

SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 697 295 B1

(51) Int. Cl.: B23K 20/10 (2006.01)

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) **PATENTSCHRIFT**

(21) Anmeldenummer: 01760/05

(73) Inhaber:
Schunk Ultraschalltechnik GmbH, Hauptstrasse 97
35435 Wettenberg (DE)

(22) Anmeldedatum: 29.04.2004

(72) Erfinder:
Kevin Gordon, Wilmington, Massachusetts 01887 (US)

(30) Priorität:
30.04.2003 DE 103 19 797.4
27.05.2003 DE 103 24 094.2

(74) Vertreter:
Luchs & Partner Patentanwälte, Schulhausstrasse 12
8002 Zürich (CH)

(24) Patent erteilt: 15.08.2008

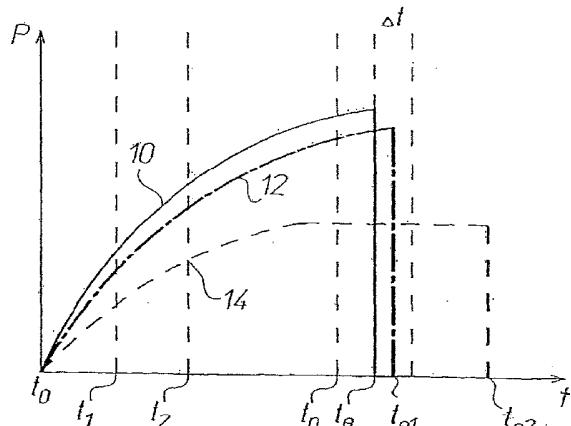
(86) Internationale Anmeldung:
PCT/EP 2004/004532

(45) Patentschrift veröffentlicht: 15.08.2008

(87) Internationale Veröffentlichung:
WO 2004/096480

(54) Verfahren zum Verschweissen von Teilen.

(57) Bei einem Verfahren zum Ultraschallverschweissen von Teilen mittels einer zumindest einen Generator, einen Konverter und eine Sonotrode umfassenden Ultraschallschweissvorrichtung wird während des Verschweißens der Teile eine Ist-Kurve eines zeitabhängigen Parameters (P) gemessen und in einem Zeitraum zwischen Schweissanfangzeitpunkt (t_0) und Schweißendpunkt (t_e) mit einer Sollkurve (10) verglichen. In Abhängigkeit von bestehender Abweichung zwischen der Ist- und Sollkurve wird zumindest ein das Schweißen beeinflussender Prozessparameter derart verändert, dass bei weiterem Verschweißen eine Angleichung der Ist-Kurve an die Sollkurve durch einen Regelprozess erfolgt. Dadurch wird die Schweißung optimiert, wobei insbesondere Unterschiede zwischen einzelnen Schweißungen bedingt durch z.B. Material, Positionierung der Teile, Temperatur- oder Umwelteinflüsse kompensiert werden.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Ultraschallverschweissen von Teilen mittels einer zumindest einen Generator, einen Konverter und eine Sonotrode umfassenden Ultraschallschweissvorrichtung, insbesondere zum Verschweissen von Litzen, unter Zugrundelegung einer gestellten Anforderungen genügenden Schweißverbindung entsprechenden Soll-Kurve eines zeitabhängigen Schweißparameters, wobei die Schweißdauer entsprechend der Soll-Kurve zwischen einem Anfangszeitpunkt t_0 und einem Endzeitpunkt t_e verläuft, während des Verschweissens der Teile eine Ist-Kurve des zeitabhängigen Parameters gemessen wird und im Zeitraum zwischen t_0 und t_e die Ist-Kurve mit der Soll-Kurve verglichen wird.

[0002] Um Verbindungsteile ungleichartiger Materialien und ohne Vorversuche gut verschweissen zu können, ist nach der DE-A-19 810 509 vorgesehen, dass in das Schweißgut eingekoppelte Ultraschallwellen nach Wechselwirkung mit einer Fügeschicht als Messsignal erfasst werden, um sodann mittels eines Messdatenspeichers und einer Auswerteeinheit für den Schweißprozess charakteristische Kenngrößen mit anschliessender Ansteuerung der Sonotrode weiterzuverarbeiten.

[0003] Um Prozessparameter beim Ultraschallschweissen von Kunststoffteilen zu steuern bzw. zu regeln, sieht die DE-A-4 321 874 vor, dass zur Überwachung des Energieeintrags in die Fügestelle zwischen den zu verschweissenden Teilen die Fügekraft während des Schweißvorganges gemessen wird.

[0004] Nach der EP-B-0 567 426 wird die Schwingungsamplitude einer Kunststoffteile verschweissenden Sonotrode nach einem vorbestimmten Zeitintervall reduziert, um sodann während der verbleibenden Zeit des Verschweissens bei verringerter Schwingungsamplitude zu arbeiten. Ein diesbezügliches Steuersignal zum Reduzieren der Amplitude kann direkt oder indirekt auch in Abhängigkeit von der auf die zu verschweissenden Werkstücke übertragenen Leistung ausgelöst werden, wie dies z.B. der WO-A-98/49 009, der US-A-5 855 706, der US-A-5 658 408 oder der US-A-5 435 863 zu entnehmen ist.

[0005] Aus der WO-A-02/098 636 ist ein Verfahren zum Verschweissen von Kunststoffteilen bekannt, bei dem zur Optimierung des Schweißens während einer ersten Zeitspanne die Schwingungsamplitude einem vorgegebenen Verlauf folgend reduziert wird, um anschliessend mit einem charakteristischen Parameter des Werkstücks zu messen und sodann in Abhängigkeit vom Wert des gemessenen Parameters mit konstanter Amplitude einer Ultraschallenergie übertragenden Sonotrode den Schweißprozess zu beenden.

[0006] Um durch Ultraschall-Drahtboden hergestellte Verbindungen zu prüfen, sieht die DE-A-10 110 048 eine Online-Überwachung unter Zugrundelegung von vorgegebenen bzw. gespeicherten Master-Werten vor, die Rückschlüsse auf die Festigkeit der Verbindung ermöglichen.

