



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) **EP 1 329 289 A2**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
23.07.2003 Patentblatt 2003/30

(51) Int Cl.7: **B24B 35/00**

(21) Anmeldenummer: **03000941.9**

(22) Anmeldetag: **16.01.2003**

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

(72) Erfinder:
• **Goldau, Harald, Dr.-Ing.**
39175 Klein-Gübs (DE)
• **Brust, Peter**
42289 Wuppertal (DE)

(30) Priorität: **17.01.2002 DE 10201639**

(74) Vertreter: **Albrecht, Rainer Harald, Dr.-Ing. et al**
Patentanwälte
Andrejewski, Honke & Sozien,
Theaterplatz 3
45127 Essen (DE)

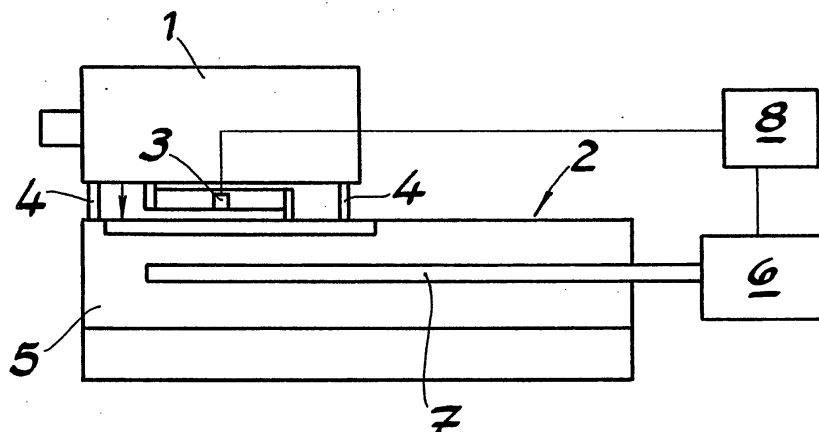
(71) Anmelder: **Thielenhaus Technologies GmbH**
42285 Wuppertal (DE)

(54) **Verfahren zur Finishbearbeitung von Werkstücken**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Finishbearbeitung von Werkstücken unter Verwendung einer Bearbeitungsvorrichtung, die eine Werkzeugspindel für ein Bearbeitungswerkzeug und eine NC-gesteuerte Zustelleinrichtung aufweist, wobei die werkstückseitige Andrückkraft des Bearbeitungswerkzeuges gemessen und die Kraftmesswerte der NC-Steuerung zugeführt werden, welche die Zustellgeschwindigkeit des Bearbeitungswerkzeuges zum Werkstück festlegt. Die Finishbearbeitung erfolgt in einem kraftgesteuerten Betriebsmodus, in welchem die Zustellgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der auf das Bearbeitungswerkzeug

wirkenden Andrückkraft gesteuert wird. Erfindungsgemäß wird eine Bearbeitungsvorrichtung verwendet, deren Werkzeugspindel auf Blattfedern in Richtung der Zustellbewegung beweglich an der Zustelleinrichtung abgestützt ist und welche eine zwischen der Werkzeugspindel und der Zustelleinrichtung wirksame und im Wesentlichen deformationsfrei arbeitende Kraftmesseinrichtung aufweist. Im kraftgesteuerten Betriebsmodus werden mit einer durch die NC-Steuerung vorgegebenen Taktregelfrequenz den Messwerten der Kraftmesseinrichtung Zustellgeschwindigkeitswerte zugeordnet, wobei die Zuordnung nach einer Dämpfungsfunktion festgelegt ist.

Fig.1



EP 1 329 289 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Finishbearbeitung von Werkstücken unter Verwendung einer Bearbeitungsvorrichtung, die eine Werkzeugspindel für ein Bearbeitungswerkzeug und eine NC-gesteuerte Zustelleinrichtung aufweist,

wobei die werkstückseitige Andrückkraft des Bearbeitungswerkzeuges gemessen wird und die Kraftmesswerte der NC-Steuerung zugeführt werden, welche die Zustellgeschwindigkeit des Bearbeitungswerkzeuges zum Werkstück festlegt, und

wobei die Finishbearbeitung in einem kraftgesteuerten Betriebsmodus erfolgt, in welchem die Zustellgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der auf das Bearbeitungswerkzeug wirkenden Andrückkraft gesteuert wird.

[0002] Bei der Finishbearbeitung von Werkstücken sind präzise geführte Zustellbewegungen des rotierenden Bearbeitungswerkzeuges erforderlich, um hohe Anforderungen an die Maßhaltigkeit und Oberflächengüte der bearbeiteten Werkstückfläche zu erfüllen. Die Zustellung muss so gesteuert werden, dass das Bearbeitungswerkzeug mit einer definierten Kraft von im Regelfall weniger als 100 N an der zu bearbeitenden Werkstückfläche anliegt. Bei sehr kleinen Werkstücken müssen Andrückkräfte in der Größenordnung von 1 bis 50 N eingestellt werden, und zwar mit minimalen Regelabweichungen.

