



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
29.01.2003 Patentblatt 2003/05

(51) Int Cl.7: H05B 6/02, H05B 6/04

(21) Anmeldenummer: 02011226.4

(22) Anmeldetag: 22.05.2002

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

(72) Erfinder: **Beer, Stefan, Dipl.-Ing.**
58708 Menden (DE)

(74) Vertreter: **Schwarz, Klaus-Jürgen, Dipl.-Ing.**
**Patentanwälte Köhne, Wanischeck-Bergmann &
Schwarz,**
Rondorfer Strasse 5A
50968 Köln (DE)

(30) Priorität: 25.07.2001 DE 10135396
15.02.2002 DE 10206269

(71) Anmelder: **I. A. S. Induktions- Anlage + Service
GmbH & Co. KG**
58640 Iserlohn (DE)

(54) **Vorrichtung und Verfahren zur induktiven Blockerwärmung mit einer Blockerwärmungsspule**

(57) Die Vorrichtung dient zur induktiven Blockerwärmung mit einer ein- oder mehrlagigen Blockerwärmungsspule (4) für runde Bolzen (5), insbesondere aus Kupfer, Aluminium und deren Legierungen sowie ferritische und austenitische Werkstoffe größerer Durchmesser, wobei die Blockerwärmungsspule (4) aus einer oder mehreren nacheinander angeordneten, galvanisch getrennten Zonen besteht, die über eine elektrische Schalteinrichtung und eine Steuereinheit mit elektrischer Energie aus dem Drehstromnetz versorgt werden, und ist dadurch gekennzeichnet, daß die Blockerwärmungsspule (4) aus mehreren hinsichtlich Frequenz und Phase des induktiven Feldes synchron geregelten Zonen (Z1, Z2 bis Zn) besteht, und daß für die Strominspeisung zu jeder Zone (Z1 bis Zn) der Blockerwärmungsspule (4) ein Umrichter (2) mit variabler Frequenz und modularem Aufbau vorgesehen ist, der aus mehreren leistungsmäßig in sich geschlossenen Einheiten mit DS-Netzeinspeisung und Synchronisation von Phase und Frequenz der Ausgangsspannung besteht. Die Leistung der Zonen Z1 bis Zn der Blockerwärmungsspule wird an Hand der zugeordneten gemessenen Zonentemperaturen geregelt. Für die Leistungsregelung werden die Materialwerte (und deren Temperaturabhängigkeit), die Geometrie des Bolzens und die Energieaufnahme-fähigkeit des Bolzens (dP/dt) einbezogen. Ziel der Regelung ist das Erreichen eines vorgegebenen Temperaturprofils (im Toleranzbereich) in kürzester Erwärmungszeit, wobei dieses Kriterium gleichzeitig den maximalen Wirkungsgrad der Erwärmung bestimmt.

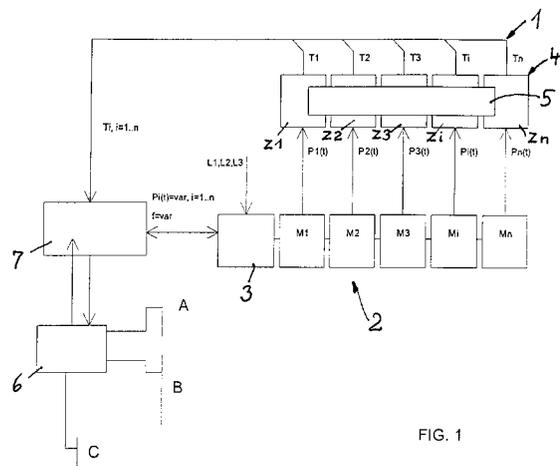


FIG. 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur induktiven Blockerwärmung mit einer ein- oder mehrlagigen Blockerwärmungsspule nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 und bezieht sich ferner auf ein derartiges Verfahren.