[0007] Bei einem Verfahren der eingangs genannten Art zum Verschweissen von Litzen werden in Abhängigkeit vom Summenquerschnitt der zu verschweissenden Leiter abgespeicherte prozessrelevante Daten wie Druck, Amplitude, Frequenz, Werkzeuggrösse und Energie abgerufen, sodann geschweisst, wobei anschliessend von einem Einrichter der erzielte Schweißknoten auf seine Güte überprüft wird. Genügt dieser den gestellten Anforderungen, wird unter Zugrundelegung der Zeitdauer ($t_e - t_0$ mit t_e Schweißendzeitpunkt und t_0 Schweißanfangszeitpunkt), innerhalb der die dem abgespeicherten Energiewert entsprechende Leistung abgegeben wurde, ein sich an den Schweißendzeitpunkt t_e anschliessendes Zeitfenster $\#t$ festgelegt. Liegt der Schweißendpunkt beim Verschweissen von einen gleichen Summenquerschnitt aufweisenden Litzen vor dem Ende des Zeitfensters, also zwischen t_0 und $t_e + \#t$, wird unterstellt, dass das Schweißergebnis ein gutes Ergebnis ist. Dabei beläuft sich das Zeitfenster auf eine Zeitspanne, die üblicherweise 10% bis 20% über der Zeitdauer liegt, die der abgespeicherten Zeitdauer des als ordnungsgemäss bewerteten Schweißknotens liegt. Ist die Schweißung, also der Energieeintrag nach dem Zeitfenster, also der Zeit $t_e + \#t$ abgeschlossen, so wird das Schweißergebnis als ungenügend bewertet.

[0008] Mit anderen Worten wird eine Leistungs-Zeitkurve festgelegt, dessen Fläche dem abgespeicherten Energieeintrag der zu verschweissenden Teile mit vorgegebenem Summenquerschnitt entspricht, wobei der Zeitendpunkt des Schweißens innerhalb der Soll-Kurve oder in einem nachfolgenden Zeitfenster liegen muss, um als verwertbares Schweißergebnis klassifiziert zu werden.

[0009] Werden ungeachtet gleichen Summenquerschnitts unterschiedliche Materialien benutzt oder die Litzen in dem Werkzeug, also zwischen Sonotrode und Amboss unterschiedlich positioniert oder treten Temperaturschwankungen oder Umwelteinflüsse auf, kann es gegebenenfalls zu Schwankungen in der Güte der Schweißergebnisse kommen.

[0010] Ein Verfahren zur Qualitätskontrolle beim Ultraschallschweissen der eingangs genannten Art ist der DE-A-3 429 776 zu entnehmen. Um eine verbesserte Qualitätskontrolle beim Ultraschallschweissen zu ermöglichen, wird vorgeschlagen, abschnittsweise den Leistungsbedarf bzw. den Energieverlauf pro Zeiteinheit beim Schweißen zu erfassen und zu bewerten. Hierzu wird eine Ist-Kurve aufgenommen, die mit einer Soll-Kurve verglichen wird. Der Vergleich erfolgt dabei nach vorgegebenen Zeitintervallen. Liegt die Ist-Kurve ausserhalb eines Toleranzbereiches der Soll-Kurve, so wird das Schweißteil als schlecht qualifiziert aussortiert.

[0011] Die Literaturstelle «Ultraschallschweissmaschine mit Programmspeicher, 1. April 1989 (1989-04-01) Kunststoffe, Carl Hanser Verlag, München, DE, Seite 314» bezieht sich auf eine Überwachung des Schweißvorgangs mit Qualitäts-

kontrolle. Hierzu werden Soll- und Ist-Kurve verglichen. Verlässt die Ist-Kurve ein vorgegebenes Toleranzband, wird dieses angezeigt.

[0012] Die Literaturstelle «Potente. H. et al.: Prozessoptimierung und Online-Prozessüberwachung beim Ultraschallschweißen, 1. Mai 1994 (1994-05-02), Plastverarbeiter, Zechner und Huefthig Verlag GmbH, Speyer/Rhein, DE, Seiten 68, 70, 73–74, 76» bezieht sich auf die Prozessoptimierung und Online-Prozessüberwachung beim Ultraschallschweißen. Dabei ist vorgesehen, dass an der Steuerung einer Ultraschallschweissmaschine qualitätsrelevante Soll-Größen wie Energie, Triggerkraft und Schweißkraft variiert werden. Die Schweißungen selbst erfolgen mit Energievorgaben, wobei Einflussgrößen wie Triggerkraft, Schweißkraft und Energie variiert werden können.

[0013] Aus der DE-A-3 138 520 ist ein Verfahren zur Begrenzung der auf ein Werkstück übertragenen Schweißenergie beim Ultraschallplastfügen zu entnehmen. Dabei wird die eingekoppelte Energie bestimmt. Erreicht der eingekoppelte Energiewert einen vorgegebenen Grenzwert, so wird die Energiezufuhr unterbrochen.

[0014] Nach der EP-B-0 567 426 wird die Schwingungsamplitude einer Kunststoffteile verschweissenden Sonotrode einer Ultraschallschweissvorrichtung nach einem vorbestimmten Zeitintervall reduziert, um sodann während der verbleibenden Zeit des Verschweißens bei verringter Schwingungsamplitude zu arbeiten.

[0015] Aus der US-A-4 631 685 ist ein Verfahren zum Schweißen von Kunststoff mittels Ultraschall bekannt. In einem Steuerprozess wird die Sonotrode über den Gesamtschweisszyklus verfolgt, um bei vorgegebener Verstellung der Sonotrode die Ultraschallenergie abzuschalten.

[0016] Ein Steuerprozess zum Verschweißen thermoplastischen Materials mittels Ultraschall ist der US-A-4 818 313 zu entnehmen.

[0017] Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art so weiterzubilden, dass ein weiterer Automatisierungsgrad und eine Optimierung der Schweißung ermöglicht wird, wobei insbesondere gleichmäßige und reproduzierbare Schweißergebnisse erzielbar sein sollen, wobei insbesondere Unterschiede zwischen einzelnen Schweißungen bedingt durch z.B. Material, Positionierung der Teile, Temperatur- oder Umwelteinflüsse zu kompensieren sind.

[0018] Erfindungsgemäß wird die Aufgabe im Wesentlichen dadurch gelöst, dass in Abhängigkeit von bestehender Abweichung zwischen der Ist- und der Soll-Kurve zumindest ein das Schweißen beeinflussender Prozessparameter derart verändert wird, dass beim weiteren Verschweißen eine Anpassung der Ist-Kurve an die Soll-Kurve durch einen Regelprozess erfolgt, wobei als zu ändernder Prozessparameter Amplitude und/oder Frequenz der Sonotrode und/oder auf die zu verschweissenden Teile einwirkender Druck bzw. einwirkende Kraft und/oder Energieeintrag in die zu verschweissenden Teile gewählt wird.

