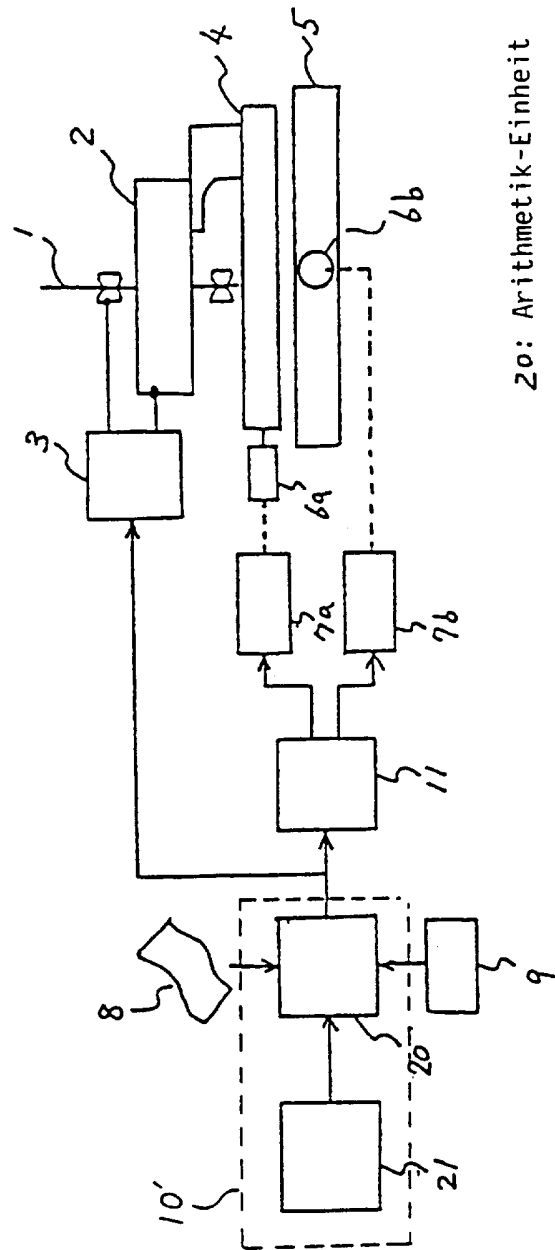
50

55

60

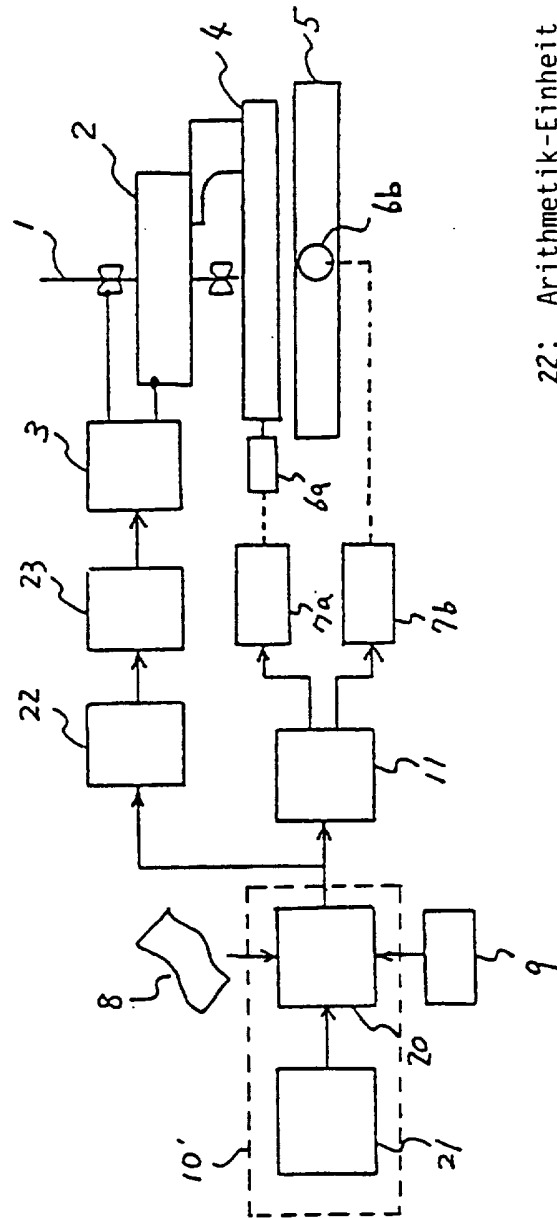
65

Fig. 1a