[0002] Bisher bestehen derartige Blockerwärmungsanlagen aus einer Blockerwärmungsspule in ein- oder mehrlagiger Ausführung, einer Transportvorrichtung für die erwärmten Blöcke oder Bolzen und einer elektrischen Schalteinrichtung für die Temperaturregelung. Die Blockerwärmungsspule besteht aus einer oder mehreren galvanisch getrennten Zonen. Diese sind nacheinander so angeordnet, dass die Block- oder Bolzensäule sich bei der Erwärmung komplett in den Zonen der Blockerwärmungsspule befindet.

[0003] Die elektrische Schalteinrichtung versorgt die einzelnen Zonen der Blockerwärmungsspule mit elektrischer Energie über Schaltorgane, wie Ofenschütze oder Thyristorsteller. Die Schaltorgane, sowohl die Ofenschütze als auch die Thyristorsteller, haben eine begrenzte Anzahl von Schaltspielen pro Zeiteinheit. Thyristorsteller arbeiten im Gegensatz zu den Ofenschützen verschleißfrei.

[0004] Die üblicherweise aus dem Drehstromnetz zugeführte elektrische Energie wird in der Spule mit einem bestimmten Wirkungsgrad in eine Energie des magnetischen Feldes umgewandelt und somit durch Induktion in den Einsatz (Bolzen oder Block) übertragen. Die Energie des magnetischen Feldes wird im Bolzen in Wärme umgewandelt. Die Temperatur wird an der Oberfläche des Bolzens gemessen.

[0005] Liegt die Temperatur an den Meßstellen unter der vorgegebenen Solltemperatur, wird die Leistung der zugeordneten Zone durch eine Temperaturregelung zugeschaltet. Hat die Oberfläche des Bolzens die Solltemperatur erreicht, so wird die Leistung abgeschaltet. Bei dieser 2-Punkt-Regelung ist die zur Verfügung stehende Leistung entweder zugeschaltet oder komplett abgeschaltet. Um die Anzahl der Schaltspiele pro Zeiteinheit der Schaltorgane zu reduzieren, ist bei dieser Regelungsart eine Temperaturhysterese notwendig. Das Wiedereinschalten findet in einem zeitlichen Abstand erst dann statt, wenn die Temperatur an der Oberfläche des Bolzens auf einen vorgegebenen Wert abgesunken ist.

[0006] Die Temperaturhysterese der 2-Punkt-Regelung hat einen großen Einfluss auf die Temperaturgenauigkeit der Erwärmung am Bolzen. Das abrupte Leistungsein- und -ausschalten verursacht Netzurückwirkungen in Form von Einschaltströmen.

[0007] Eine Beeinflussung der radialen Temperaturverteilung am Bolzen oder Block (Temperaturdifferenz zwischen dem Kern des Bolzens und dessen Oberfläche) ist trägheitsbedingt durch die Ausgleichzeit nur eingeschränkt möglich. Bei ausgeschalteter Leistung verweilt der Bolzen während der Ausgleichzeit entweder in der Spule oder extern in einem Ausgleichsofen.

[0008] Hierdurch ergeben sich die folgenden Nachteile:

- Das Stromeinspeisenetz ist nicht symmetrisch belastet;
- Einschaltströme wirken auf das Einspeisenetz infolge des Ein- und Ausschaltens größerer Leistungen;
- die Genauigkeit der Temperaturregelung wird durch die Schalthysterese beeinträchtigt. Eine geringere Schalthysterese zur Erzielung einer höheren Temperaturgenauigkeit verursacht mehr Schaltspiele der Schaltgeräte pro Zeiteinheit wobei die Anzahl der Schaltspiele pro Zeiteinheit der Schaltgeräte jedoch begrenzt ist;
- es besteht keine Möglichkeit, eine durchgehende gleichmäßige Erwärmung des Bolzens durch das Anpassen der Leistungsverteilung im Einsatz über Frequenzänderung durchzuführen;
- beim Aufheizen sind die radialen Temperaturgradienten im Bolzen immer am größten.

