



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 **Offenlegungsschrift**
10 **DE 199 48 843 A 1**

51 Int. Cl.7:
C 21 D 11/00

21 Aktenzeichen: 199 48 843.6
22 Anmeldetag: 7. 10. 1999
43 Offenlegungstag: 21. 6. 2001

DE 199 48 843 A 1

71 Anmelder:
Siegert, Klaus, Prof.Dr.-Ing.Dr.h.c., 71063
Sindelfingen, DE; Baur, Jens, Dipl.Ing., 70435
Stuttgart, DE; Wolf, Andreas, Dipl.Ing., 70176
Stuttgart, DE; Bischoff, Gunnar, 70180 Stuttgart, DE

74 Vertreter:
Rumrich, G., Dipl.-Ing. Pat.-Ing., Pat.-Anw., 09116
Chemnitz

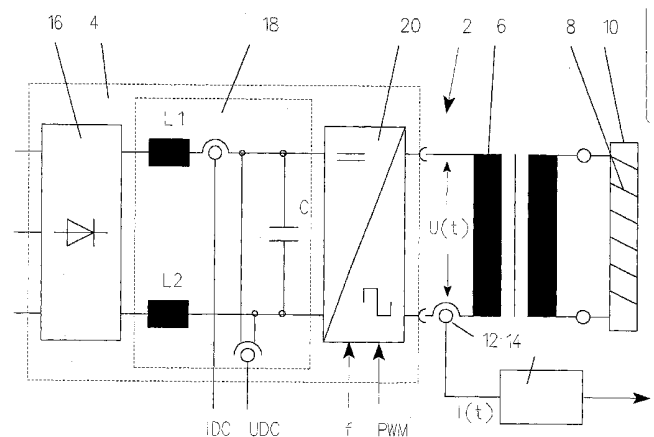
72 Erfinder:
gleich Anmelder

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren und Vorrichtung zur Ermittlung des teilflüssigen Gefügestandes beim induktiven Erwärmen von Werkstücken

57 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung des teilflüssigen Gefügestandes beim induktiven Erwärmen von Werkstücken, wobei Prozeßgrößen des Erwärmungsvorganges in bezug auf vorbestimmte Referenzgrößen überwacht werden. Es ist dadurch gekennzeichnet, daß der Effektivwert ($I_{eff}(t)$) des in die Induktionsspule (8) eingespeisten Wechselstromes ($I(t)$) auf Unterschreitung eines empirisch ermittelten ersten Schwellwertes (S), der einen vorbestimmten Gefügestand des Werkstückes (10) repräsentiert, überwacht wird. Darüber hinaus betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.



DE 199 48 843 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung des teilflüssigen Gefügestands beim induktiven Erwärmen von Werkstücken, wobei Prozeßgrößen des Erwärmungsvorganges in bezug auf vorbestimmte Referenzgrößen überwacht werden. Darüber hinaus betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

Für die Verfahren des Thixoformings ist es erforderlich, umzuformende Rohteile in einen Gefügestand zu versetzen, der neben einer festen Phase auch eine flüssige Phase aufweist.

Die genaue Ermittlung dieses Gefügestands erfolgte ursprünglich über die Überwachung einer in Echtzeit gemessenen Temperatur bezüglich einer zuvor empirisch ermittelten Temperatur. Hierfür wurden entweder Thermoelemente in zuvor eingebrachte Bohrungen des Rohteils eingelassen oder Thermokameras zum Einsatz gebracht. Die erste Variante eignete sich nicht für den Serieneinsatz, die zweite Variante war zu ungenau. Beidem suchte man durch Überwachung von Potentialdifferenzen oder Rohteilverformungen zu begegnen, was wiederum zu großer thermischer Belastung von Teilen der Meßeinrichtungen führte. Dieses Problem ist auch einem bekannten Verfahren zur Messung der Temperatur von metallischen Werkstücken oder ihres Feststoffanteils im teilerstarten Zustand gemäß DE 43 38 200 A1 eigen, bei dem der Phasenvergleich zwischen und/oder der Quotient aus einem in die Induktionsspule induzierten Signal und einem an einer Meßspule abgegriffenen Signal überwacht wird, wobei die Induktionsspule Teil eines Schwingkreises ist. Aufgrund der Verknüpfung mehrerer Signale tritt zu dem Nachteil der Temperaturbelastung noch der Nachteil der Fehleraddition hinzu.