[0019] Insbesondere werden zumindest bei einem Zeitpunkt t_1 mit $t_0 < t_1 < t_e$ die Soll- und die Ist-Werte verglichen. Ein Vergleich der Kurven kann aber auch bei Vorliegen eines gleichen Leistungswertes von Soll- und Ist-Kurve oder bei Vorliegen eines gleichen Anteils des Energieinhalts entsprechend gleicher Fläche der über der Zeit gemessenen Leistung erfolgen.

[0020] Vorzugsweise ist vorgesehen, dass der oder die Prozessparameter in Abhängigkeit von zu verschiedenen Zeitpunkten $t_1, t_2 \dots t_n$ mit $n \geq 2$ erfolgenden Vergleichen zwischen Soll- und Ist-Kurve und den zu den entsprechenden Zeitpunkten auftretenden Abweichungen verändert werden.

[0021] Kann der zumindest eine Prozessparameter entsprechend gespeicherter Werte insbesondere schrittweise geändert werden, so besteht bevorzugterweise auch die Möglichkeit, eine Regelung des zumindest einen Prozessparameters in Abhängigkeit von den bestehenden Abweichungen zwischen der Soll- und der Ist-Kurve vorzunehmen.

[0022] Eine Änderung kann nicht nur unter Zugrundelegung gespeicherter Werte, z.B. aus Wertetabellen erfolgen, sondern auch aufgrund abgelegter mathematischer Funktionen berechnet werden.

[0023] Abweichend vom vorbekannten Stand der Technik, insbesondere zum Verschweißen von Metallteilen, aber auch von Kunststoffteilen, erfolgt nicht ein automatischer Schweißablauf derart, dass allein zuvor abgespeicherte Werte dem Schweißprozess zu Grunde gelegt werden, sondern dass ein Vergleich zwischen einer Soll- und einer Ist-Kurve erfolgt, um aufgrund der Abweichungen zumindest einen Prozessparameter, gegebenenfalls mehrere Prozessparameter zu verändern einschließlich eines zu verändernden Energieinhalts in die zu verschweissenden Teile, um eine Optimierung zu erzielen.

[0024] Insbesondere ist vorgesehen, dass als zeitabhängiger Schweißparameter abgegebene bzw. aufgenommene Leistung der Ultraschallschweissvorrichtung gewählt wird. Als zu ändernder Prozessparameter können Amplitude der Sonotrode, auf die zu verschweissenden Teile einwirkender Druck bzw. Kraft und/oder Energieeintrag und/oder Frequenz der Sonotrode gewählt werden.

[0025] Bei einem Vergleich von Leistungs-Zeitkurven als Soll- bzw. Ist-Kurven kann erwähntermaßen ein Vergleich auch in Abhängigkeit von erfolgtem Energieintrag vorgenommen werden, der gleich dem integralen Wert der Leistungs-Zeitkurve zu einem bestimmten Zeitpunkt ist.

[0026] Die Erfindung wird nachfolgend anhand der Zeichnung näher erläutert.

[0027] Es zeigen:

- Fig. 1 Leistungs-Zeit-Kurven und deren Nutzung nach dem Stand der Technik für das Verschweissen von Litzen,
- Fig. 2 Leistungs-Zeit-Kurven zur Regelung eines Schweißprozesses,
- Fig. 3 Leistungs-Zeit-Kurven zur Regelung eines Schweißprozesses über Leistungswerte,
- Fig. 4 Leistungs-Zeit-Kurven zur Regelung eines Schweißprozesses bei vorgegebener Energie,
- Fig. 5 Leistungs-Zeit-Kurven zur Regelung eines Schweißprozesses unter Berücksichtigung eines Energieeintrages und
- Fig. 6 eine Prinzipdarstellung eines Ultraschallschweißvorrichtung mit Peripherie.

[0028] Die Erfindung wird nachstehend anhand von zu verschweisenden Litzen erläutert, ohne dass hierdurch eine Einschränkung erfolgen soll. Vielmehr erstreckt sich die Erfindung auch u.a. auf das Verschweissen von Kunststoffteilen.

[0029] Um nach dem Stand der Technik Litzen mittels Ultraschall zu verschweissen, werden in Abhängigkeit von deren Summenquerschnitt in einem Speicher abgelegte Werte in Bezug auf z.B. Druck, Amplitude, Werkzeuggrösse und Energieeintrag abgerufen. Sodann erfolgt ein Verschweissen der Litzen, wobei eine Leistungs-Zeit-Kurve aufgenommen wird, die der Fig. 1 zu entnehmen und mit dem Bezugszeichen 10 gekennzeichnet ist. Die Fläche unter der entsprechenden durchgezogenen Kurve 10 entspricht folglich dem Energieeintrag

$$E = \int_{t=0}^{t=t_e} P dt$$

mit P = Leistung und t = Zeit.

[0030] Im Ausführungsbeispiel entspricht die Kurve 10 einer sogenannten Soll-Kurve, die zu einem befriedigenden Schweißergebnis der zu verschweisenden Litzen geführt hat. Unter Berücksichtigung des der Kurve 10 entsprechenden Schweißendes t_e werden sodann weitere einen gleichen Summenquerschnitt aufweisende Litzen verschweisst, wobei ein gleicher Energieeintrag erfolgt wie bei der der Soll-Kurve 10 entsprechenden Schweißung. Für jede Schweißung wird sodann eine entsprechende in der Fig. 1 mit den Bezugszeichen 12 (punkt-linierte Kurve) oder 14 (gestrichelte Kurve) gekennzeichnete Ist-Kurve ermittelt, deren jeweilige Fläche gleich der der Soll-Kurve 10 ist. Entsprechend dem jeweiligen Verlauf der Leistung P ist folglich der Schweißvorgang zu verschiedenen Zeitpunkten t_{e1} bzw. t_{e2} beendet. Aufgrund von empirisch gesammelten Daten werden sodann die Schweißungen, bei denen das Schweißende vor t_e der Soll-Kurve 10 oder in einem sich anschliessenden Zeitfenster $\#t$ fällt, als gut befunden. Im vorliegenden Fall ist folglich die der Ist-Kurve 12 zuzuordnende Schweißung als ordnungsgemäss zu bewerten, da das Schweißen zum Zeitpunkt t_{e1} abgeschlossen ist und dieser Zeitpunkt innerhalb $t_e + \#t$, im Ausführungsbeispiel im Zeitfenster $\#t$, liegt.