20: Arithmetik-Einheit
10': Steuerapparat

Fig. 1b



22: Arithmetik-Einheit

23: Steuerapparat

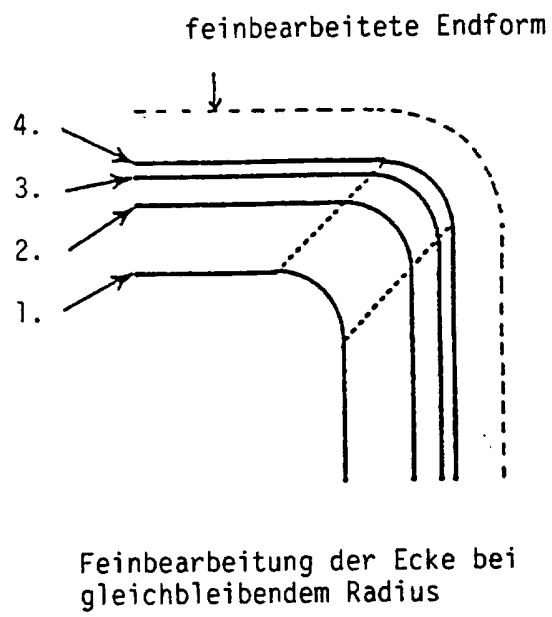