Neben den Verfahren zur Ermittlung des teilflüssigen Gefügestands umzuformender Rohteile ist gemäß EP 0 427 879 A1 allgemein ein Verfahren zum induktiven Erwärmen von Werkstücken bekannt, das auf der Überwachung der Werkstückwirkleistung beruht, was die schwierige Ermittlung der Verlustleistung impliziert. Ein weiteres bekanntes Verfahren zur werkstoffabhängigen Steuerung von Wärmebehandlungsprozessen von Metallen gemäß DE 39 25 047 A1, das im Gegensatz zu allen bisherigen Verfahren auf Schwingkreise verzichtet, ist auf die Erfassung und Berücksichtigung zufälliger Veränderungen der Werkstoffeigenschaften gerichtet. Es stützt sich dabei auf die Überwachung des zeitlichen Verlaufes einer oder mehrerer Prozeßgrößen der induktiven Erwärmung in bezug auf empirisch ermittelte zeitliche Verläufe, weshalb die Erwärmung weder unterbrochen noch in ihrem Ablauf verändert werden darf.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Ermittlung des teilflüssigen Gefügestands beim induktiven Erwärmen von Werkstücken nach den Oberbegriffen der Ansprüche 1 und 10 zu schaffen, die bei geringer Temperaturbelastung eine hohe Genauigkeit ermöglichen.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch die Merkmale der Ansprüche 1 und 10 gelöst.

Das erfindungsgemäße Verfahren beruht auf der Überwachung des Effektivwertes des in die Induktionsspule eingespeisten Wechselstromes auf Unterschreitung eines empirisch ermittelten ersten Schwellwertes, der einen vorbestimmten Gefügestand des Werkstückes repräsentiert. Da sich das Verfahren nur auf eine einzige Meßgröße stützt, ist nur ein einziger Meßfehler zu berücksichtigen. Da die einzige Meßgröße der in die Induktionsspule eingespeiste Wechselstrom ist, entfallen Temperaturbelastungen. Die fehlende Zeitabhängigkeit ermöglicht darüber hinaus bei

Beibehaltung ein und derselben Referenzgröße Änderungen und Unterbrechungen des Erwärmungsvorganges. Auf der Basis dieses Effektivwertes, der vorzugsweise aus einem mittels Strommeßzange gewandelten Stromverlauf errechnet wird, sind eine Reihe ergänzender Überwachungen möglich. In einer ersten Ausbildung des Verfahrens wird bei Unterschreitung des ersten Schwellwertes durch den Effektivwert eine Toleranz, die der Differenz aus dem Mittelwert des Effektivwertes eines Zeitraumes einerseits und dem ersten Schwellwert andererseits entspricht, auf Unterschreitung eines empirisch ermittelten zweiten Schwellwertes überwacht. Zusätzlich oder stattdessen ist es auch vorgesehen, bei Unterschreitung des ersten Schwellwertes durch den Effektivwert die Anzahl nachfolgender Unterschreitungen des ersten Schwellwertes auf Überschreitung eines empirisch ermittelten dritten Schwellwertes zu überwachen. Schließlich kann gemäß einer dritten Ausbildung des Verfahrens bei Unterschreitung des ersten Schwellwertes durch den Effektivwert alternativ oder zusätzlich auch die Zeit bis zur nächsten Unterschreitung des ersten Schwellwertes auf Unterschreitung eines empirisch ermittelten vierten Schwellwertes überwacht werden. Bei Eintritt einer oder mehrerer Überwachungsbedingungen wird die induktive Erwärmung auf vorbestimmte Weise verändert oder abgebrochen, wobei die Veränderung der Erwärmungsleistung vorzugsweise über die Veränderung der Frequenz und/oder der Impulsbreite einer den Wechselstrom erzwingenden Wechselspannung erfolgt, wobei diese vorzugsweise eine rechteckförmige Wechselspannung ist. Bei Eintritt einer oder mehrerer Überwachungsbedingungen kann das Werkstück auch umgeformt oder einer Umformeinrichtung zugeführt werden.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Ermittlung des teilflüssigen Gefügestands beim induktiven Erwärmen von Werkstücken besitzt eine Induktionsspule, eine die Induktionsspule speisende Wechselstromquelle, einen Stromwandler zur Wandlung des eingespeisten Wechselstromes und eine Einrichtung zur Generierung von Steuerdaten.

Diese wiederum weist wenigstens auf

- eine Recheneinrichtung, die in Echtzeit aus dem gewandelten Stromverlauf den Effektivwert $I_{\text{eff}}(t)$ des eingespeisten Wechselstromes ($I(t)$) bildet,
- einen ersten Speicher, der empirisch ermittelte Effektivwerte, die vorbestimmte Gefügestände des Werkstückes repräsentieren, als erste Schwellwerte S speichert, und
- einen ersten Trigger, der bei Unterschreitung eines vorbestimmten ersten Schwellwertes S durch den Effektivwert $I_{\text{eff}}(t)$ ein erstes Steuersignal auslöst.