[0003] Ein Verfahren mit den eingangs beschriebenen Merkmalen ist aus DE 199 52 805 A1 bekannt. Bei dem bekannten Verfahren wird als Zustelleinrichtung für das Bearbeitungswerkzeug ein Schlitten mit einem NC-gesteuerten Linearmotor als Vorschubantrieb eingesetzt. Der Linearmotor zeichnet sich durch eine hohe Dynamik aus und wird in Abhängigkeit von der auf das Bearbeitungswerkzeug wirkenden Andrückkraft gesteuert. Der Schlitten muss reibungsfrei gelagert werden, um präzise, kraftgesteuerte Zustellbewegungen zu ermöglichen. Die Realisierung des bekannten Verfahrens ist technisch aufwendig.

[0004] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Finishbearbeitung von Werkstücken anzugeben, mit dem kraftgesteuerte Zustellbewegungen des Bearbeitungswerkzeuges mit feinfühlig einstellbarer und präzise eingehaltener Andrückkraft möglich ist. Das Verfahren soll auch mit mechanischen Zustelleinrichtungen durchführbar sein, deren Stellbewegungen reibungsbehaftet sind.

[0005] Ausgehend von einem Verfahren mit den eingangs beschriebenen Merkmalen wird die Aufgabe erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass

eine Bearbeitungsvorrichtung verwendet wird, deren Werkzeugspindel auf Blattfedern in Richtung der Zustellbewegung beweglich an der Zustelleinrichtung abgestützt ist und welche eine zwischen der Werkzeugspindel und der Zustelleinrichtung wirksame, im Wesentlichen deformationsfrei arbeitende Kraftmesseinrichtung aufweist, und

dass im kraftgesteuerten Betriebsmodus mit einer durch die NC-Steuerung vorgegebenen Taktregelfrequenz den Messwerten der Kraftmesseinrichtung Zustellgeschwindigkeitswerte zugeordnet werden,

wobei die Zuordnung zwischen den Kraft- und Geschwindigkeitswerten nach einer Dämpfungsfunktion so festgelegt ist, dass sich die Zustellgeschwindigkeit bei einem Abfall des Kraftmesswertes vergrößert und bei einem Anstieg des Kraftmesswertes reduziert, bis der Kraftmesswert innerhalb zulässiger Toleranzen einem vorgegebenen Kraftsollwert entspricht.

[0006] Erfindungsgemäß wird die Werkzeugspindel auf Blattfedern abgestützt, die quer zur Vorschubrichtung ausgerichtet sind. Die vertikal angeordneten und mit kurzer freier Länge eingespannten Blattfedern sind in Vorschubrichtung der Werkzeugspindel sehr nachgiebig und flexibel, so dass Andrückkräfte an der Werkzeugspindel feinfühlig und praktisch verlustfrei auf die Kraftmesseinrichtung übertragen werden. Insbesondere bei einer Einspannung mit kurzer freier Länge können die Blattfedern große vertikale Kräfte sowie große Querkräfte aufnehmen. Sie eignen sich daher zur alleinigen Abstützung der Werkzeugspindel auf der Zustelleinrichtung, ohne dass es einer zusätzlichen, reibungsbehafteten Führung zwischen der Werkzeugspindel und der Zustelleinrichtung bedarf. Als Zustelleinrichtung kann ein von einer Rollspindel angetriebener Schlitten eingesetzt werden. Reibungen in der Schlittenführung sowie zwischen Rollspindel und Schlitten wirken sich auf die Messung der Andrückkraft, mit der das Bearbeitungswerkzeug an der Werkstückfläche anliegt, nicht aus. Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht eine hochsensible Kraftsteuerung des Finishbearbeitungsprozesses, wobei Andrückkräfte bis hinunter 1 N reproduzierbar und genau eingestellt und während des Finishbearbeitungsprozesses im kraftgesteuerten Betriebsmodus auch eingehalten werden können.

[0007] Vorzugsweise wird als Kraftmesseinrichtung ein Piezoelement verwendet, das zwischen einem an der Werkzeugspindel befestigten Anschlusselement und einem an der Zustelleinrichtung angeordneten Lagerbock eingespannt ist und auf die Werkzeugspindel wirkende Andrückkräfte im Wesentlichen ohne Verformung auf die Zustelleinrichtung überträgt.