Fig. 2a

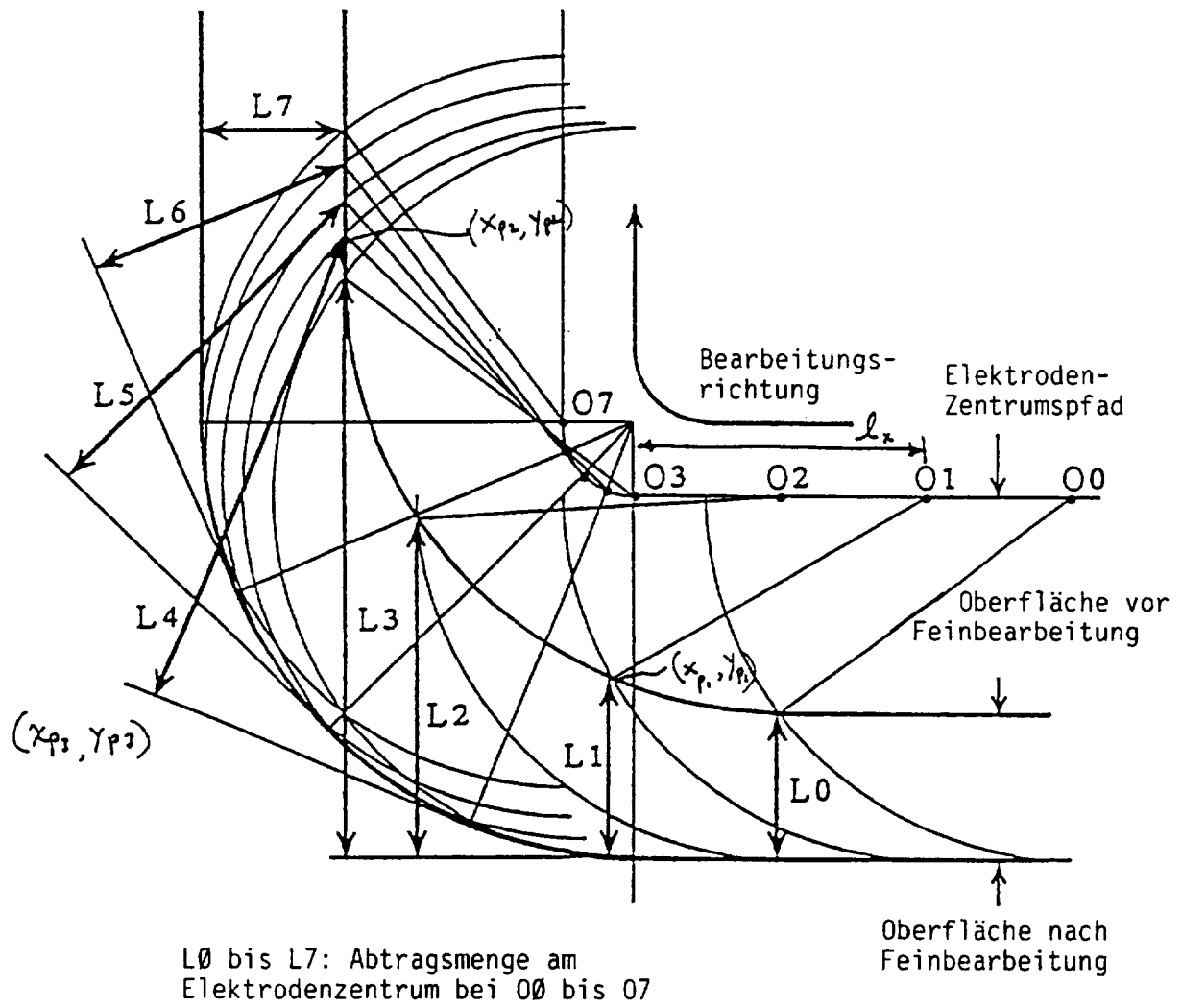


Fig. 2b

Fig. 3

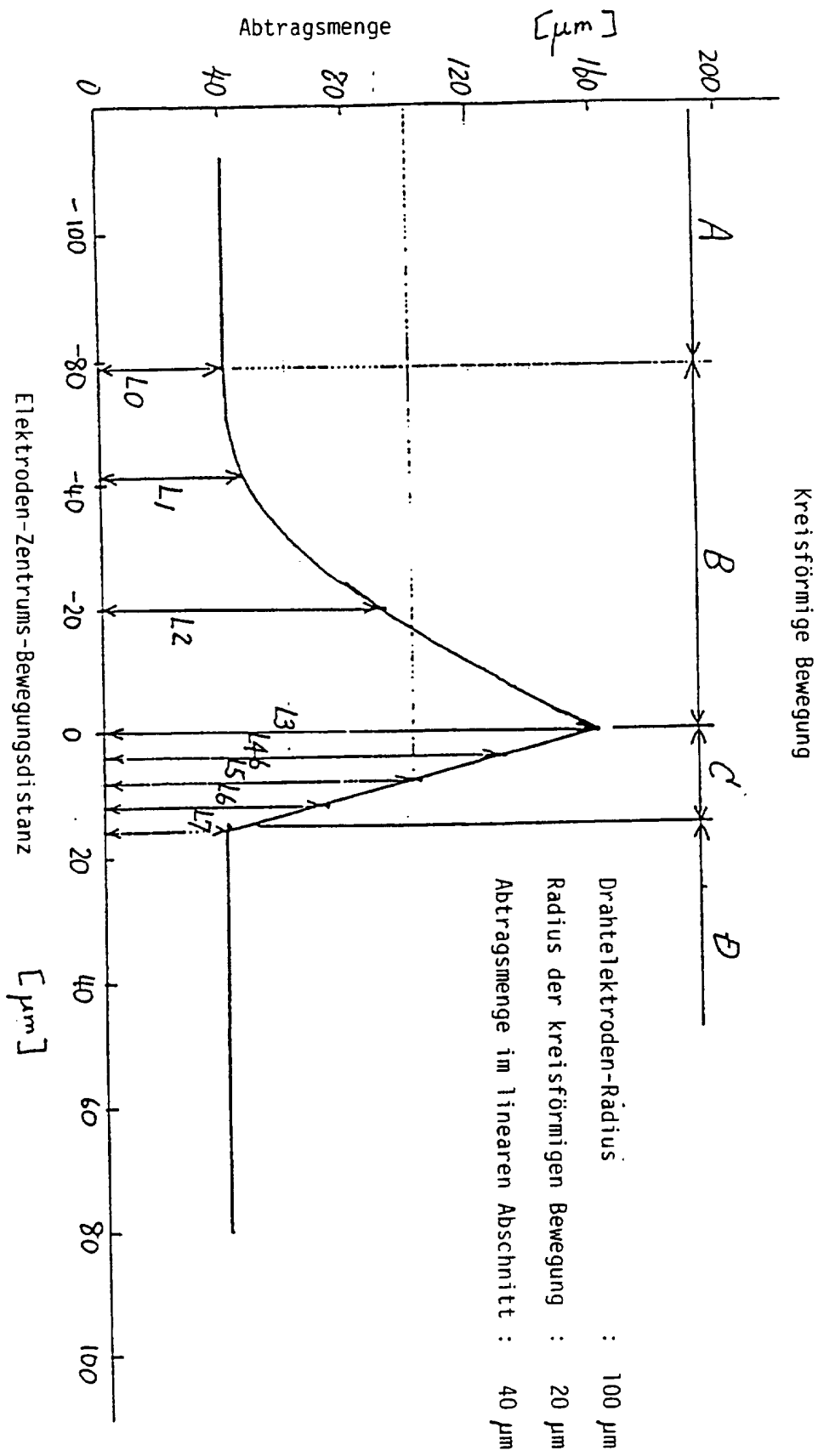


