

**389 969 B**

# PATENTSCHRIFT

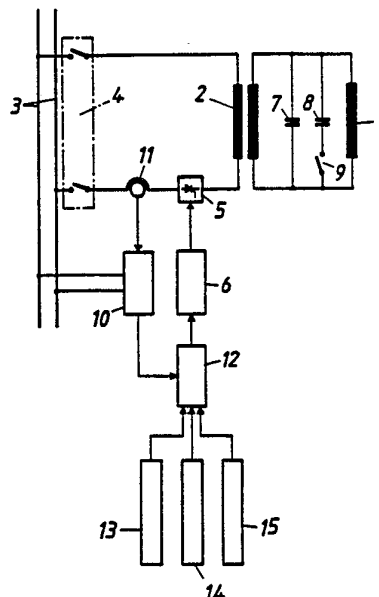
(51) Int.Cl.<sup>5</sup> : H05B 6/06

(42) Beginn der Patentdauer: 15. 7.1989

(45) Ausgabetag: 26. 2.1990

HAGINGER PETER  
A-4810 Gmunden, OBERÖSTERREICH (AT).

(57) Um ein Werkstück mit Hilfe wenigstens einer Induktionsspule (1) entsprechend einem angestrebten zeitlichen Erwärmungsverlauf induktiv erwärmen zu können, ohne den Temperaturverlauf insbesondere des Werkstückkernes erfassen zu müssen, wird der für den Erwärmungsverlauf des Werkstückes jeweils erforderliche, zeitliche Wärmebedarf unter Berücksichtigung der auftretenden Wärmeverluste in einem Rechner (12) berechnet und dann der Steuereinrichtung (6) für einen die Energiezufuhr schaltenden Thyristorschalter (5) als Führungsgröße vorgelegt.



Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung zum induktiven Erwärmen eines metallischen Werkstückes mit wenigstens einer ein Werkstück aufnehmenden Induktionsspule, die über einen Steuerschalter, insbesondere einen Thyristorschalter, mit einem elektrischen Versorgungsnetz verbindbar ist, und mit einer Steuereinrichtung für den Steuerschalter.

- 5 Beim induktiven Erwärmen von metallischen Werkstücken ergibt sich aufgrund des sogenannten Skineffektes eine ungleichmäßige Stromdichte- und Wärmeverteilung der induzierten Wirbelströme über den Werkstückquerschnitt, was eine entsprechend ungleichmäßige Erwärmung des Werkstückes über seinen Querschnitt zur Folge hat. Um eine gleichmäßige Werkstücktemperatur über den gesamten Querschnitt zu erhalten, ist es bekannt (DE-PS 1 286 664), das Werkstück unter voller Leistungszufuhr rasch aufzuwärmen und dabei im Bereich der  
10 Werkstückoberfläche zu überhitzen, damit einerseits der Werkstückkern auf ein höheres Temperaturniveau gebracht wird und andererseits beim anschließenden Abkühlen der äußeren Werkstückschicht unter Wärmeabgabe an den Kern ein Temperatúrausgleich stattfinden kann. Zur Vermeidung einer solchen Überhitzung von Werkstückbereichen ist es außerdem bekannt (AT-PS 365 028), die volle Leistungszufuhr in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz zwischen der Außenschicht und dem Kern des Werkstückes wiederholt zu unterbrechen, weil sich herausgestellt hat, daß sich dabei der Erwärmungsverlauf des Kernes nicht wesentlich ändert, daß aber  
15 durch die Kühlperioden während der Leistungsabschaltung die Außenschicht des Werkstückes erheblich langsamer aufgewärmt werden kann, was eine Anpassung des Erwärmungsverlaufes der Außenschicht an den Erwärmungsverlauf des Kernes ermöglicht, und zwar ohne Verlängerung der Erwärmungszeit, weil ja während der Einschaltzeiten stets die volle elektrische Leistung zugeführt wird. Da durch die Anpassung des  
20 Erwärmungsverlaufes der Außenschicht an den Erwärmungsverlauf des Kernes die Temperaturdifferenz zwischen der Außenschicht und dem Kern beim Erreichen der Endtemperatur durch die Außenschicht klein ist, bleibt auch die Ausgleichsperiode klein.

- Um den Vorteil einer solchen Erwärmung eines metallischen Werkstückes auszunützen und enge Toleranzbereiche für die Endtemperatur und deren Verteilung über den Werkstückquerschnitt einhalten zu können, ist es allerdings erforderlich, den Erwärmungsverlauf des Kernes zu erfassen, der jedoch im Gegensatz zum  
25 Erwärmungsverlauf der Werkstückoberfläche nicht unmittelbar über eine Temperaturmessung ermittelt werden kann. Es stehen hierfür lediglich die Stirnseiten des Werkstückes zur Verfügung, die jedoch wegen der im Stirnbereich wirksamen Wärmeabfuhr kein genaues Abbild der Temperaturverteilung über den Querschnitt geben können.