[0008] Für das erfindungsgemäße Verfahren eignen sich auch Zustelleinrichtungen, die eine mehrachsige Zustellbewegung ausführen können und eine der Zahl der Achsen entsprechende Zahl von Zustellantrieben aufweisen. Die den Achsen zugeordneten Zustellantriebe werden von der NC-Steuerung so angesteuert, dass die superponierte Zustellung in Kraftwirkungsrichtung der Werkzeugspindel gemäß dem zuvor beschriebenen kraftgesteuerten Betriebsmodus erfolgt.

[0009] In weiterer Ausgestaltung lehrt die Erfindung, dass die Werkzeugspindel zur Finishbearbeitung eines neuen Werkstückes im Eilgang zugestellt wird, bis durch ein Messsignal der Kraftmesseinrichtung ein Werkstückanschnitt durch das Bearbeitungswerkzeug

erkannt wird, und dass mit der Anschnitterkennung die Zustellbewegung der Werkzeugspindel von der NC-Steuerung gestoppt wird und der weitere Betrieb im kraftgesteuerten Betriebsmodus erfolgt. Der Kraftsollwert für die Finishbearbeitung kann nach einer Zeitfunktion in Stufen oder stetig variiert werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht eine Finishbearbeitung von Werkstücken mit definierten, optimal auf das Werkstück sowie das Bearbeitungswerkzeug abgestimmten Andrückkräften, und zwar mit vernachlässigbar kleinen Regelabweichungen. Bei der Bearbeitung kleinteiliger Werkstücke können Andrückkräfte bis hinunter zu 1 N realisiert werden. Die mit dem erfindungsgemäßen Verfahren erzielbaren Finishergebnisse zeichnen sich durch sehr gute Geometrie- und Oberflächenkenngrößen aus. Durch die Kraftsteuerung können Überlastungen des Bearbeitungswerkzeuges vermieden werden, was sich in einem geringen Verschleiß des Bearbeitungswerkzeuges vorteilhaft niederschlägt.

[0010] Im Folgenden wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels darstellenden Zeichnung erläutert. Es zeigen schematisch

Fig. 1 eine Vorrichtung zur Finishbearbeitung von Werkstücken nach dem erfindungsgemäßen Verfahren,

Fig. 2 in einem Geschwindigkeits-/Kraft-Diagramm die Änderungen der Zustellgeschwindigkeit des Bearbeitungswerkzeuges in Abhängigkeit der auf das Bearbeitungswerkzeug wirkenden Andrückkraft während einer Finishbearbeitung im kraftgesteuerten Betriebsmodus,

Fig. 3 den zeitlichen Verlauf der auf das Bearbeitungswerkzeug wirkenden Andrückkraft und der Zustellgeschwindigkeit bei Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens,

Fig. 4 einen Ausschnitt aus Fig. 3 in einem gegenüber Fig. 3 geänderten Zeitmaßstab,

Fig. 5 die zeitlichen Verläufe der auf das Bearbeitungswerkzeug wirkenden Andrückkraft sowie der Zustellgeschwindigkeit bei einer gegenüber Fig. 3 geänderten Verfahrensführung.

[0011] Die in Fig. 1 dargestellte Vorrichtung dient zur Finishbearbeitung von Werkstücken und eignet sich insbesondere auch zur Bearbeitung von kleinstückigen Serienteilen aus Metall oder Keramik. Zum grundsätzlichen Aufbau der Vorrichtung gehören eine z. B. als Hochleistungsmotorspindel ausgebildete Werkzeugspindel 1, eine NC-gesteuerte Zustelleinrichtung 2 sowie eine zwischen der Werkzeugspindel 1 und der Zustelleinrichtung 2 wirksame, im Wesentlichen deformationsfrei arbeitende Kraftmesseinrichtung 3 zur Mes-

sung der bei einer Werkstückbearbeitung auf die Werkzeugspindel 1 wirkenden Andrückkraft F . Die Werkzeugspindel 1 ist mit Blattfedern 4 an der Zustelleinrichtung 2 gelagert, wobei die Blattfedern 4 quer zur Vorschubrichtung ausgerichtet sind. Als Kraftmesseinrichtung 3 wird ein Piezoelement verwendet, das zwischen einem an der Werkzeugspindel 1 befestigten Anschlusselement und einem an der Zustelleinrichtung 2 angeordneten Lagerbock eingespannt ist. Die Zustelleinrichtung 2 weist einen Schlitten 5 mit einer nach dem Stand der Technik ausgebildeten Präzisionsschlittenführung sowie als Antriebsaggregat eine von einem Motor 6 angetriebene Rollspindel 7 auf. Andere Ausführungen der Zustelleinrichtung sind nicht ausgeschlossen. Es können auch mehrachsige Zustelleinrichtungen eingesetzt werden.