FIG. 4a

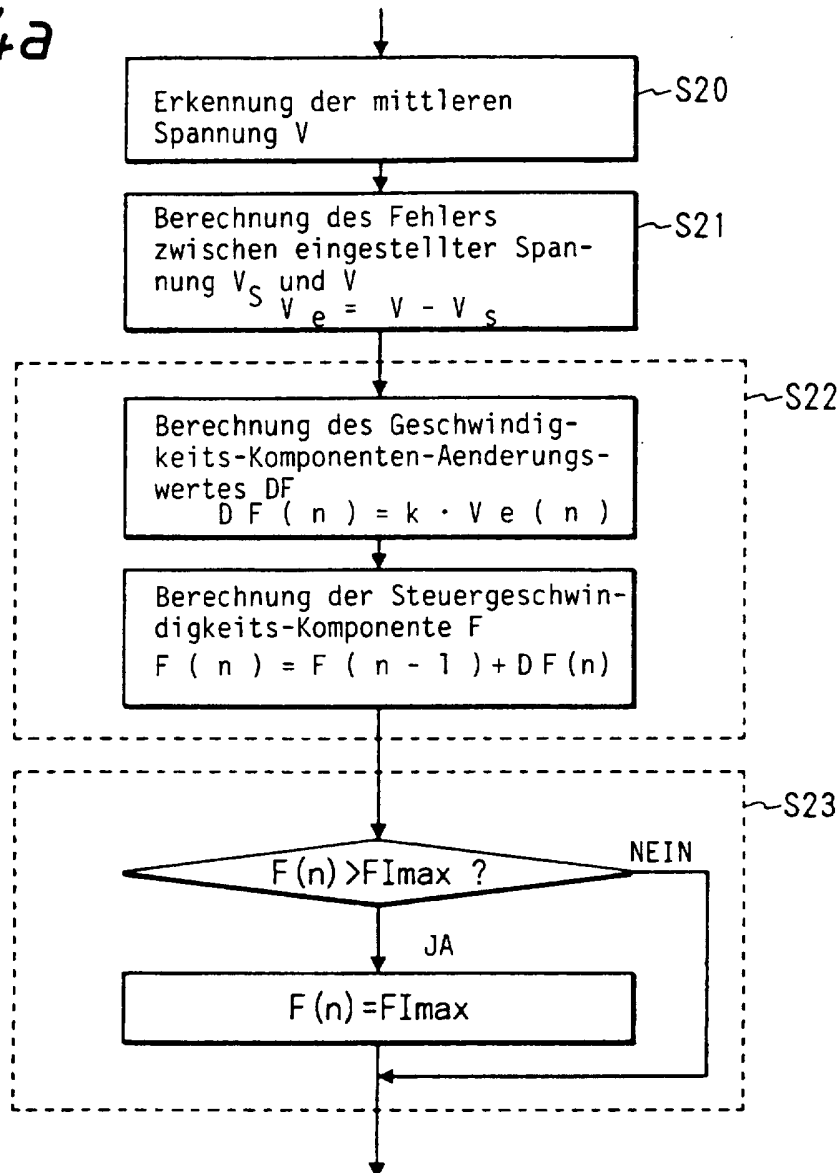


FIG. 4b

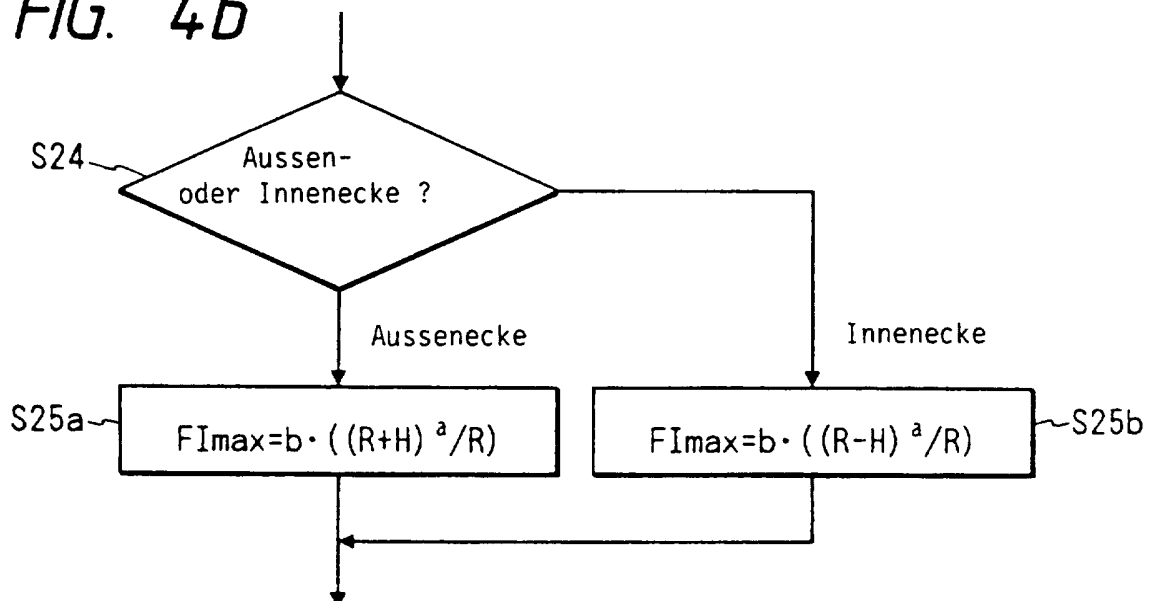


FIG. 5