Die Einrichtung zur Generierung von Steuerdaten kann aber auch umfangreicher ausgebildet sein. Sie weist dann beispielsweise auf

- eine Recheneinrichtung, die in Echtzeit aus der Differenz aus dem Mittelwert $M(I_{\text{eff}}(t))$ des Effektivwertes $I_{\text{eff}}(t)$ über einen vorbestimmten Zeitraum dt einerseits und dem ersten Schwellwert S andererseits eine Toleranz $\Delta = M(I_{\text{eff}}(t)) - S$ bildet,
- einen zweiten Speicher, der empirisch ermittelte Toleranzen als zweite Schwellwerte ϵ speichert, und
- einen zweiten Trigger, der bei Unterschreitung des zweiten Schwellwertes ϵ durch die Toleranz Δ ein zweites Steuersignal auslöst.

Die zusätzliche oder alternative Ausbildung kann aber auch umfassen

- eine Recheneinrichtung, die in Echtzeit die Anzahl n von Unterschreitungen des ersten Schwellwertes S durch den Effektivwert $I_{\text{eff}}(t)$ ermittelt,
- einen dritten Speicher, der empirisch ermittelte Anzahlen von Unterschreitungen des ersten Schwellwertes S als dritte Schwellwerte Z speichert, und
- einen dritten Trigger, der bei Überschreitung des dritten Schwellwertes Z durch die Anzahl n ein drittes Steuersignal auslöst.

Schließlich kann es vorgesehen sein, die Einrichtung zur Generierung von Steuerdaten zusätzlich oder alternativ zu versehen mit

- einer Recheneinrichtung, die die Zeit dt_u zwischen zwei Unterschreitungen des ersten Schwellwertes S durch den Effektivwert $I_{\text{eff}}(t)$ ermittelt,
- einem vierten Speicher, der empirisch ermittelte Zeiten zwischen Unterschreitungen des ersten Schwellwertes S durch den Effektivwert $I_{\text{eff}}(t)$ als vierte Schwellwerte dt_s speichert, und
- einem vierten Trigger, der bei Unterschreitung des vierten Schwellwertes dt_s durch die Zeit dt_u ein viertes Steuersignal auslöst.

Darüber hinaus kann die Einrichtung zur Generierung von Steuerdaten eine Logik aufweisen, die bei vorbestimmten Kombinationen des ersten bis vierten Steuersignals ein fünftes Steuersignal auslöst.

Der Wechselstrom ist durch die Reihenschaltung eines Netzgleichrichters, eines Gleichspannungszwischenkreises und eines Wechselrichters erzeugbar, über einen MF-Transformator in die Induktionsspule einspeisbar, mittels einer primär- oder sekundärseitig ansetzbaren Strommeßzange wandelbar und mit einem der ersten bis fünften Steuersignale, die auch die Handhabung des Werkstückes auslösen können, beeinflussbar.

Die Erfindung wird nachstehend anhand eines Ausführungsbeispiels näher erläutert. In den zugehörigen Zeichnungen zeigen

Fig. 1 ein Blockschaltbild einer Vorrichtung zur Ermittlung des teilflüssigen Gefügestandes bei der induktiven Erwärmung eines Werkstückes,

Fig. 2 ein Blockschaltbild der Einrichtung zur Generierung von Steuerdaten gemäß **Fig. 1** und

Fig. 3 einen Verlauf des Effektivstromes über der Temperatur des Werkstückes.

Die Vorrichtung **2** umfaßt eine Einrichtung **4** zur Erzeugung einer rechteckigen Wechselspannung $U(t)$, einen MF-Transformator **6** zur Übertragung der Wechselspannung $U(t)$ an eine Induktionsspule **8** zur Erwärmung eines Werkstückes **10**, eine Strommeßzange **12** zum Abgreifen eines Wechselstromes $I(t)$ an der Primär- oder Sekundärseite des MF-Transformators **6** und ein Meßsystem **14** zur Analyse des abgegriffenen Wechselstromes $I(t)$.

Die Einrichtung **4** besteht aus einem Netzgleichrichter **16** zur Gleichrichtung von Drehstrom, einem Gleichspannungszwischenkreis **18** mit Induktivitäten L_1, L_2 in beiden Polsträngen und einer Kapazität C zwischen beiden Polsträngen, und einem Transistorwechselrichter **20** zur Wandlung der geglätteten Gleichspannung U in eine rechteckige Wechselspannung $U(t)$.

Das software- und/oder hardwaremäßig realisierte Meßsystem **14** weist gemäß **Fig. 2** eine Recheneinheit **22** auf, deren Schnittstellen einerseits an die Strommeßzange **12** und andererseits an Speicher **24** bis **30** und Trigger **32** bis **38** führen, deren Ausgängen eine Logik **40** zugeordnet ist.