[0012] Die werkstückseitige Andrückkraft F auf die Werkzeugspindel 1 wird gemessen. Die Kraftmesswerte werden einer NC-Steuerung 8 zugeführt, welche die Zustellgeschwindigkeit V des Bearbeitungswerkzeuges zum Werkstück festlegt. Die Finishbearbeitung erfolgt in einem kraftgesteuerten Betriebsmodus, in welchem die Zustellgeschwindigkeit V in Abhängigkeit von der auf das Bearbeitungswerkzeug bzw. die Werkzeugspindel 1 wirkenden Andrückkraft F gesteuert wird. Mit einer durch die NC-Steuerung 8 vorgegebenen Taktregelfrequenz, z. B. in Zeitintervallen von zwei bis vier Millisekunden, werden den Messwerten der Kraftmesseinrichtung 3 Zustellgeschwindigkeitswerte zugeordnet. Die Zuordnung erfolgt nach einer der in Fig. 2 schematisch dargestellten Dämpfungsfunktionen. Die Dämpfungsfunktion wird für den konkreten Anwendungsfall ausgewählt und ist so festgelegt, dass sich die Zustellgeschwindigkeit bei einem Abfall des Kraftmesswertes F vergrößert und bei einem Anstieg des Kraftmesswertes reduziert, bis der Kraftmesswert F innerhalb zulässiger Toleranzen einem vorgegebenen Kraftsollwert F_0 entspricht. Die Taktregelfrequenz, mit der die Zuordnung der Zustellgeschwindigkeitswerte V zu den Kraftmesswerten F erfolgt, ist abhängig von der NC-Steuerung 8 und beträgt in der Praxis einige Millisekunden. Im kraftgesteuerten Betriebsmodus werden der gewünschte Kraftsollwert F_0 und die diesem zugeordnete Zustellgeschwindigkeit V_0 sehr rasch erreicht und während des Finishbearbeitungsprozesses präzise eingehalten. Dies wird anhand der Fig. 3 bis 5 deutlich, in denen die zeitlichen Verläufe der auf das Bearbeitungswerkzeug bzw. die Werkzeugspindel wirkenden Andrückkraft F sowie der Zustellgeschwindigkeit V der Werkzeugspindel 1 zum Werkstück jeweils für einen Finishbearbeitungsprozess aufgetragen sind.

[0013] Zur Finishbearbeitung eines neuen Werkstückes wird die Werkzeugspindel 1 mit einer in den Fig. 3 bis 5 aus Maßstabsgründen nicht dargestellten, vorgeählten Zustellgeschwindigkeit, z. B. mit einer Zustellgeschwindigkeit von 300 $\mu\text{m/sec}$, im Eilgang zugestellt, bis durch ein Messsignal der Kraftmesseinrichtung 3 ein Werkstückanschnitt durch das Bearbeitungswerkzeug

erkannt wird. Die Erkennung des Werkstückanschnitts ist in den Fig. 3 und 4 als Triggersignal 9 dargestellt. Mit der Anschnitterkennung durch das Triggersignal 9 wird die Zustellbewegung der Werkzeugspindel 1 von der NC-Steuerung 8 gestoppt. Mit einer minimalen zeitlichen Verzögerung, die bei Auftreten einer Unstetigkeit durch Rechenzyklen der NC-Steuerung 8 bedingt ist und im Ausführungsbeispiel etwa 65 Millisekunden beträgt, setzt die Wirkung des kraftgesteuerten Betriebsmodus ein und wird nach Maßgabe der ausgewählten Dämpfungsfunktion die Zustellgeschwindigkeit den jeweiligen Kraftmesswerten zugeordnet. Den Fig. 3 und 4 entnimmt man, dass nach einer kurzen Bearbeitungszeit die Kraftwerte F dem vorgegebenen Kraftsollwert F_0 entsprechen und dieser während des Finishbearbeitungsprozesses konstant beibehalten wird. Im Anschluss an die im kraftgesteuerten Betriebsmodus erfolgte Finishbearbeitung wird die Zustellbewegung gestoppt und die Zustelleinrichtung 2 in dieser Position gehalten, bis sich die auf das Bearbeitungswerkzeug wirkende Andrückkraft weitgehend abgebaut hat. Anschließend wird die Werkzeugspindel 1 mit der Zustelleinrichtung 2 von dem Werkstück fortbewegt, was in Fig. 3 durch negative Geschwindigkeitswerte angedeutet wird. Die Rückstellbewegung kann kraftgesteuert ausgelöst werden, wenn der Kraftmesswert unter einen vorgegebenen Schwellenwert abgefallen ist.