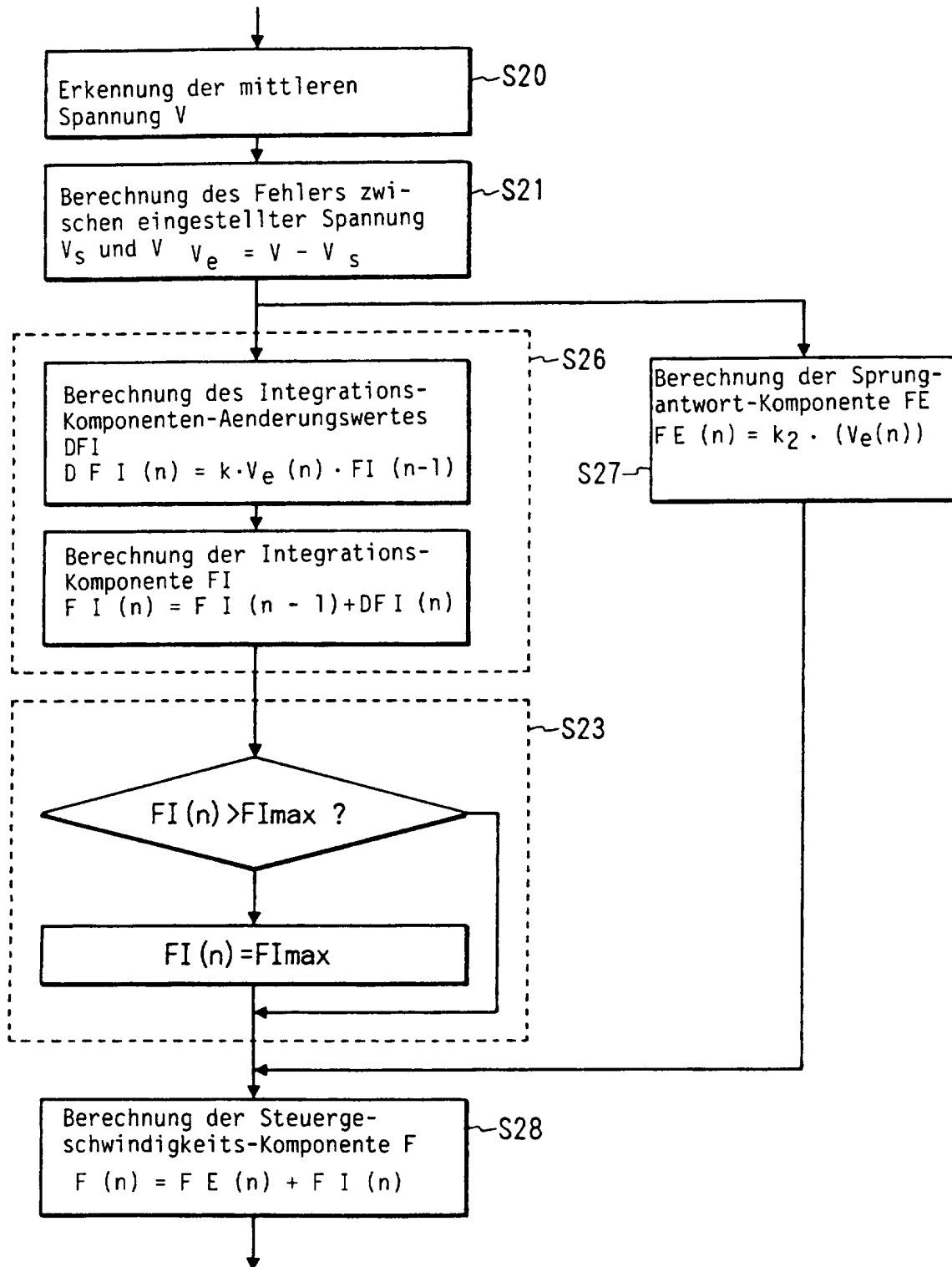


FIG. 6a

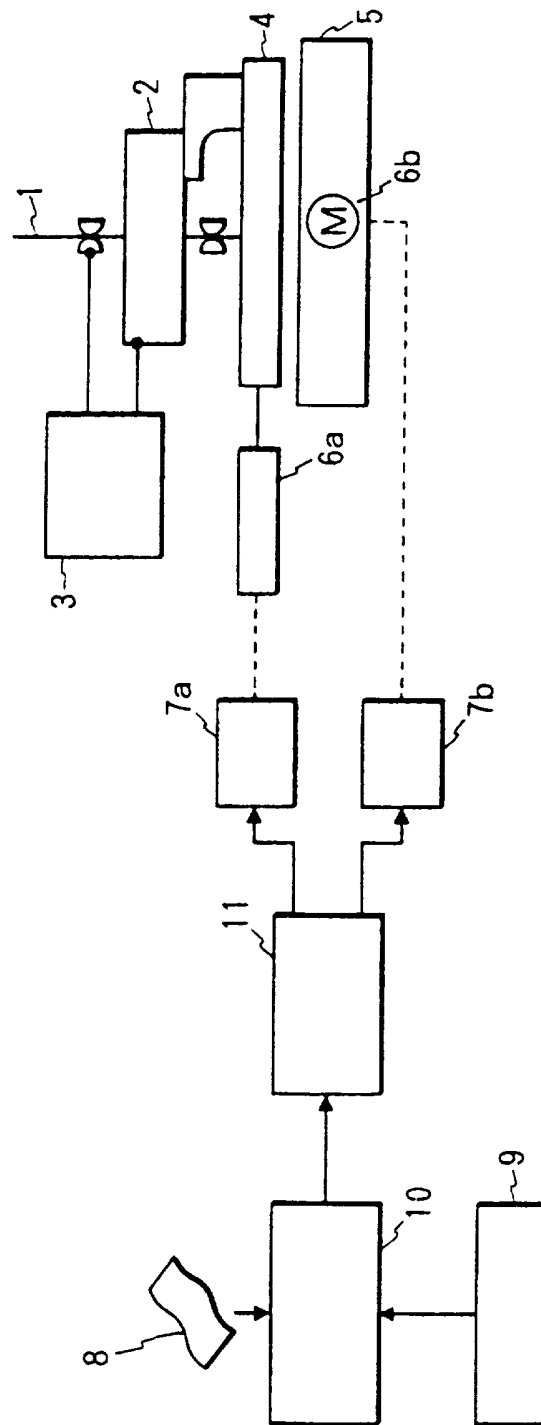


FIG. 6b

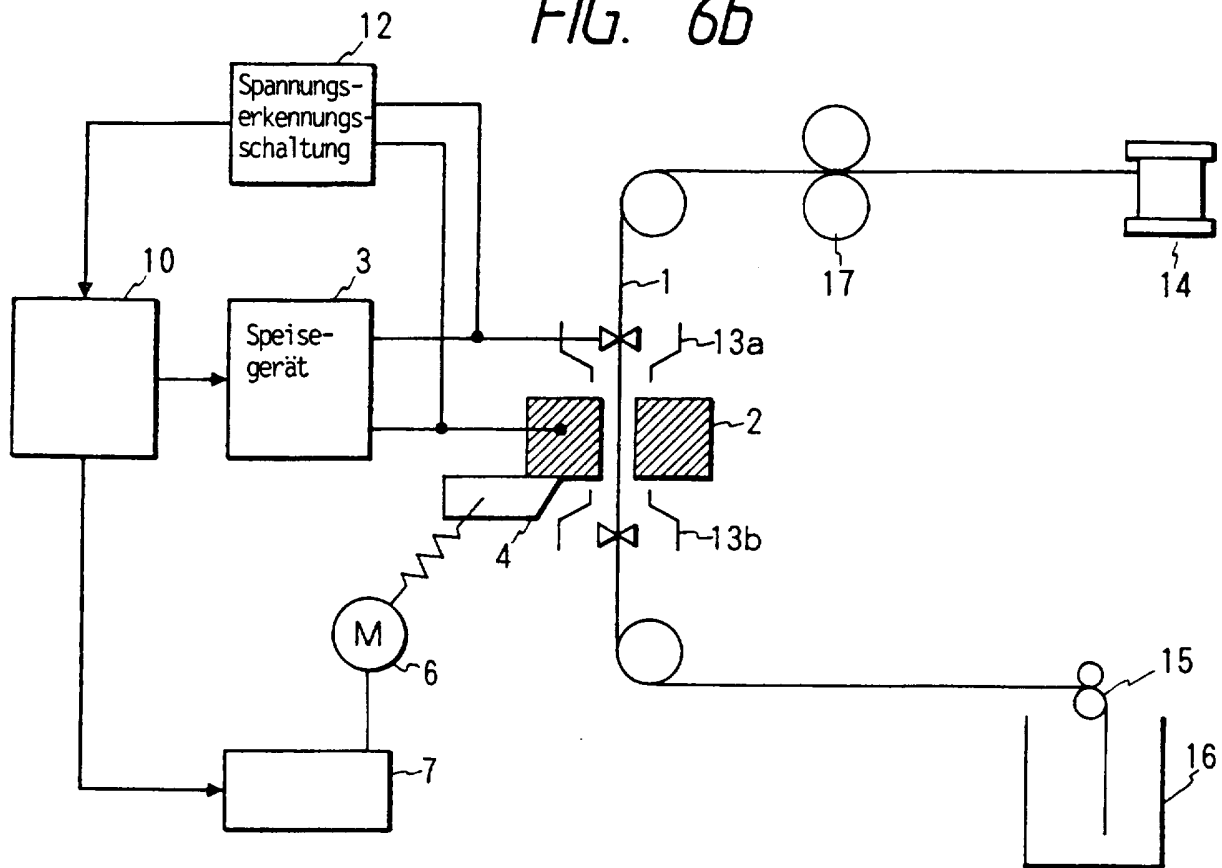