[0009] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, diese Ungenauigkeiten und Schwierigkeiten bei der induktiven Blockerwärmung zu vermeiden mit dem Ziel einer präzisen Gestaltung des Temperaturfeldes im Bolzen für eine möglichst gleichmäßige und energiesparende radiale und axiale Verteilung der Temperatur im Bolzen und damit für eine höhere Temperaturgenauigkeit und eine bessere Wiederholbarkeit des gewünschten Temperaturprofils unter Berücksichtigung der zulässigen Temperaturgradienten im Bolzen, ferner für eine möglichst schnelle und effiziente Erwärmung bei einem geringen Energieverbrauch unter Verzicht auf eine Temperaturmessung während der Erwärmungsphase. Die Temperatur soll erst nach der Erwärmung kontrolliert werden.

[0010] Diese Aufgabe wird mit einer Vorrichtung der gattungsgemäßen Art gemäß der Erfindung dadurch gelöst, daß die Blockerwärmungsspule aus mehreren hinsichtlich Frequenz und Phase des induktiven Feldes synchron geregelten Zonen besteht, und daß für die Stromeinspeisung zu jeder Zone der Blockerwärmungsspule ein Umrichter mit variabler Frequenz und modularem Aufbau vorgesehen ist, der aus mehreren leistungsmäßig in sich geschlossenen Einheiten mit DS-Netzeinspeisung und Synchronisation von Phase und Frequenz der Ausgangsspannung besteht.

[0011] Besonders vorteilhafte Weiterbildungen einer derartigen Vorrichtung sind in den Ansprüchen 2 bis 7 gekennzeichnet, während die Ansprüche 8 und 9 auf ein Verfahren zur induktiven Blockerwärmung mit einer derartigen Vorrichtung gerichtet sind.

[0012] Die induktive Blockerwärmungsanlage ist mit mehreren Zonen Z1 bis Zn ausgebildet. Sie umfaßt eine mehr-

zonige und mehrlagige Blockerwärmungsspule in wassergekühlter Ausführung und daran angeschlossene Kompensations-Kondensatoren. In jeder Zone befindet sich eine Temperaturmeßvorrichtung, und zwar pneumatisch betätigte Meßspitzen oder ein optisches Pyrometer T1 bis Tn entsprechend der Anzahl der n-Zonen (Fig. 2).

[0013] Ferner ein Umrichter in modularer Bauweise. Alle Umrichtermodule M1 bis Mn bilden leistungsmäßig in sich geschlossene Einheiten. Gemeinsam für die Module ist die DS-Netzeinspeisung und Synchronisation der Phase und Frequenz der Ausgangsspannung.

[0014] Die Steuerung erfolgt auf SPS-Basis mit einem Prozeß-Visualisierungssystem, bei dem das Regelverhalten der Umrichtermodule an Hand eines mathematischen Algorithmus implementiert ist.

[0015] Im folgenden sei das Regelverhalten der Umrichtermodule kurz beschrieben:

[0016] Die Leistung der Zonen Z1 bis Zn der Blockerwärmungsspule wird an Hand der zugeordneten gemessenen Zonentemperaturen geregelt. Für die Leistungsregelung werden die Materialwerte (und deren Temperaturabhängigkeit), die Geometrie des Bolzens und die Energieaufnahmefähigkeit des Bolzens (dP/dt) einbezogen. Ziel der Regelung ist das Erreichen eines vorgegebenen Temperaturprofils (im Toleranzbereich) in kürzester Erwärmungszeit, wobei dieses Kriterium gleichzeitig den maximalen Wirkungsgrad der Erwärmung bestimmt.