[0014] Bei der in Fig. 5 dargestellten Verfahrensführung wird der Kraftsollwert F_0 für die Finishbearbeitung im kraftgesteuerten Betriebsmodus nach einer Zeitfunktion stufenförmig variiert. Im Ausführungsbeispiel erfolgt eine Reduzierung des anfänglichen Kraftsollwertes F_0 von 30 N auf 15 N und schließlich in einer Endphase des Finisbearbeitungsprozesses auf 8 N. Nach Maßgabe der Dämpfungsfunktion werden die Zustellgeschwindigkeitswerte V von der NC-Steuerung 8 so eingestellt, dass bereits nach kurzer Zeit die geänderten Kraftsollwerte erreicht werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Finishbearbeitung von Werkstücken unter Verwendung einer Bearbeitungsvorrichtung, die eine Werkzeugspindel für ein Bearbeitungswerkzeug und eine NC-gesteuerte Zustelleinrichtung aufweist, wobei die werkstückseitige Andrückkraft des Bearbeitungswerkzeuges gemessen wird und die Kraftmesswerte der NC-Steuerung zugeführt werden, welche die Zustellgeschwindigkeit des Bearbeitungswerkzeuges zum Werkstück festlegt, und wobei die Finishbearbeitung in einem kraftgesteuerten Betriebsmodus erfolgt, in welchem die Zustellgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der auf das Bearbeitungswerkzeug wirkenden Andrückkraft gesteuert wird, **dadurch gekennzeichnet, dass**

eine Bearbeitungsvorrichtung verwendet wird, deren Werkzeugspindel auf Blattfedern in Richtung der Zustellbewegung beweglich an der Zustelleinrichtung abgestützt ist und welche eine zwischen der Werkzeugspindel und der Zustelleinrichtung wirksame, im Wesentlichen deformationsfrei arbeitende Kraftmesseinrichtung aufweist, und dass im kraftgesteuerten Betriebsmodus mit einer durch die NC-Steuerung vorgegebenen Taktregelfrequenz den Messwerten der Kraftmesseinrichtung Zustellgeschwindigkeitswerte zugeordnet werden, wobei die Zuordnung zwischen den Kraft- und Geschwindigkeitswerten nach einer Dämpfungsfunktion so festgelegt ist, dass sich die Zustellgeschwindigkeit bei einem Abfall des Kraftmesswertes vergrößert und bei einem Anstieg des Kraftmesswertes reduziert, bis der Kraftmesswert innerhalb zulässiger Toleranzen einem vorgegebenen Kraftsollwert entspricht.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Werkzeugspindel zur Finishbearbeitung eines neuen Werkstückes im Eilgang zugestellt wird, bis durch ein Messsignal der Kraftmesseinrichtung ein Werkstückanschnitt durch das Bearbeitungswerkzeug erkannt wird, und dass mit der Anschnitterkennung die Zustellbewegung der Werkzeugspindel von der NC-Steuerung gestoppt wird und der weitere Betrieb im kraftgesteuerten Betriebsmodus erfolgt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Zustelleinrichtung ein von einer Rollspindel angetriebener Schlitten eingesetzt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Kraftmesseinrichtung ein Piezoelement verwendet wird, das zwischen einem an der Werkzeugspindel befestigten Anschlusselement und einem an der Zustelleinrichtung angeordneten Lagerbock eingespannt ist und auf die Werkzeugspindel wirkende Andrückkräfte im Wesentlichen ohne Verformung auf die Zustelleinrichtung überträgt.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** mit der Zustelleinrichtung eine mehrachsige Zustellbewegung ausgeführt wird und dass die den Achsen zugeordneten Zustellantriebe von der NC-Steuerung so angesteuert werden, dass die superponierte Zustellung in Kraftwirkungsrichtung im kraftgesteuerten Betriebsmodus erfolgt.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Kraftsollwert für

die Finishbearbeitung im kraftgesteuerten Betriebsmodus nach einer Zeitfunktion in Stufen oder stetig variiert wird.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