[0031] Demgegenüber liegt der Zeitendpunkt t_{e2} der Ist-Kurve 14 nach dem Zeitendpunkt $t_e + \#t$ der Soll-Kurve 10, so dass infolgedessen die Schweißung verworfen wird.

[0032] Das Zeitfenster $\#t$ beträgt üblicherweise 10 bis 20% der Zeitdauer des Schweißens, der der Soll-Kurve 10 entspricht, also der Zeitdifferenz $t_e - t_0$.

[0033] Um sicherzustellen, dass eine Optimierung der Schweißung erfolgt, da unterschiedliche Materialien, Temperatur oder Umwelteinflüsse bzw. Positionierung der zu verschweisenden Litzen in dem von Sonotrode und Amboss gebildeten Verdichtungsraum die Schweißergebnisse beeinflussen, bzw. um auszuschliessen, dass eine Schweißung erst nach dem Zeitfenster $\#t$, also nach einer Gesamtschweisszeit $t_e + \#t$ beendet ist, erfolgt erfindungsgemäss dem Grunde nach ein Regeln des Schweißprozesses unter Zugrundelegung einer ermittelten Soll-Kurve, die in Fig. 2 ebenfalls mit dem Bezugszeichen 10 gekennzeichnet ist.

[0034] Erfindungsgemäss erfolgt ein Vergleich zwischen den Schweißungen gleichen Querschnitts bzw. Summenquerschnitts zu Grunde zu legenden Sollkurve 10 mit jeweiliger bei einer Schweißung ermittelter Ist-Kurve. Dabei kann der Vergleich bei zuvor festgelegten Zeitpunkten, bei Vorliegen gleichen Leistungswertes von Soll- und Ist-Kurve oder bei Vorliegen eines gleichen Anteils des Energieeintrages erfolgen, der gleicher Fläche der über der Zeit aufgetragenen Leistung entspricht.

[0035] Im Ausführungsbeispiel der Fig. 2 erfolgt zu Zeitpunkten t_1 und t_2 ein Vergleich zwischen der Soll-Kurve 10 und einer jeweils beim Schweißen ermittelten Ist-Kurve 16 bzw. 18. Die Ist-Kurve 16 verläuft zum Zeitpunkt t_1 unterhalb der Soll-Kurve 10. Aufgrund von zuvor abgespeicherten aus Messungen ermittelten Werten werden sodann Schweißparameter geändert. So kann z.B. Amplitude der Sonotrode und/oder über die Sonotrode auf die zu verschweisenden Teile einwirkende Kraft im Vergleich zu dem den Werten der Sollkurve 10 entsprechenden Schweißvorgang verändert und – auf die der Ist-Kurve 10 entsprechenden Schweißung bezogen – erhöht werden.

[0036] Liegt folglich die Ist-Kurve unterhalb der Soll-Kurve erfolgt grundsätzlich eine Erhöhung der einstellbaren Schweißparameter, wohingegen dann, wenn die Ist-Kurve oberhalb der Soll-Kurve verläuft, ein Reduzieren erfolgt.

[0037] Hierdurch bedingt erfolgt eine Verlaufsanpassung der Ist-Kurve 16 an die Soll-Kurve 10, d.h. erstere nähert sich letzterer. Zu einem Zeitpunkt t_2 erfolgt eine erneute Messung. Im vorliegenden Fall verläuft die Ist-Kurve 16 oberhalb der

Soll-Kurve 10, so dass eine Anpassung z.B. durch Reduzierung der Amplitude und/oder Kraft erfolgen kann, ohne dass eine Änderung des Energiewertes erfolgen muss. Alternativ oder ergänzend kann gegebenenfalls auch der einzuleitende Gesamtenergieeintrag während der Schweißung verändert werden.

[0038] Anzumerken ist, dass die erfindungsgemäße Regelung bei verschiedenen Frequenzen # der Ultraschallschweißvorrichtung durchgeführt werden kann, so z.B. mit # = 20 kHz, 35 kHz, 40 kHz etc.

[0039] In Abhängigkeit von dem festgelegten bzw. geänderten Energiewert wird sodann die Schweißung beendet, und zwar im Ausführungsbeispiel zu einem Zeitpunkt t_{e3} , der nach dem Zeitendpunkt t_e der Soll-Kurve 10 liegt. Dabei ist es abweichend vom Stand der Technik gemäss der Fig. 1 nicht erforderlich, dass der Zeitpunkt t_{e3} in oder vor einem nach dem Stand der Technik vorgegebenen Zeitfenster liegt. Vielmehr kann der Zeitendpunkt t_{e3} grösser oder kleiner t_e sein. Selbstverständlich muss der Schweißvorgang vor einer definierten Endzeit abgeschlossen sein, um ein endloses Regeln zu vermeiden. Dieser Zeitendpunkt ist in Fig. 2 mit t_{max} gekennzeichnet.

[0040] In Fig. 2 ist des Weiteren eine zweite Ist-Kurve (linierte Kurve) eingezeichnet. Diese verläuft zum Zeitpunkt t_1 oberhalb der Soll-Kurve 10. Demzufolge sind Schweißparameter zu verändern, d. h. zu reduzieren, um die Ist-Kurve 18 an die Soll-Kurve 10 anzunähern. Zum Zeitpunkt t_2 stimmt die Sollkurve 10 mit der Ist-Kurve überein. In Abhängigkeit des zuvor abgespeicherten oder aufgrund der Abweichung zwischen Soll- und Ist-Kurve 10 bzw. 18 der zum Zeitpunkt t_1 geänderten Schweißparameter wird der Schweißvorgang zu einem Zeitpunkt t_{e1} beendet, der vor dem Zeitpunkt t_e der Soll-Kurve 10 liegt.

[0041] Ein Vergleich von Soll- und Ist-Kurven kann nicht nur zu bestimmten Zeitpunkten t_i , sondern auch bei Vorliegen gleichen Leistungswertes oder erfolgtem gleichen Energieeintrags erfolgen. Dies ist ebenso rein prinzipiell der Fig. 2 zu entnehmen. So kann bei gleicher Fläche E_1 von Soll-Kurve 10 und Ist-Kurven 16, 38 ein Vergleich erfolgen, um entsprechend der Abweichung die Schweißparameter in zuvor beschriebener Art zu verändern. Eine Änderung von einem oder mehreren Schweißparametern kann auch auf Grund eines Vergleichs der Kurven bei gleichem Leistungswert P_1 erfolgen. Dies wird ebenfalls an Hand der Fig. 2 prinzipiell verdeutlicht.