FIG. 6c

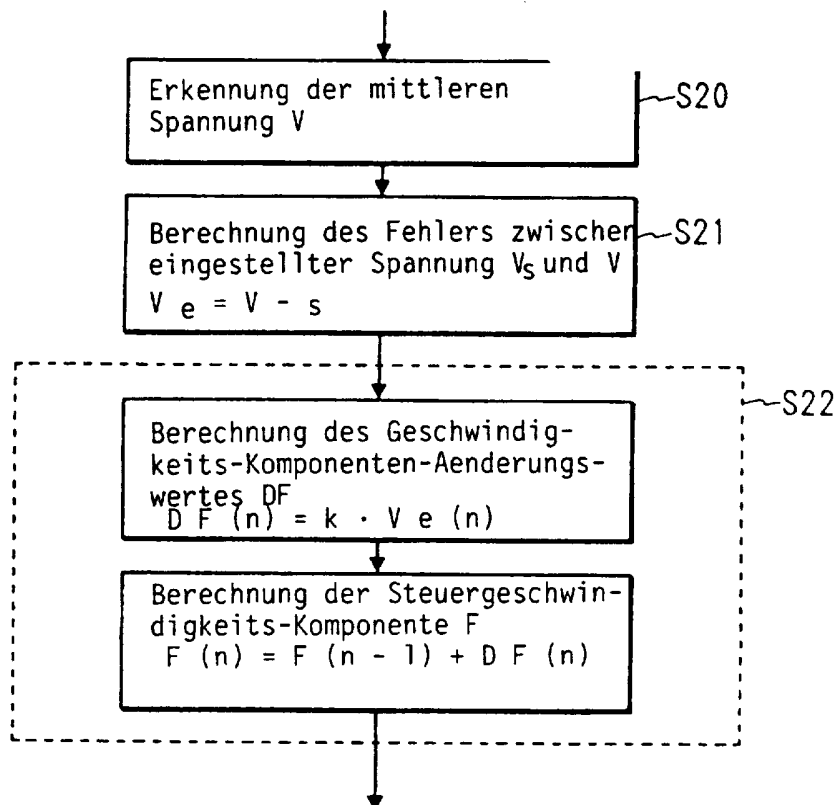


FIG. 7a

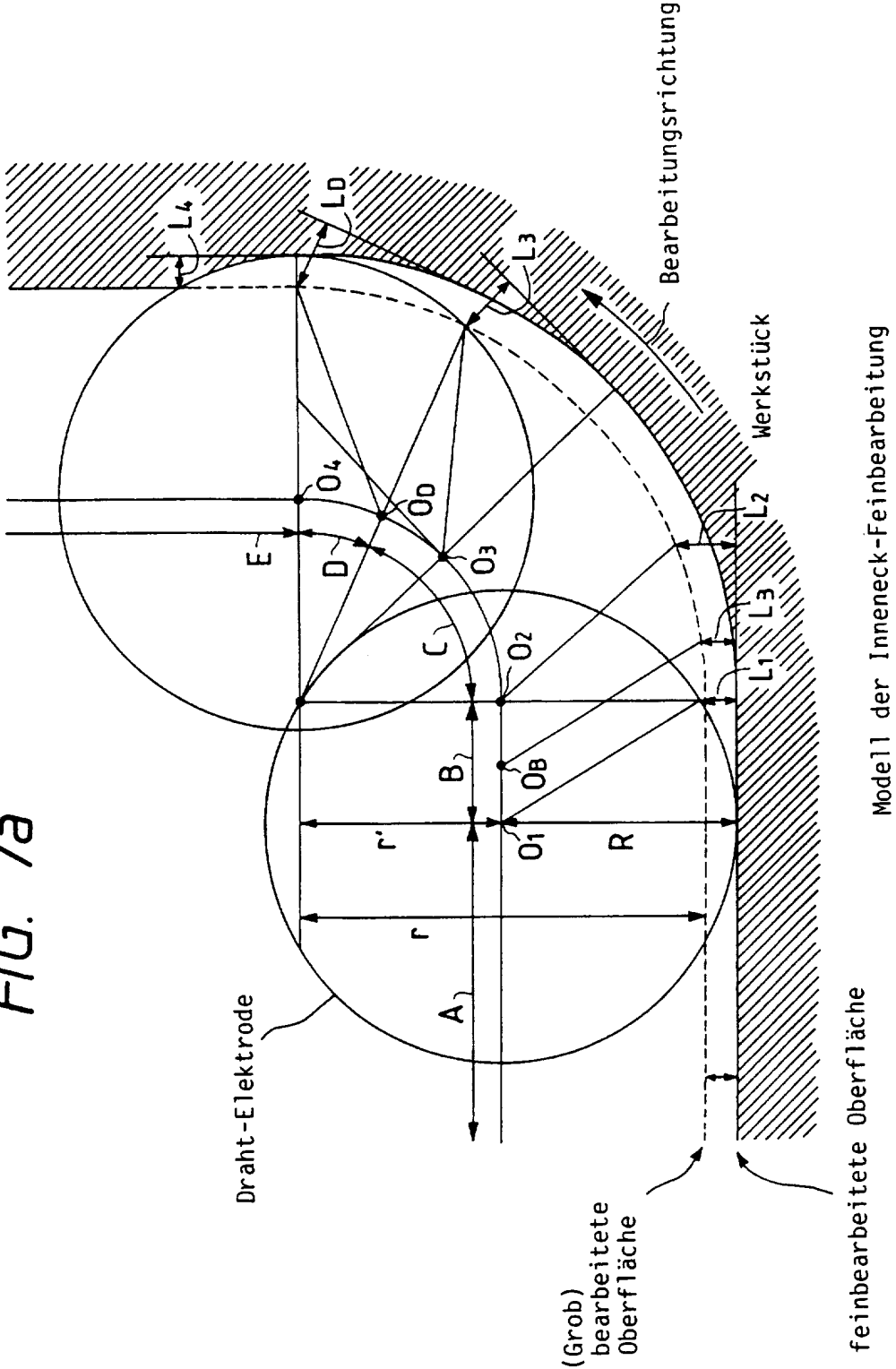