Der Trigger **32** spricht an, wenn die Recheneinheit **22** ei-

nen Effektivstrom $I_{\text{eff}}(t)$ ermittelt hat, der einen im Speicher **24** gespeicherten Schwellwert S unterschreitet. Demgegenüber schaltet der Trigger **34**, wenn die von der Recheneinheit **22** ermittelte Toleranz Δ , die der Differenz aus dem Mittelwert $M(I_{\text{eff}}(t))$ des Effektivstromes I_{eff} innerhalb der Zeitdauer dt und dem Schwellwert S entspricht, kleiner als ein im Speicher **26** gespeicherter Schwellwert ϵ ist. Der Trigger **36** wiederum spricht an für den Fall, daß die Recheneinheit **22** eine Anzahl n von Unterschreitungen des Schwellwertes S durch den Effektivstrom $I_{\text{eff}}(t)$ ausgibt, die über einem im Speicher **28** gespeicherten Schwellwert Z liegt. Der Trigger **38** wird aktiviert, wenn die von der Recheneinheit **22** ermittelte Zeit dt_u zwischen zwei Unterschreitungen des Schwellwertes S durch den Effektivstrom I_{eff} einen im Speicher **30** gespeicherten Schwellwert dt_s unterschreitet.

Die Logik **40**, welche durch die Recheneinheit **22** einstellbar sein kann, legt fest, bei welcher Kombination geschalteter Trigger ein Steuersignal zur Beeinflussung des in den Induktor eingespeisten Stromes $I(t)$, zur Einleitung des Umformvorganges oder zur Auslösung der Handhabung des Werkstückes ausgegeben wird.

Die Wirkungsweise ist folgende:

Beabsichtigt man, eine Serie neuer Werkstücke mittels Thixoformings herzustellen, wird zunächst durch Versuche ermittelt, bei welchem Effektivstrom $I_{\text{eff}}(t)$ sich das gewünschte Verhältnis von fester zu flüssiger Phase einstellt. Dann speichert man diesen Effektivstrom als Schwellwert S im Speicher **24** ab und stellt die Logik **40** im einfachsten Falle derart ein, daß ein Schalten des Triggers **32** zur Auslösung eines Steuersignals führt.

Je nach Ausbildung und Werkstoff des Werkstückes kann es jedoch erforderlich sein, die Auslösung des Steuersignals von weiteren Überwachungsbedingungen abhängig zu machen. In diesem Falle muß durch Versuche zusätzlich ermittelt werden, bei welcher Toleranz, bei welcher Anzahl von Unterschreitungen des Schwellwertes S und/oder bei welcher Zeit zwischen den entsprechenden Unterschreitungen des Schwellwertes S sich der gewünschte teilflüssige Gefügestand einstellt. Danach speichert man die ermittelte Toleranz im Speicher **26** als Schwellwert ϵ , die ermittelte Anzahl Unterschreitungen im Speicher **28** als Schwellwert Z und die ermittelte Zeit zwischen den Unterschreitungen im Speicher **30** als Schwellwert dt_s ab. Außerdem wird die Logik **40** auf eine andere Kombination signalauslösender Trigger eingestellt, beispielsweise derart, daß ein Steuersignal nur dann ausgelöst wird, wenn alle Trigger geschaltet haben.

Nach diesen Vorbereitungen erfolgt die Serienfertigung, indem der in die Induktionsspule induzierte Wechselstrom $I(t)$ mittels Strommeßzange berührungslos erfaßt und zu den zu überwachenden Größen verrechnet wird, wobei die Logik **40** bei Erreichen der Überwachungsbedingungen ein Steuersignal ausgibt, das die Erwärmungsleistung über die Frequenz oder die Impulsbreite der Wechselspannung $U(t)$ beeinflusst, den Strom $I(t)$ abschaltet und/oder die Umformung des Werkstückes bzw. dessen Handhabung einleitet. Eine Frequenzänderung bewirkt dabei insbesondere eine Änderung der Eindringtiefe.

Fig. 3 gibt den ermittelten Verlauf des Effektivstromes über der Temperatur bei Rohteilen aus $AlSi7Mg$ mit Durchmessern von 59 mm und Längen von 24,5 mm schematisch wieder. Sie zeigt deutlich die relative Konstanz des Effektivstromes in der gerade noch festen Phase und dessen Abfall beim Eintritt in die teilflüssige Phase.