[0042] Werden Soll- und Ist-Kurven 10, 16, 18 bei gleichem Leistungswert P_1 verglichen, so wird erkennbar, dass der der Ist-Kurve 16 zugeordnete Schweißprozess dahingehend geändert werden muss, dass ein oder mehrere Schweißparameter zu erhöhen sind. Bezuglich der der Ist-Kurve 18 entsprechenden Schweißung erfolgt eine Reduzierung.

[0043] Hinsichtlich eines Vergleichs zwischen den Kurven 10, 16, 18 bei Vorliegen gleichen Energieeintrags E_1 ergibt sich aus dem Ausführungsbeispiel der Fig. 2, dass die der Ist-Kurve 16 entsprechende Schweißung dahingehend geändert werden muss, dass ein oder mehrere Schweißparameter erhöht und bezüglich der Schweißung nach der Ist-Kurve 18 reduziert werden müssen.

[0044] Den Fig. 3 bis 5 sind weitere Leistungs-Zeit-Kurven zu entnehmen, anhand der die erfindungsgemäße Lehre erläutert werden soll. Dabei sind die jeweils mit Ist-Kurven zu vergleichenden Soll-Kurven mit dem Bezugszeichen 10 entsprechend der Fig. 1 und 2 gekennzeichnet.

[0045] Wie im Zusammenhang mit der Fig. 2 bereits erläutert worden ist, kann eine Regelung des Schweißvorganges einer Ultraschallschweißvorrichtung in Abhängigkeit etwaiger Abweichungen zwischen der Soll-Kurve 10 und einer Ist-Kurve 20 bei vorgegebenen Leistungswerten $P_1 \dots P_n$ erfolgen. Somit erfolgt ein Trigger in Abhängigkeit von der Abweichung zwischen der Soll-Kurve 10 und der Ist-Kurve 20 bei unterschiedlichen Leistungswerten $P_1 \dots P_n$. Werden z.B. Soll- und Ist-Kurve 10, 20 bei dem Leistungswert P_2 verglichen, so sind ein oder mehrere Schweißparameter zu erhöhen, um eine Anpassung der Kurven 10, 20 zu erreichen. Unabhängig hiervon ist jedoch der Gesamtenergieeintrag von zu regelndem Schweißprozess und dem, der der Soll-Kurve 10 zu Grunde liegt, gleich. Der Zeitendpunkt t_{e1} , bei dem der Schweißvorgang entsprechend der Ist-Kurve 20 beendet ist, liegt zwischen t_1 und t_{max} .

[0046] Die Fig. 4 soll verdeutlichen, dass eine Leistungsregelung zwischen der Soll-Kurve 10 und einer Ist-Kurve 22 ausschliesslich in Abhängigkeit des erfolgten Energieeintrags erfolgt. Weichen die Ist-Kurve 22 und die Soll-Kurve 10 in Bezug auf den zum jeweiligen Messzeitpunkt $t_1, t_2 \dots t_n$ erfolgten Energieeintrag

$$E = \int_{t=0}^{t=t_1 \dots t_n} P dt$$

ab, so erfolgt entsprechend der erfindungsgemässen Lehre eine Veränderung der Schweißparameter. Unabhängig hiervon wird der Gesamtenschweißvorgang dann beendet, wenn der Energieeintrag nach der Leistungs-Zeit-Ist-Kurve 22 gleich dem der Soll-Kurve 10 ist.

[0047] Abweichend von dem der Fig. 4 zu Grunde liegenden Regelungsprozess wird nach Fig. 5 zur Optimierung eines Schweißvorgangs, also dessen Regelung, nicht nur ein Prozessparameter wie Druck oder Amplitude verändert, sondern zusätzlich oder allein alternativ erfolgt eine Erhöhung des Energieeintrages. Dies wird dadurch verdeutlicht, dass dann, wenn das Integral unter der mit dem Bezugszeichen 24 versehenen Ist-Kurve gleich dem der Soll-Kurve 10 ist, ein weiterer Energieeintrag #E_{zus} erfolgt, bevor der Schweißvorgang zum Zeitpunkt t_x abgeschlossen ist. Ein Vergleich zwischen Ist- und Soll-Kurve 24 bzw. 10 erfolgt ebenfalls zu verschiedenen Zeitpunkten $t_1 \dots t_n$.

[0048] Anzumerken ist in diesem Zusammenhang allerdings, dass nicht zwingend dann, wenn mehrere Schweißparameter zu verändern sind, diese sämtlichst erhöht bzw. reduziert werden müssen. Vielmehr erfolgt eine Abstimmung der

Schweissparameter untereinander derart, dass eine Anpassung von Soll- und Ist-Kurve zur Erzielung eines optimierten Schweissergebnisses erfolgt.

[0049] Zur Bestimmung der Leistungs-Zeitkurve wird die Leistungsabgabe des Generators bzw. Leistungsaufnahme der Sonotrode bzw. des Schwingers über der Zeit ermittelt.