5

Fig. 1

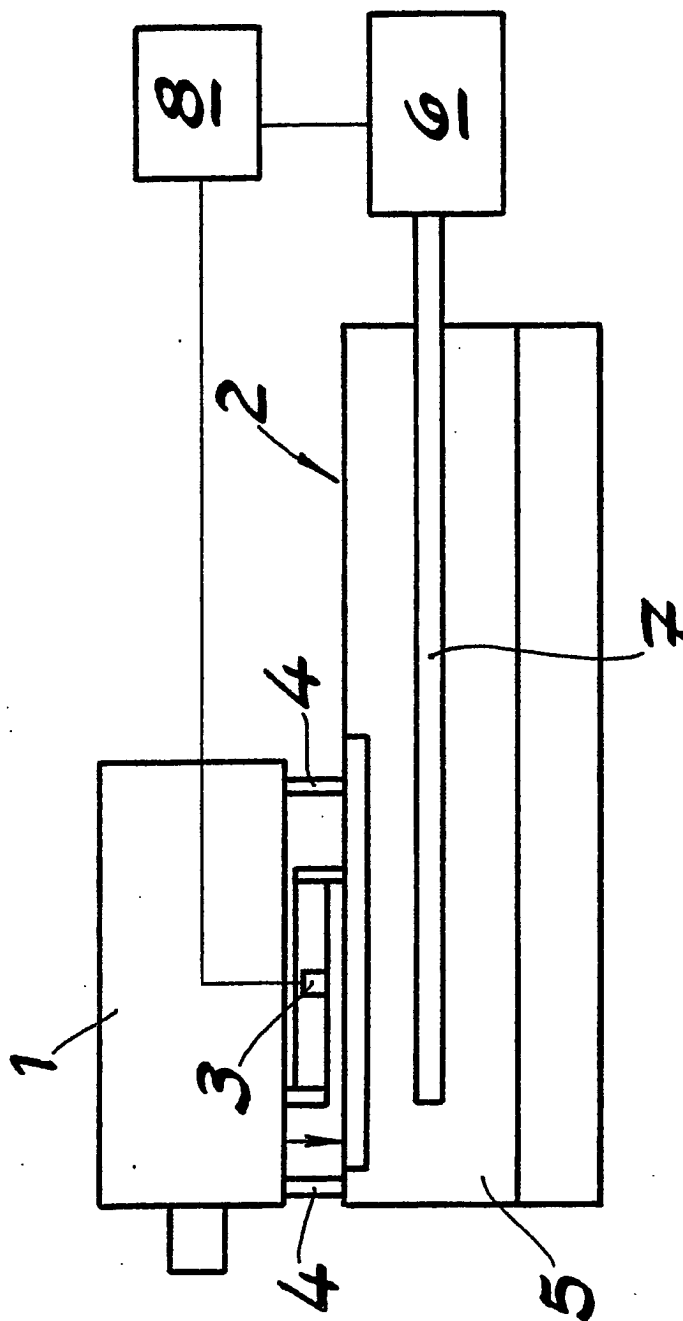