Mit der vorliegenden Erfindung wurde die Ermittlung des teilflüssigen Gefügestandes beim induktiven Erwärmen von Werkstücken auf das berührungslose Messen des Betra-

ges einer einzigen elektrischen Größe reduziert, woraus bei geringer Temperaturbelastung hohe Genauigkeiten der Prozeßführung resultieren.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung des teilflüssigen Gefügestands beim induktiven Erwärmen von Werkstücken, wobei Prozeßgrößen des Erwärmungsvorganges in bezug auf vorbestimmte Referenzgrößen überwacht werden, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Effektivwert ($I_{\text{eff}}(t)$) eines in die Induktionsspule (**8**) eingespeisten Wechselstromes ($I(t)$) auf Unterschreitung eines empirisch ermittelten ersten Schwellwertes (S), der als Effektivwert einen vorbestimmten teilflüssigen Gefügestand des Werkstückes (**10**) repräsentiert, überwacht wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß bei Unterschreitung des ersten Schwellwertes (S) durch den Effektivwert ($I_{\text{eff}}(t)$) eine Toleranz (Δ), die der Differenz aus dem Mittelwert ($M(I_{\text{eff}}(t))$) des Effektivwertes ($I_{\text{eff}}(t)$) für einen Zeitraum (dt) einerseits und dem ersten Schwellwert (S) andererseits entspricht, auf Unterschreitung eines empirisch ermittelten zweiten Schwellwertes (ϵ), der als Toleranz einen vorbestimmten teilflüssigen Gefügestand des Werkstückes (**10**) repräsentiert, überwacht wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß bei Unterschreitung des ersten Schwellwertes (S) durch den Effektivwert ($I_{\text{eff}}(t)$) die Anzahl (n) nachfolgender Unterschreitungen des ersten Schwellwertes (S) auf Überschreitung eines empirisch ermittelten dritten Schwellwertes (Z), der als Anzahl einen vorbestimmten teilflüssigen Gefügestand des Werkstückes (**10**) repräsentiert, überwacht wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche von 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß bei Unterschreitung des ersten Schwellwertes (S) durch den Effektivwert ($I_{\text{eff}}(t)$) die Zeit (dtu) bis zur nächsten Unterschreitung des ersten Schwellwertes (S) auf Unterschreitung eines empirisch ermittelten vierten Schwellwertes (ds), der als Zeit einen vorbestimmten teilflüssigen Gefügestand des Werkstückes (**10**) repräsentiert, überwacht wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche von 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß bei Unterschreitung des ersten Schwellwertes (S) und/oder bei Unterschreitung des zweiten Schwellwertes (ϵ) und/oder bei Überschreitung des dritten Schwellwertes (Z) und/oder bei Unterschreitung des vierten Schwellwertes (ds) die induktive Erwärmung auf vorbestimmte Weise verändert oder abgebrochen wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die induktive Erwärmung durch Änderung der Frequenz und/oder der Impulsbreite einer den Wechselstrom ($I(t)$) erzwingenden Wechselspannung ($U(t)$) verändert wird.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Wechselspannung ($U(t)$) rechteckförmig ist.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche von 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß bei Unterschreitung des ersten Schwellwertes (S) und/oder bei Unterschreitung des zweiten Schwellwertes (ϵ) und/oder bei Überschreitung des dritten Schwellwertes (Z) und/oder bei Unterschreitung des vierten Schwellwertes (ds) das Werkstück (**10**) umgeformt oder einer Umformein-

richtung zugeführt wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche von 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Effektivwert ($I_{\text{eff}}(t)$) aus einem mittels Strommeßzange (**12**) gewandelten Stromverlauf ermittelt wird.
10. Vorrichtung zur Ermittlung des teilflüssigen Gefügestands beim induktiven Erwärmen von Werkstücken, mit einer Induktionsspule (**8**), einer die Induktionsspule (**8**) speisenden Wechselstromquelle (**4**), einem Stromwandler (**12**) zur Wandlung des eingespeisten Wechselstromes $I(t)$ und einer Einrichtung (**14**) zur Generierung von Steuerdaten, insbesondere zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche von 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung zur Generierung von Steuerdaten
 - eine Recheneinrichtung (**22**), die in Echtzeit aus dem gewandelten Stromverlauf den Effektivwert ($I_{\text{eff}}(t)$) des eingespeisten Wechselstromes $I(t)$ bildet,
 - einen ersten Speicher (**24**), der empirisch ermittelte Effektivwerte, die vorbestimmte Gefügestände des Werkstückes repräsentieren, als erste Schwellwerte (S) speichert, und
 - einen ersten Trigger (**32**), der bei Unterschreitung eines vorbestimmten ersten Schwellwertes (S) durch den Effektivwert ($I_{\text{eff}}(t)$) ein erstes Steuersignal auslöst, aufweist.
11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung (**14**) zur Generierung von Steuerdaten
 - eine Recheneinrichtung (**22**), die in Echtzeit aus der Differenz aus dem Mittelwert ($M(I_{\text{eff}}(t))$) des Effektivwertes ($I_{\text{eff}}(t)$) über einen vorbestimmten Zeitraum (dt) einerseits und dem ersten Schwellwert (S) andererseits eine Toleranz (Δ) bildet,
 - einen zweiten Speicher (**26**), der empirisch ermittelte Toleranzen als zweite Schwellwerte (ϵ) speichert, und
 - einen zweiten Trigger (**34**), der bei Unterschreitung des zweiten Schwellwertes (ϵ) durch die Toleranz (Δ) ein zweites Steuersignal auslöst, aufweist.
12. Vorrichtung nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung (**14**) zur Generierung von Steuerdaten
 - eine Recheneinrichtung (**22**), die in Echtzeit die Anzahl (n) von Unterschreitungen des ersten Schwellwertes (S) durch den Effektivwert ($I_{\text{eff}}(t)$) ermittelt,
 - einen dritten Speicher (**28**), der empirisch ermittelte Anzahlen von Unterschreitungen des ersten Schwellwertes (S) als dritte Schwellwerte (Z) speichert, und
 - einen dritten Trigger (**36**), der bei Überschreitung des dritten Schwellwertes (Z) durch die Anzahl (n) ein drittes Steuersignal auslöst, aufweist.
13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche von 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung (**14**) zur Generierung von Steuerdaten
 - eine Recheneinrichtung (**22**), die die Zeit (dtu) zwischen zwei Unterschreitungen des ersten Schwellwertes (S) durch den Effektivwert ($I_{\text{eff}}(t)$) ermittelt,
 - einen vierten Speicher (**30**), der empirisch ermittelte Zeiten zwischen Unterschreitungen des ersten Schwellwertes (S) durch den Effektivwert ($I_{\text{eff}}(t)$) als vierte Schwellwerte (ds) speichert, und