[0050] In der Fig. 6 ist rein prinzipiell eine Anordnung dargestellt, mittels der ein erfindungsgemäss geregelter Ultraschallschweissprozess durchgeführt werden kann. Hierzu ist eine Ultraschallschweissvorrichtung oder -maschine 26 vorgesehen, die in gewohnter Weise einen Konverter 26', ggf. einen Booster 28 sowie eine Sonotrode 30 umfasst. Der Sonotrode 30 bzw. einer Fläche dieser ist eine Gegenelektrode 32 zugeordnet, die entsprechend der Lehre der US-A-4 596 352 oder der US-A-4 869 419 mehrteilig ausgebildet sein kann, um einen im Querschnitt verstellbaren Verdichtungsraum, innerhalb dem die zu verschweisenden Elemente wie Leiter eingebracht werden, zur Verfügung zu stellen. Der Konverter 26 wird über eine Leitung 34 mit einem Generator 36 verbunden, der seinerseits über eine Leitung 38 mit einem Rechner (PC) 40 verbunden ist, um Schweissparameter bzw. Querschnitt von zu verschweisenden Leitern einzugeben. Die Leistungsabgabe des Generators 36 kann sodann bestimmt werden, um mittels eines in dem Rechner 40 abgespeicherten Programms die jeweilige Ist-Kurve eines Schweissprozesses zu bestimmen und mittels des Rechners 40 zu berechnen sowie mit einer zuvor festgelegten Soll-Kurve im Sinne der erfindungsgemässen Lehre zu vergleichen, um sodann regelnd den Schweissprozess zu beeinflussen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Ultraschallverschweissen von Teilen mittels einer zumindest einen Generator, einen Konverter und eine Sonotrode umfassenden Ultraschallschweissvorrichtung, insbesondere zum Verschweissen von Litzen, unter Zugrundelegung einer gestellten Anforderungen genügenden Schweissverbindung entsprechenden Soll-Kurve eines zeitabhängigen Schweissparameters, wobei die Schweissdauer entsprechend der Soll-Kurve zwischen einem Anfangszeitpunkt t_o und einem Endzeitpunkt t_e verläuft, während des Verschweissons der Teile eine Ist-Kurve des zeit-abhängigen Parameters gemessen wird und im Zeitraum zwischen t_o und t_e die Ist-Kurve mit der Soll-Kurve verglichen wird, dadurch gekennzeichnet, dass in Abhängigkeit von bestehender Abweichung zwischen der Ist- und der Soll-Kurve zumindest ein das Schweissen beeinflussender Prozessparameter derart verändert wird, dass beim weiteren Verschweissons eine Anpassung der Ist-Kurve an die Soll-Kurve durch einen Regelprozess erfolgt, wobei als zu ändernder Prozessparameter Amplitude und/oder Frequenz der Sonotrode und/oder auf die zu verschweisenden Teile einwirkender Druck bzw. einwirkende Kraft und/oder Energieeintrag in die zu verschweisenden Teile gewählt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass bei einen Zeitpunkt t_1 mit $t_o < t_1 < t_e$ die Ist-Kurve mit der Soll-Kurve verglichen wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Ist-Kurve mit der Soll-Kurve bei einem gleichen Leistungswert verglichen wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Ist-Kurve mit der Soll-Kurve bei gleichem Energieeintrag ausgehend vom Beginn des Schweissens verglichen wird.
5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in Abhängigkeit von der Abweichung zwischen der Ist-Kurve und der Soll-Kurve zumindest ein Prozessparameter entsprechend gespeicherter Werte bzw. Funktionen geändert wird.
6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der zumindest eine Prozessparameter schrittweise geändert wird.
7. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der zumindest eine Prozessparameter in Abhängigkeit von zu verschiedenen Zeitpunkten $t_1, t_2 \dots t_n$ mit $n \geq 2$ erfolgenden Vergleichen zwischen Soll- und Ist-Werten geändert wird.
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass eine Regelung des zumindest einen Prozessparameters in Abhängigkeit von gegebenen Abweichungen zwischen der Soll-Kurve und der Ist-Kurve zu den Zeitpunkten $t_1, t_2 \dots t_n$ mit $n \geq 2$ erfolgt.
9. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass als zeitabhängiger Schweissparameter abgegebene bzw. aufgenommene Leistung der Ultraschallschweissvorrichtung gewählt wird.
10. Verfahren nach Anspruch 11 dadurch gekennzeichnet, dass ein oder mehrere Prozessparameter einzeln oder zusammen verändert werden.
11. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Verschweissons über dessen Gesamtdauer oder zeitweise in Abhängigkeit von der jeweiligen momentanen Abweichung von Soll- und Ist-Kurve geregelt wird.