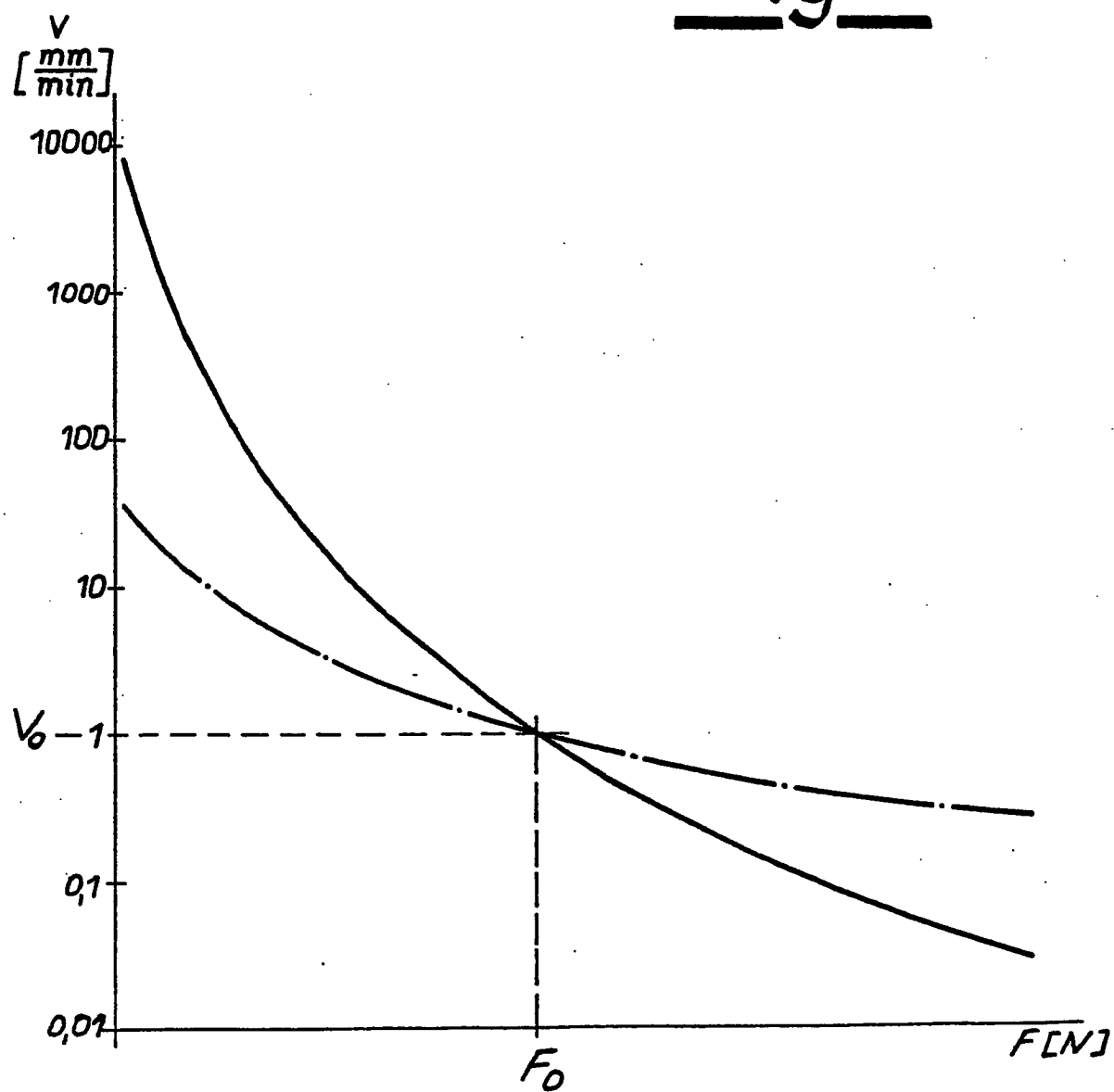
Fig.2

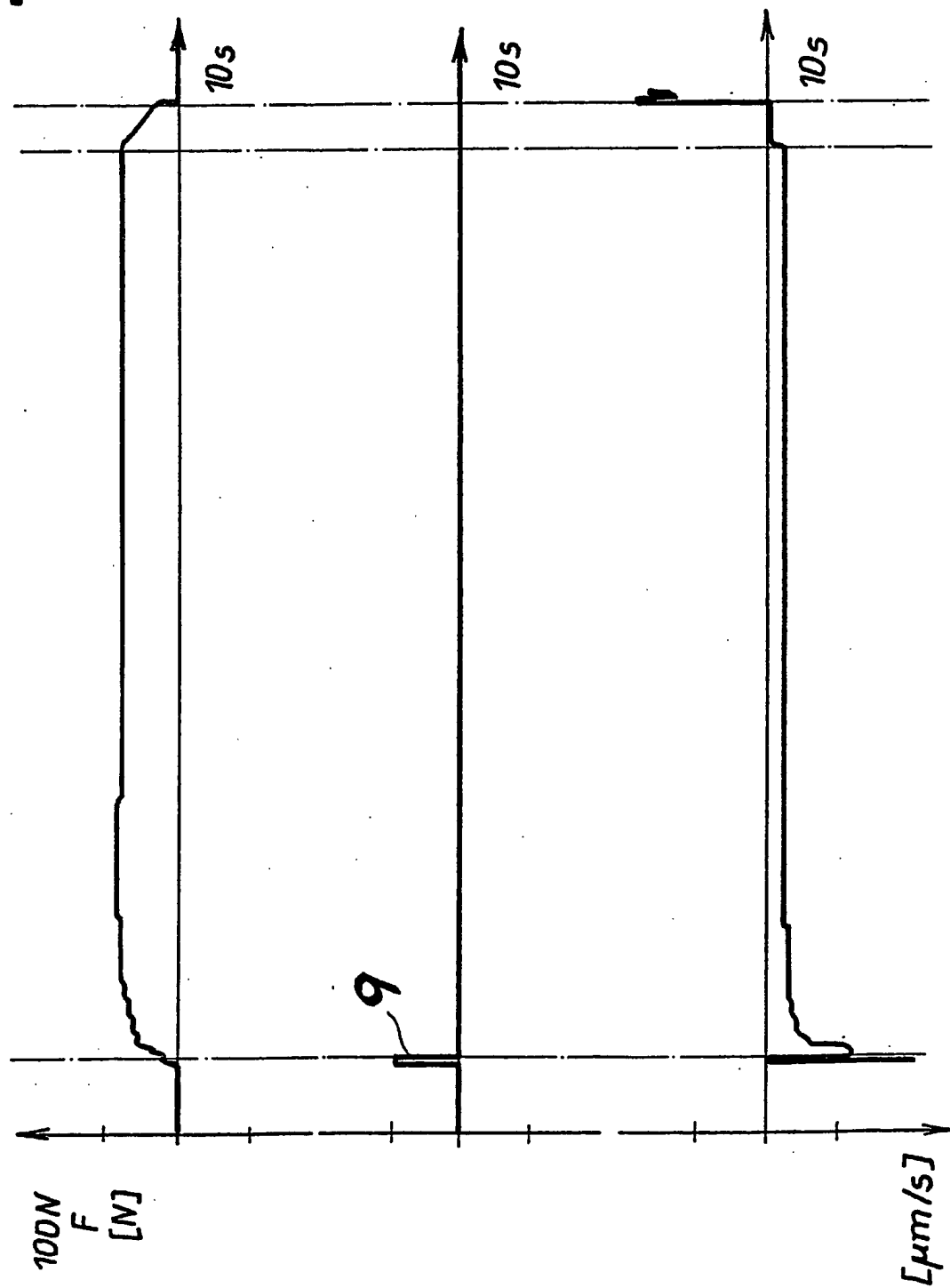