[0017] Um die vorstehend genannte Zielfunktion zu realisieren, wird die Steuerung die optimale Frequenz für den Betrieb der mehrlagigen induktiven Blockerwärmungsspule ermitteln. Die Grenzwerte für die temperaturabhängigen Temperaturgradienten im Bolzen (Eingabe) limitieren den zeitlichen Verlauf der gemessenen Temperatur an der Bolzenoberfläche. Eine Rückmeldung über die tatsächlichen Temperaturgradienten liefert das zeitliche Verhalten dP/dt pro Umrichtermodul (Energieaufnahmefähigkeit des Bolzens). Die Information über die tatsächlichen Temperaturgradienten im Bolzen und die Temperatur an der Oberfläche des Bolzens lassen das Temperaturfeld im Bolzen bestimmen.

[0018] Das Verfahren gilt in Verbindung mit mehrlagigen Blockerwärmungsspulen und einem Umrichter.

[0019] Zur induktiven Blockerwärmung dient eine induktive Blockerwärmungsanlage für runde Bolzen aus Kupfer, Aluminium und deren Legierungen sowie ferritische und austenitische Werkstoffe größerer Durchmesser.

1. Die Stromeinspeisung erfolgt mittels eines Umrichters.

- Der Umrichter hat einen modularen Aufbau.
- Die Module sind synchronisiert (Frequenz und Phase des Feldes).
- Die Frequenz ist variabel.
- Die Ausgangsgrößen des Umrichters (Spannung, Strom) sind sinusförmig.
- Die Belastung des Stromnetzes ist symmetrisch, unabhängig von der Anzahl der zugeschalteten Zonen der Blockerwärmungsspule.
- Die Geräuschentwicklung in der Anlage ist durch einen speziellen Steueralgorithmus der Leistungselektronik reduziert.

2. Die Blockerwärmungsspule in einer mehrlagigen Ausführung besteht aus mehreren Zonen. Die einzelnen Zonen sind leistungsmäßig unabhängig voneinander mit Energie versorgt, nämlich einzeln über entsprechende Umrichtermodule. Die Stromeinspeisung aller Zonen ist in Frequenz und Phase des erzeugten Feldes synchronisiert.

[0020] Die Frequenz der Einspeisespannung (des Stromes) ist in einem weiten Bereich variabel und wird während der Erwärmung des Bolzens geregelt. Die Regelung der Leistung der einzelnen Zonen der Blockerwärmungsspule beruht auf einem mathematischen Modell, das das Gewicht, die Materialeigenschaften, die Temperatur an der Oberfläche des Bolzens und den zeitlichen Verlauf dieser Temperatur berücksichtigt. Hierdurch werden die folgenden Merkmale der Erwärmung erreicht:

- Ein Verfahren zur schnellen induktiven Erwärmung der Bolzen wird mit einer guten gleichmäßigen Durchwärmung kombiniert.
- Es ergeben sich Energieeinsparungen durch die Anpassung der Frequenz des Stromes an den optimalen Wert in Abhängigkeit von dem Bolzendurchmesser, der Legierung des Bolzens und der Temperatur, und zwar unter Minimierung der Spulenverluste sowie Optimierung der Verteilung der Energiequellen im Bolzen.
- Berücksichtigung der thermisch bedingten mechanischen Spannungen in Bolzen aus Sonderlegierungen bei kürzesten Erwärmungszeiten.

[0021] Weitere Einzelheiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der folgenden Darstellung von schematischen Ausführungsbeispielen in der Zeichnung. Es zeigen

Fig 1. den Leistungsteil und den Steuerungsaufbau einer induktiven Blockerwärmungsanlage mit Umrichtereinspeisung nach der Erfindung,

Fig. 2 eine Anordnung der Temperaturmeßstellen in einer derartigen Blockerwärmungsanlage mit einer graphischer Darstellung der angestrebten Temperaturprofile,

Fig. 3 die elektrische Schaltung eines einzelnen Umrichtermoduls von Fig. 1 und 2 und den Anschluss einer Teilspule der Blockerwärmungsanlage,

Fig. 4 ein Temperatur-Zeit-Diagramm einer bekannten Blockerwärmungsanlage mit 2-Punkt-Regelung und Thyristorsteller (EIN/AUS mit maximaler Leistung),

Fig. 5 einen zu erwärmenden Block in Stirnansicht mit den relevanten Temperatur-Messbereichen,

Fig. 6 den Temperaturverlauf beim Betrieb einer erfindungsgemäßen Blockerwärmungsanlage und

Fig. 7 exemplarisch eine Leistungskurve beim Betrieb einer solchen Anlage mit stetiger Leistungsregelung mit Sollwerten von 0 bis 100%, die stufenlos steuerbar sind.