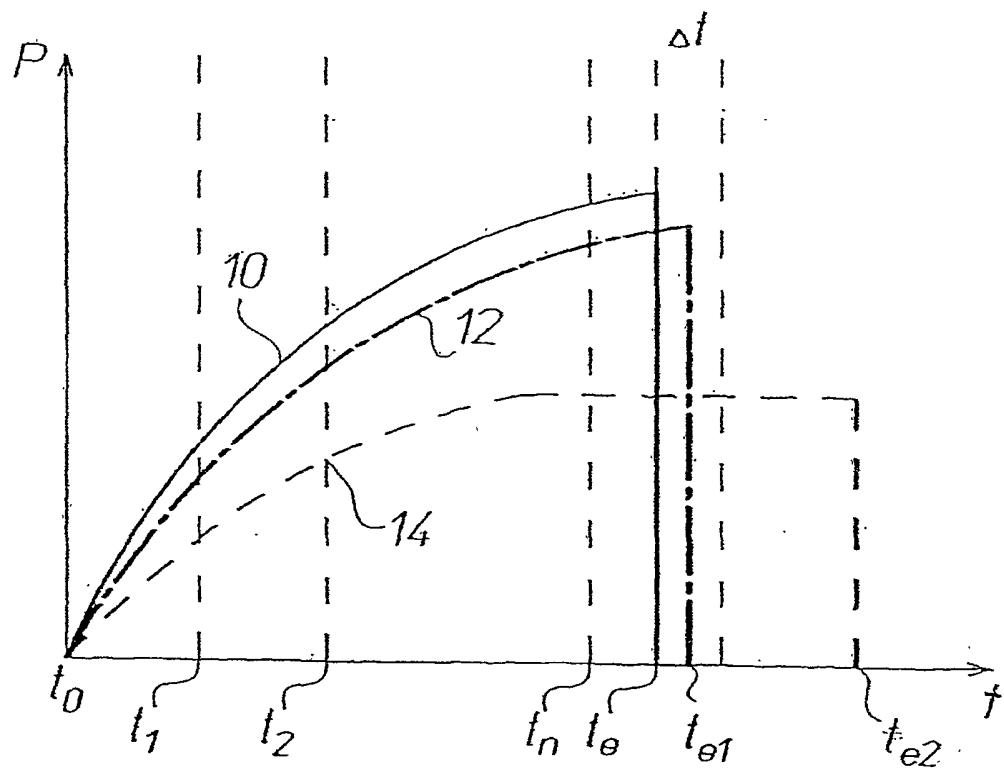


Fig.1

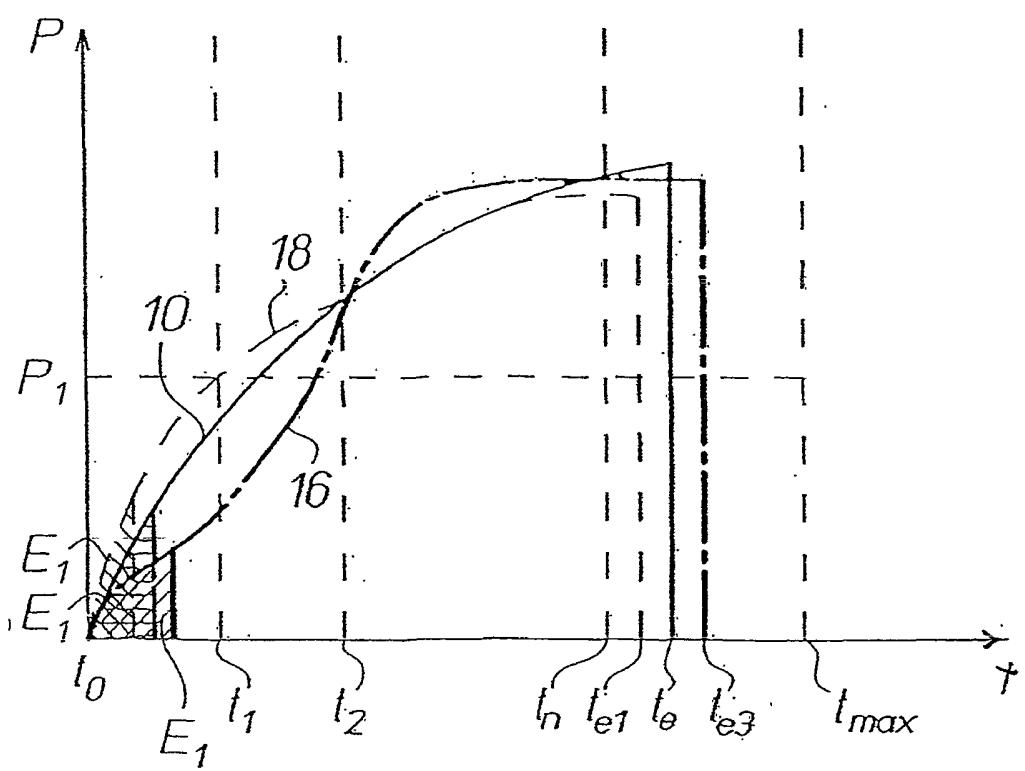


Fig.2

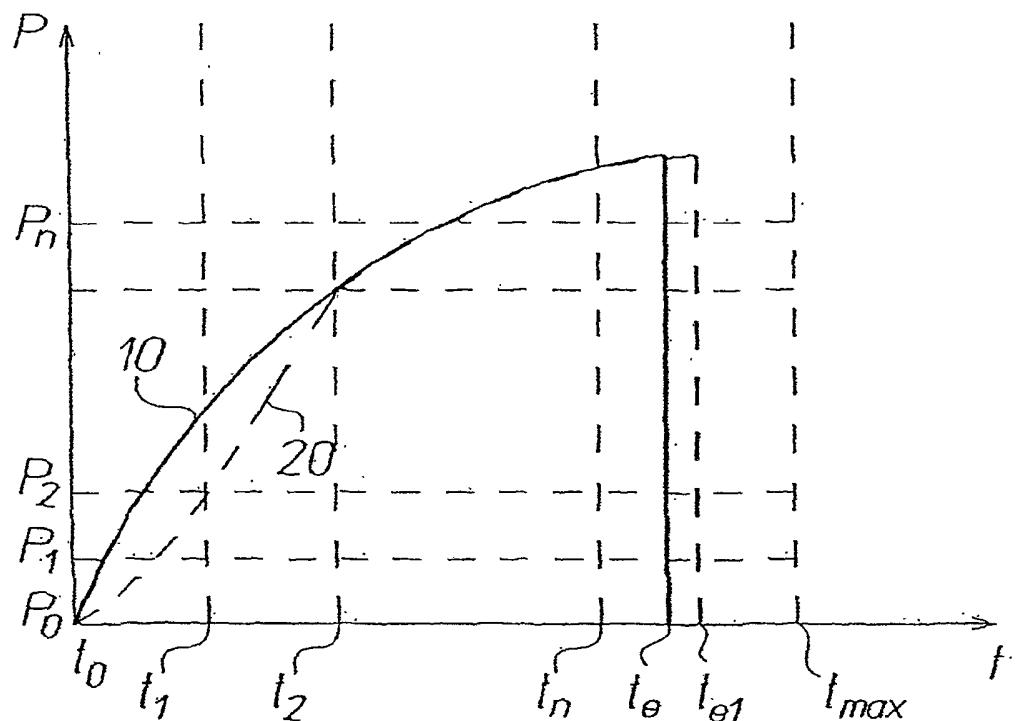


Fig.3