Fig. 3

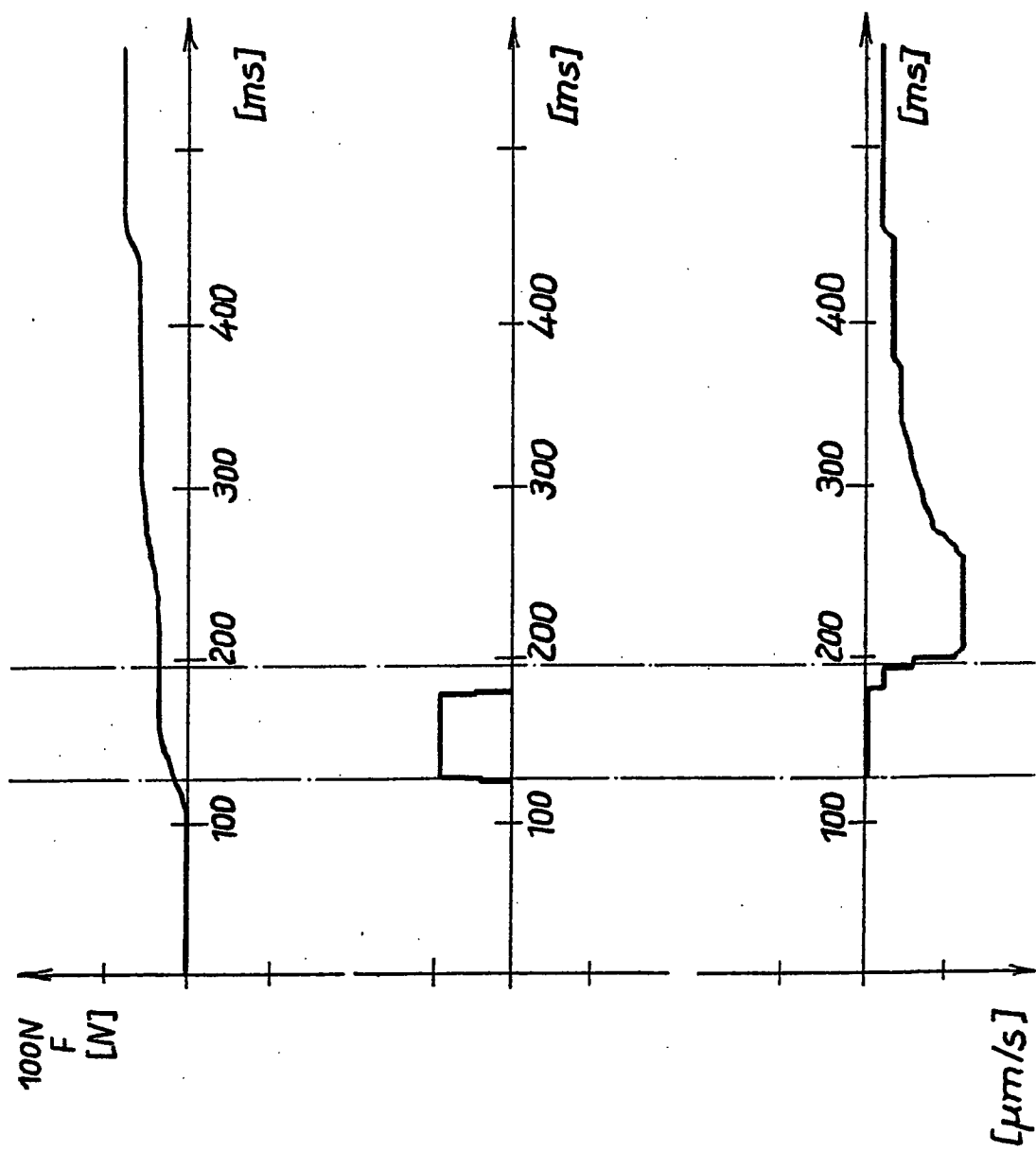
Fig. 4

Fig. 5