- 30 Der Erfindung liegt somit die Aufgabe zugrunde, diese Mängel zu vermeiden und eine Vorrichtung zum induktiven Erwärmen eines metallischen Werkstückes der eingangs geschilderten Art mit einfachen Mitteln so zu verbessern, daß für ein metallisches Werkstück ein bestimmter Erwärmungsverlauf eingehalten und eine angestrebte Endtemperatur mit hoher Genauigkeit sichergestellt werden kann, und zwar bei einer vorgegebenen maximalen Temperaturdifferenz zwischen der Außenschicht und dem Kern des Werkstückes.

- 35 Die Erfindung löst die gestellte Aufgabe dadurch, daß für die der Induktionsspule zugeführte Energie ein an einem Rechner angeschlossener Zähler vorgesehen ist und daß der Rechner die Steuereinrichtung für den Steuerschalter in Abhängigkeit von der Differenz zwischen der durch den Zählerstand erfaßten, dem Werkstück zugeführten Wärmemenge und dem programmbedingt aus eingetragenen Werkstückdaten für einen Soll-  
40 erwärmungsverlauf unter Berücksichtigung der auftretenden Wärmeverluste errechneten, zeitlichen Wärmebedarf des Werkstückes steuert.

- Die Erfindung geht von der Erkenntnis aus, daß bei einer gegebenen Vorrichtung zum induktiven Erwärmen eines metallischen Werkstückes die Wärmeverluste mit hoher Genauigkeit berechnet werden können, so daß aufgrund der Gesetzmäßigkeit der Erwärmung der zeitliche Energiebedarf für einen angestrebten  
45 Erwärmungsverlauf des Werkstückes ermittelt und die Energiezufuhr zur Induktionsspule davon abhängig gesteuert werden kann. Da die jeweils der Induktionsspule zugeführte elektrische Energie einfach und genau gemessen werden kann, wird es durch die Steuerung der Energiezufuhr in Abhängigkeit von dem unter Berücksichtigung der auftretenden Wärmeverluste errechneten Energiebedarf möglich, die angestrebte Endtemperatur unter Einhaltung einer vorgegebenen, maximal zulässigen Temperaturdifferenz zwischen dem Kern und der Außenschicht des Werkstückes innerhalb enger Toleranzgrenzen zu erreichen, ohne den Temperaturverlauf  
50 des Kernes oder der Außenschicht erfassen zu müssen. Durch die Steuerung der Energiezufuhr können sich außerdem Schwankungen des Versorgungsnetzes nicht störend auf den Erwärmungsverlauf des Werkstückes im Sinne einer Vergrößerung des Toleranzbereiches auswirken.

- Da sich für einen Soll-erwärmungsverlauf eines Werkstückes unter gegebenen Induktionsbedingungen der Wärmebedarf aus den Werkstückeigenschaften und den auftretenden Wärmeverlusten rechnerisch ermitteln läßt, kann dieser errechnete, zeitliche Wärmebedarf der Steuereinrichtung für den Steuerschalter als Führungsgröße  
55 vorgelegt werden, um die für den gewünschten Erwärmungsverlauf erforderliche Energiezufuhr zur Induktionsspule mit Hilfe eines Soll-Istwertabgleiches zu steuern. Bei einem die als konstant anzusehenden, vorrichtungsspezifischen Parameter vor allem hinsichtlich der Wärmeverluste berücksichtigenden Rechnerprogramm brauchen lediglich die Werkstückdaten bezüglich der Werkstückabmessungen, der  
60 Werkstoffeigenschaften des Werkstückes und der Werkstückausgangstemperatur als Variable eingegeben zu werden, um die Energiezufuhr zur Induktionsspule im Hinblick auf einen gewünschten Erwärmungsverlauf bis zu einer vorgegebenen Endtemperatur des Werkstückes über den Rechner und die Steuereinrichtung für den

Steuerschalter zu steuern, was eine sonst notwendige, aber nicht ausreichend genau durchführbare Überwachung des Temperaturverlaufes bzw. der Temperaturdifferenz von Kern und Außenschicht des Werkstückes überflüssig macht. Obwohl sich Thyristorschalter für das Schalten hoher elektrischer Leistungen besonders gut eignen, können auch andere Steuerschalter Verwendung finden, wenn sie den gestellten Anforderungen hinsichtlich der

Größe der zu schaltenden Energie und der Schaltzeit genügen.  
In der Zeichnung ist der Erfindungsgegenstand beispielsweise dargestellt, und zwar wird eine erfindungsgemäße Vorrichtung zum induktiven Erwärmen eines metallischen Werkstückes in einem schematischen Blockschaltbild gezeigt.