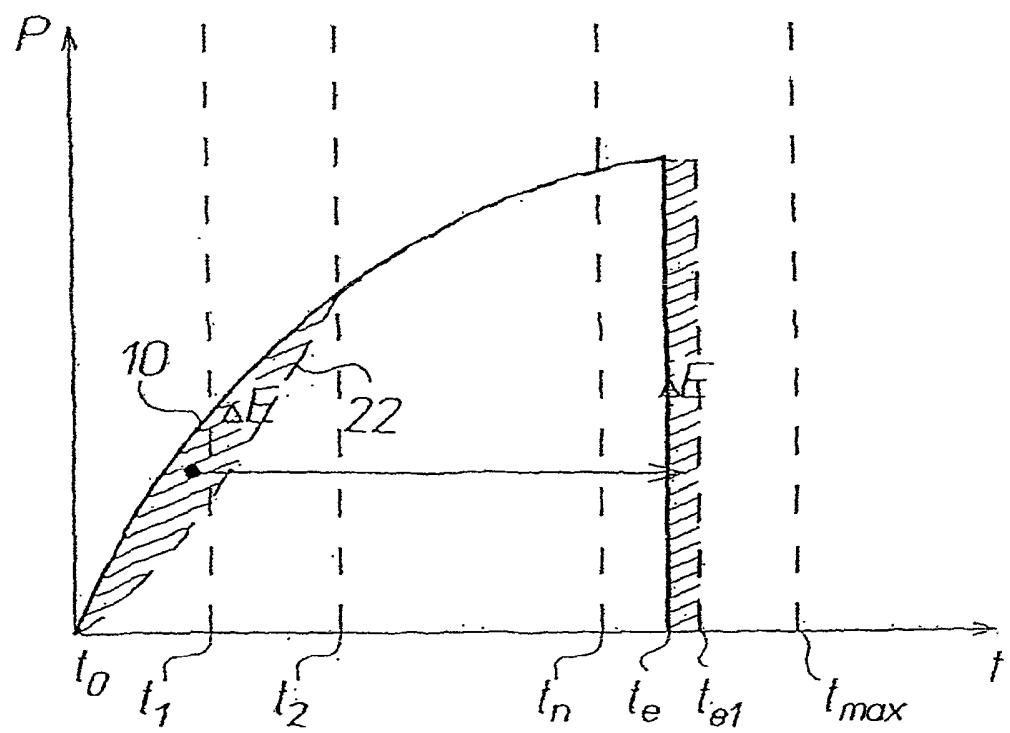
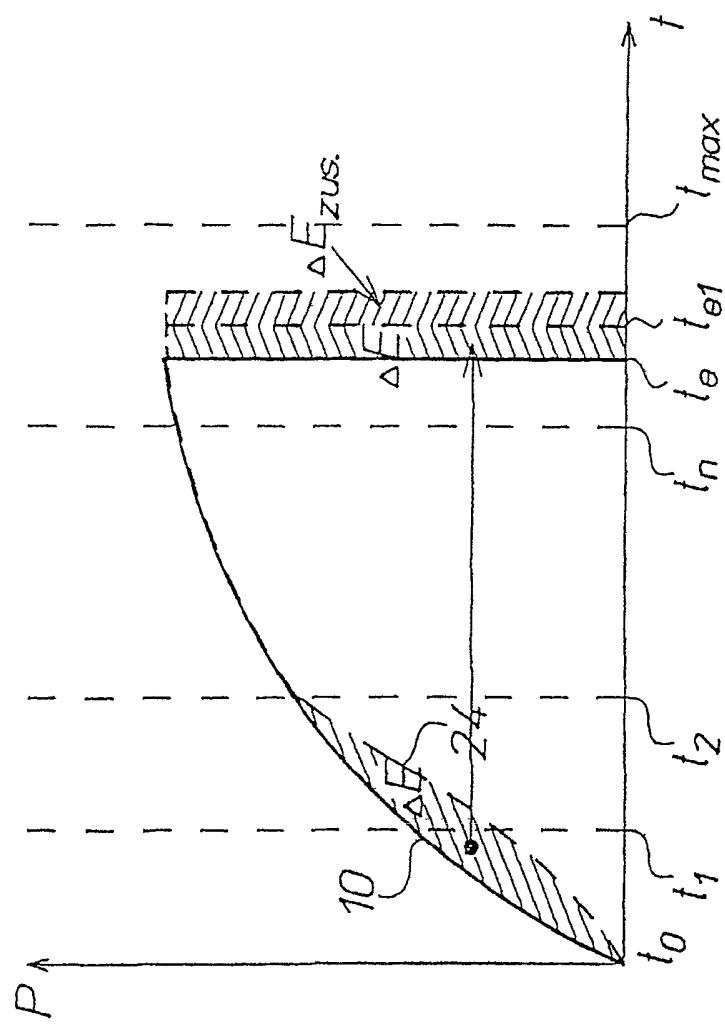


Fig.4

Fig. 5



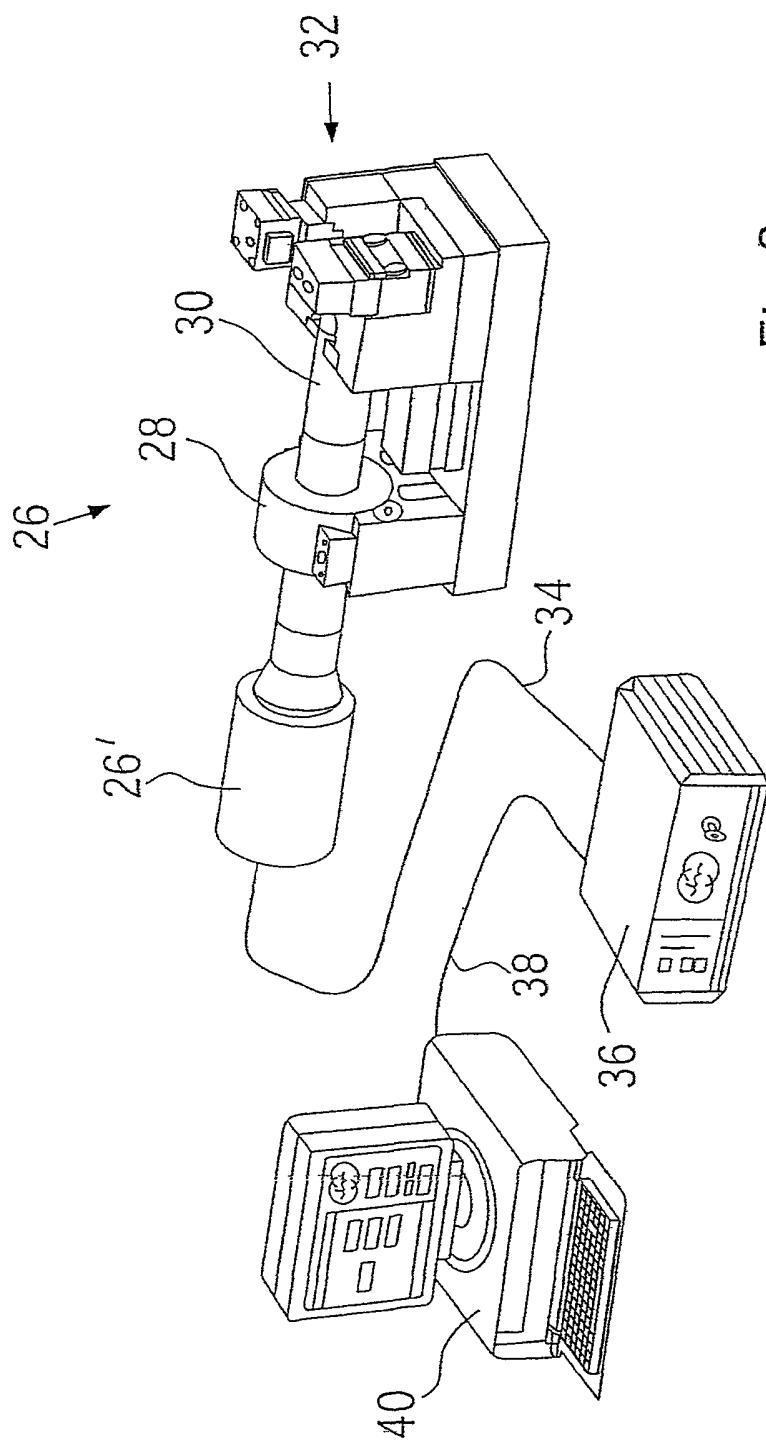


Fig.6