– einen vierten Trigger (**38**), der bei Unterschreitung des vierten Schwellwertes (dts) durch die Zeit (dtu) ein viertes Steuersignal auslöst, aufweist.

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche von 10 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung (**14**) zur Generierung von Steuerdaten eine Logik (**40**) aufweist, die bei vorbestimmten Kombinationen des ersten bis vierten Steuersignals ein fünftes Steuersignal auslöst. 5
10
15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche von 10 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß mit einem der ersten bis fünften Steuersignale der eingespeiste Wechselstrom (I(t)) beeinflussbar und/oder die Handhabung des Werkstückes (**10**) auslösbar ist. 15
16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche von 10 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß der Wechselstrom (I(t)) über einen MF-Transformator (**6**) in die Induktionsspule (**8**) einspeisbar ist.
17. Vorrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß der Wechselstrom (I(t)) auf der Primär- oder Sekundärseite des MF-Transformators (**6**) mittels Strommeßzange (**12**) wandelbar ist. 20
18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche von 10 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß der Wechselstrom (I(t)) durch eine Reihenschaltung eines Netzgleichrichters (**16**), eines Gleichspannungszwischenkreises (**18**) und eines Wechselrichters (**20**) erzeugbar ist. 25

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

30

35

40

45

50

55

60

65

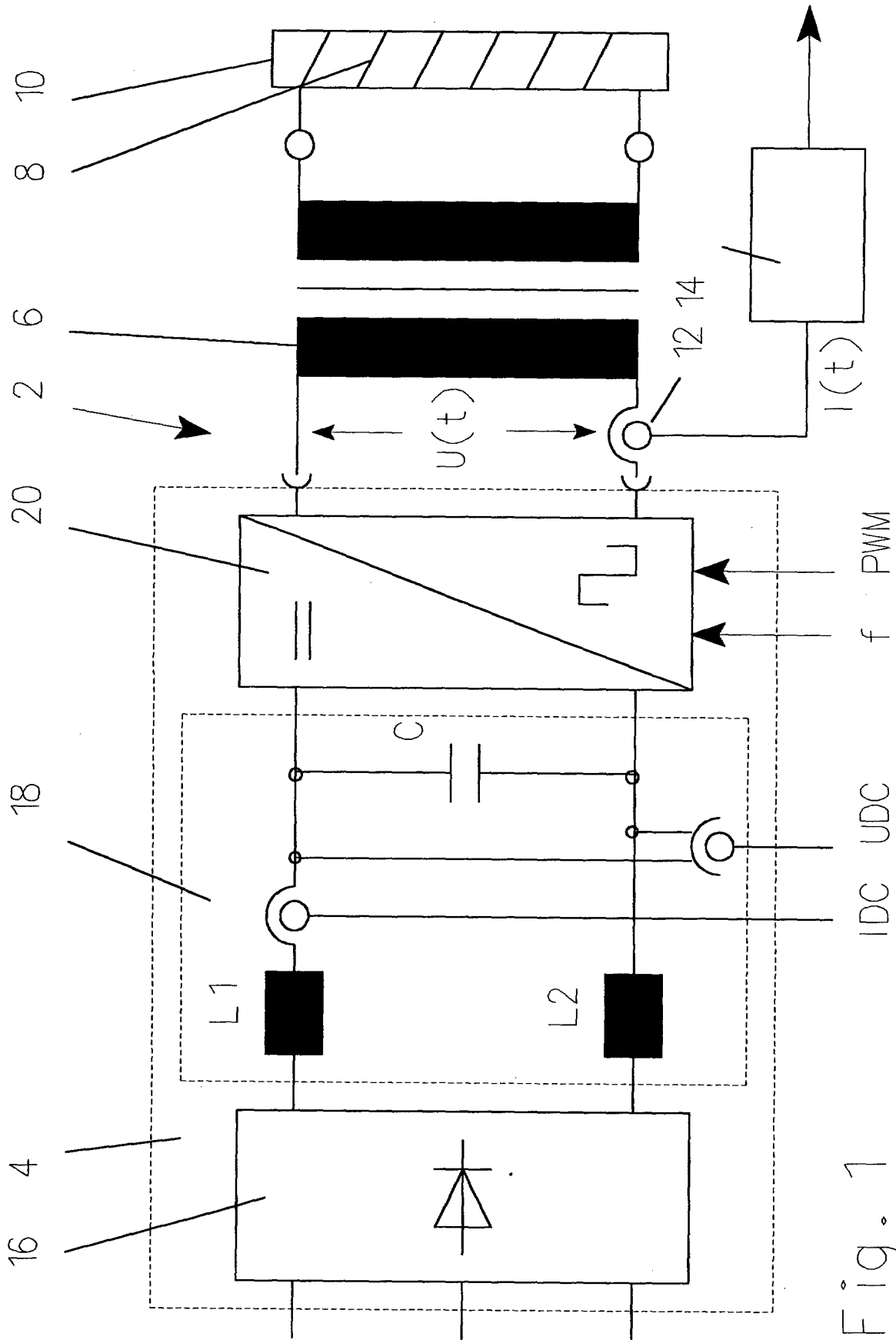


Fig. 1

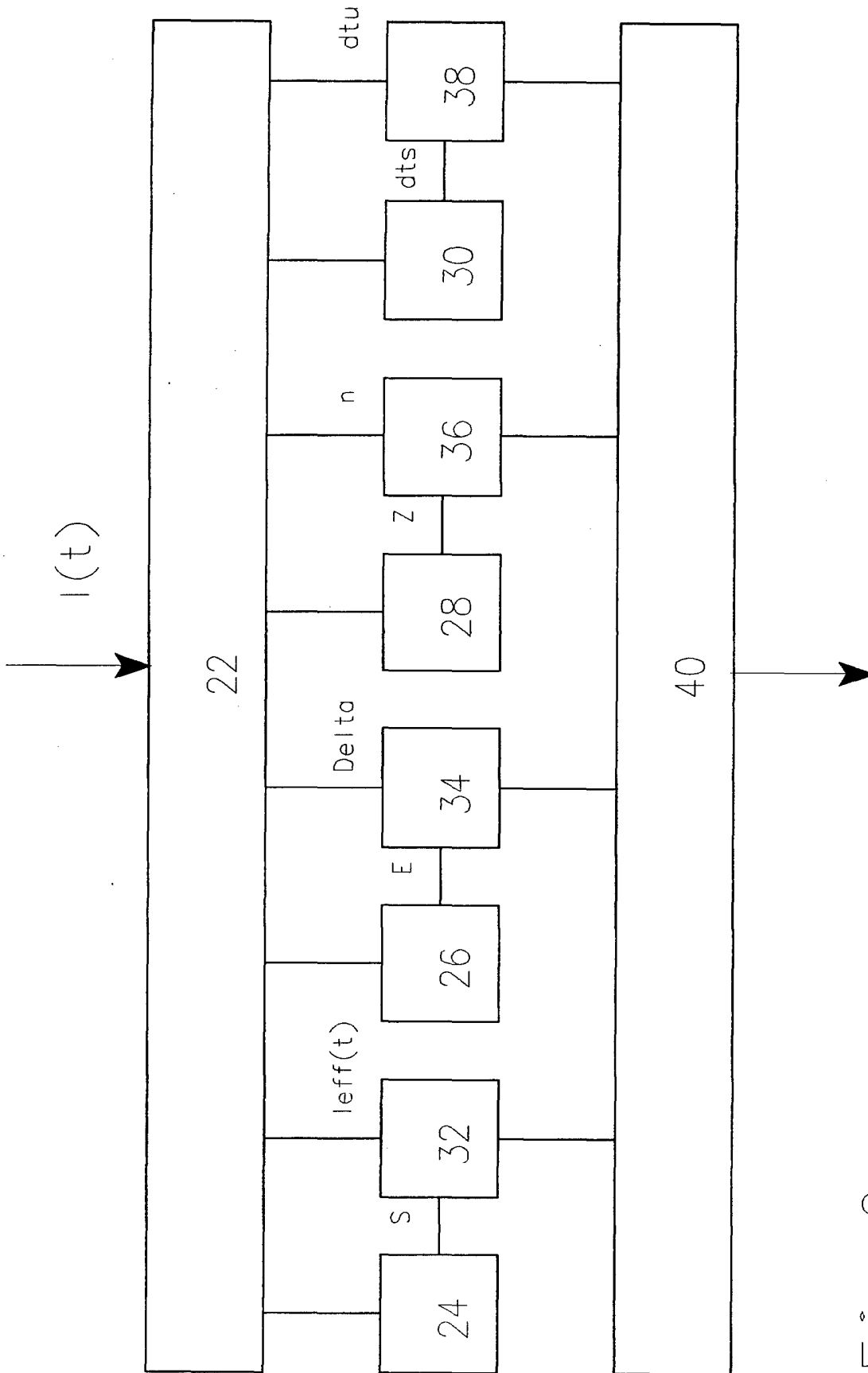


Fig. 2

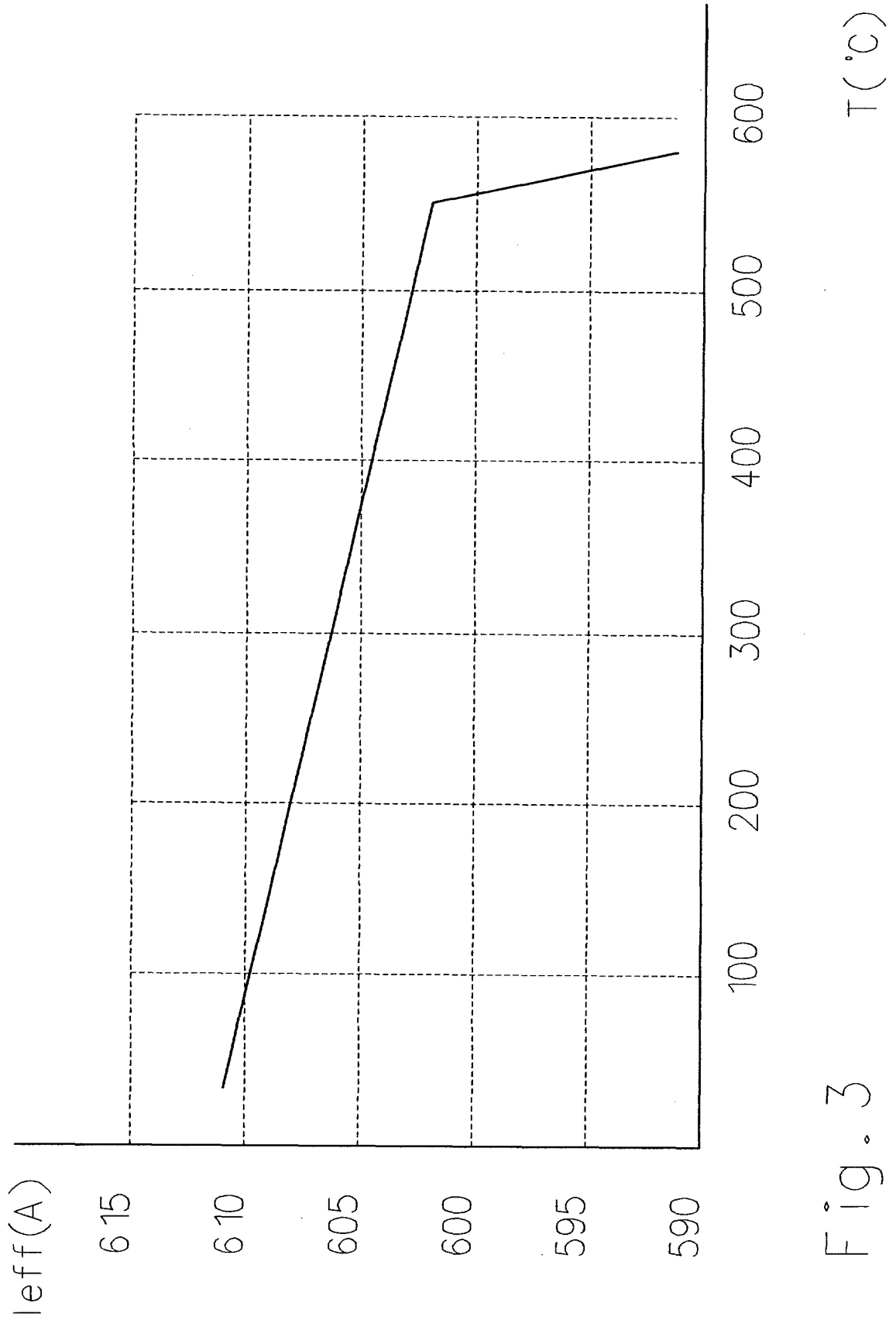


Fig. 3