Die dargestellte Vorrichtung zum induktiven Erwärmen eines metallischen Werkstückes besteht im wesentlichen aus wenigstens einer Induktionsspule (1), die über einen Transformator (2) an ein Versorgungsnetz (3) angeschlossen ist, und zwar mit Hilfe eines Leistungsschalters (4). Zur Steuerung der Energiezufuhr zur Induktionsspule (1) dient ein Steuerschalter (5) in Form eines Thyristorschalters, der von einer Steuereinrichtung (6) her betätigt wird. Um die hohe induktive Last zu kompensieren, sind zwei Kondensatoren (7) und (8) bzw. Kondensatorgruppen zur Induktionsspule (1) parallelgeschaltet, von denen der eine Kondensator (8) wahlweise über einen Schalter (9) zu- und weggeschaltet werden kann.

Die Steuerung des Steuerschalters (5) erfolgt in Abhängigkeit von der der Induktionsspule (1) zugeführten Energie. Zu diesem Zweck ist ein Zähler (10) vorgesehen, der einerseits an einen im Primärkreis des Transformators (2) angeordneten Stromwandler (11) angeschlossen ist und andererseits an der Spannung des Versorgungsnetzes (3) anliegt. Der jeweilige Zählerstand wird in einen Rechner (12) eingelesen, in dem der für einen bestimmten Erwärmungsverlauf des Werkstückes erforderliche, zeitliche Wärmebedarf errechnet wird. Während die vorrichtungsabhängigen Parameter, wie Größe und Aufbau der Induktionsspule, elektrischer Widerstand der Spule, Spulenspannung, Frequenz, Abmessungen des Schutzrohres zwischen der Induktionsspule und dem Werkstück, Wärmeleitfähigkeit der einzelnen Konstruktionsteile, Zwangskühlung der Induktionsspule u. dgl., als konstant angesehen werden können und zur Ermittlung der Wärmeverluste durch Wärmeabstrahlung und Wärmeleitung im Rechnerprogramm enthalten sind, müssen die werkstückbedingten Parameter, wie die Werkstückabmessungen, die Werkstoffeigenschaften hinsichtlich der Permeabilität, der elektrischen Leitfähigkeit, der Wärmeleitfähigkeit u. dgl., als Variable über eine Eingabe (13) in den Rechner (12) eingegeben werden, in den über eine Eingabe (14) zusätzlich die Anfangstemperatur des Werkstückes und über eine Eingabe (15) die gewünschte Endtemperatur mit der zulässigen Temperaturdifferenz zwischen dem Kern und der Außenschicht des Werkstückes eingelesen werden. Mit diesen Daten kann programmbedingt unter Berücksichtigung der auftretenden Wärmeverluste der für einen angestrebten Erwärmungsverlauf jeweils benötigte, zeitliche Wärmebedarf errechnet und als Sollwert der Steuerung der Energiezufuhr vorgelegt werden, so daß mit Hilfe eines Soll-Istwertabgleiches die für einen vorgesehenen Erwärmungsverlauf zuzuführende Energie über den Steuerschalter (5) genau gesteuert werden kann.

Es braucht wohl nicht besonders hervorgehoben zu werden, daß nicht nur eine Induktionsspule (1), sondern auch mehrere Induktionsspulen eingesetzt werden können, um beispielsweise bei stangenförmigen Werkstücken in axialen Abschnitten unterschiedliche Energiemengen dem Werkstück zuführen und damit das Werkstück mit einem vorgegebenen Temperaturverlauf auch über die axiale Länge erwärmen zu können.

Über den Rechner wird die jeweils für eine zulässige maximale Temperaturdifferenz zwischen dem Kern und der Außenschicht des Werkstückes notwendige Ausgleichszeit nach der Beendigung der Energiezufuhr zur Induktionsspule (1) bestimmt, was zur Steuerung eines Werkstückförderers ausgenützt werden kann, wodurch die Verweilzeit des Werkstückes im Induktionsofen genau festgelegt wird.

5

## PATENTANSPRUCH

10

15 Vorrichtung zum induktiven Erwärmen eines metallischen Werkstückes mit wenigstens einer ein Werkstück  
aufnehmenden Induktionsspule, die über einen Steuerschalter, insbesondere einen Thyristorschalter, mit einem  
elektrischen Versorgungsnetz verbindbar ist, und mit einer Steuereinrichtung für den Steuerschalter, **dadurch**  
**gekennzeichnet**, daß für die der Induktionsspule (1) zugeführte Energie ein an einem Rechner (12)  
angeschlossener Zähler (10) vorgesehen ist und daß der Rechner (12) die Steuereinrichtung (6) für den  
20 Steuerschalter (5) in Abhängigkeit von der Differenz zwischen der durch den Zählerstand erfaßten, dem Werkstück  
zugeführten Wärmemenge und dem programmbedingt aus eingebbaren Werkstückdaten für einen  
Sollerwärmungsverlauf unter Berücksichtigung der auftretenden Wärmeverluste errechneten, zeitlichen  
Wärmebedarf des Werkstückes steuert.

25

Hiezu 1 Blatt Zeichnung