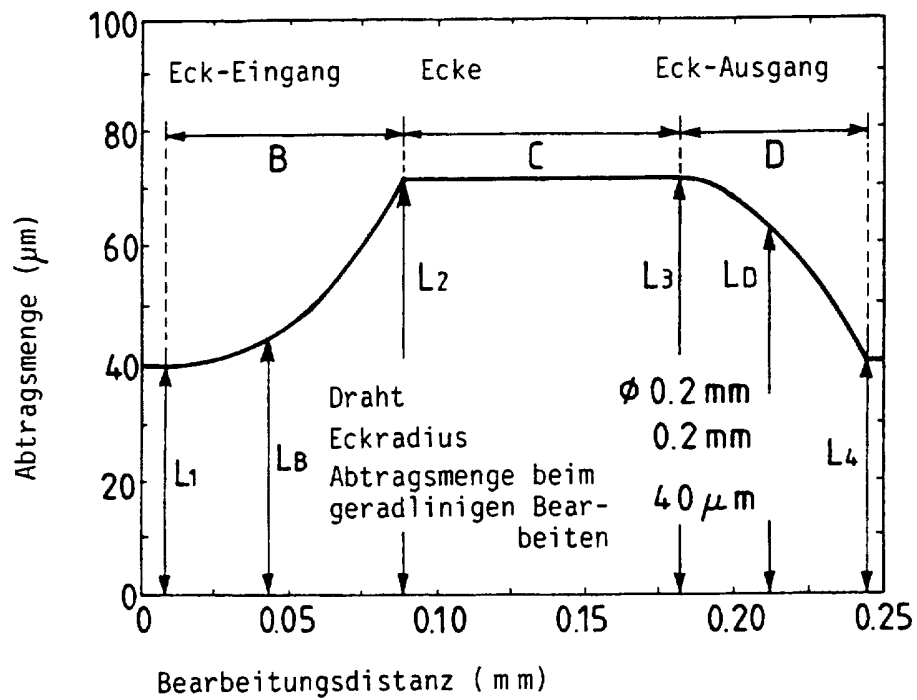
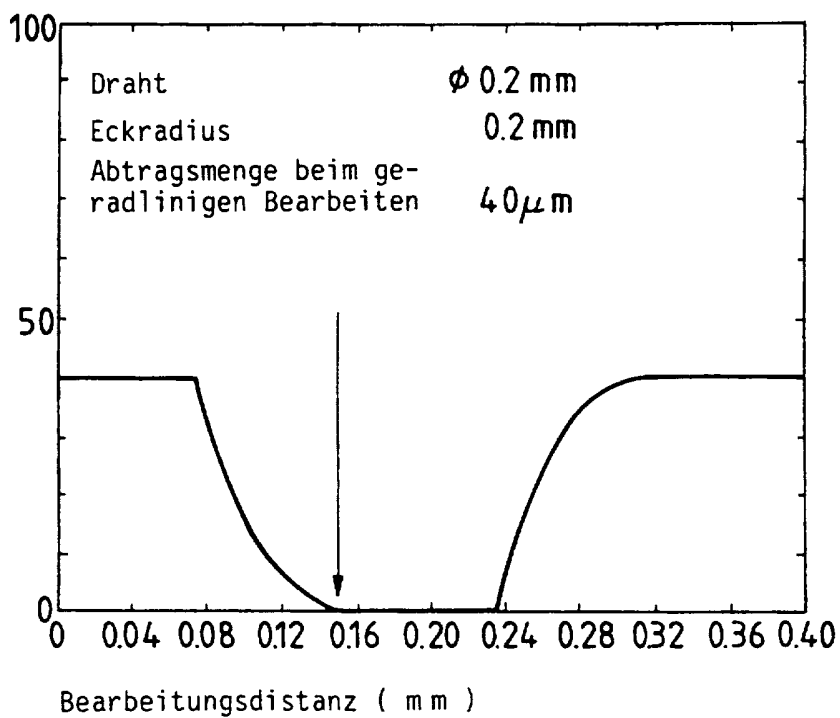


FIG. 7b



Abtragsmengen-Änderungen bei der Inneneck-
Feinbearbeitung

FIG. 7c



Abtragsmengen-Änderungen bei der Ausseneck-Feinbearbeitung

FIG. 8