[0022] Der in Fig. 1 gezeigte Leistungsteil und der Steuerungsaufbau einer induktiven Blockerwärmungsanlage 1 besteht aus einem dreiphasigen Umrichter 2 in modularem Aufbau, der an das Drehstromnetz angeschlossen ist. Der Umrichter 2 seinerseits besteht aus einem Einspeisemodul 3 mit Netzanschlüssen L1, L2, L3 und mehreren Umrichtermodulen M1 bis Mn. Das Einspeisemodul 3 beinhaltet einen Leistungsschalter und eine Steuerungseinheit, die die Arbeit der einzelnen Umrichtermodule M1 bis Mn synchronisiert. Jedes Umrichtermodul M1 bis Mn bildet eine in sich geschlossene Einheit, bestehend aus einem Netzfilter (optional), einem Gleichrichter, einem Zwischenkreis (Glättungsdrossel und DC-Kondensatorbatterie), einem Wechselrichter (auf Basis einer Halb- oder Vollbrücke) und einer Umrichtersteuerung.

[0023] An die Umrichtermodule M1 bis Mn ist eine Blockerwärmungsspule 4 angeschlossen, die aus mehreren, beispielsweise drei, vier oder mehr nacheinander angeordneten Zonen Z1, Z2, Z3 bis Zn besteht. Jede einzelne Zone Z1 bis Zn der Blockerwärmungsspule ist an ein zugehöriges Umrichtermodul M1 bis Mn angeschlossen. Die einzelnen Umrichtermodule M1 bis Mn sind so synchronisiert, daß das unter jeder Zone Z1, Z2, Z3 bis Zn erzeugte Feld in Phase mit den benachbarten Feldern ist (Synchronisation der Umrichtermodule). Die Besonderheit liegt in der Steuerung der einzelnen Umrichtermodule, die getrennte Einheiten bilden und so synchronisiert sind, dass das erzeugte Induktionsfeld in jeder Spulenzone keine Phasenverschiebung zu den Induktionsfeldern der benachbarten Zonen hat, und zwar völlig unabhängig von der Leistung des Umrichtermoduls.

[0024] Eine den Umrichtermodulen M1 bis Mn übergeordnete Temperatursteuerung der Anlage mit Temperaturmeßstellen an jeder Zone Z1, Z2 bis Zn der Blockerwärmungsspule 4 steuert die einzelnen Umrichtermodule oder

[0025] Spulenzonen so an, dass das gewünschte Temperaturprofil, durch die Werte T1..Tn dargestellt, zu einem bestimmten Zeitpunkt, nämlich dem Abruf des Bolzens 5 zur Presse, in dem erwärmten Bolzen vorhanden ist.

[0026] Um diesen Zustand zu erreichen, werden über einen Regler 6 in Fig. 1 nach einem mathematischen Modell zur Steuerung der Anlage folgende Indikatoren in die Steuerungseinheit 7 eingegeben:

A - Informationen über das Einsatzgut (physikalische Eigenschaften des Materials, Geometrie des Einsatzgutes),

B - Randbedingungen des Erwärmungsprozesses, nämlich maximale Leistungen der einzelnen Zonen der Blockerwärmungsspule, Temperaturtoleranzen des Temperaturfeldes im Bolzen, Begrenzungen des Frequenzbereiches der Umrichtermodule, zulässige Temperaturgradienten im Einsatz sowie Wirkungsgrad der Umrichtermodule je nach der Anzahl von geschalteten Zonen und deren Leistungen,

C - Zielfunktionen, nämlich minimale Erwärmungszeit des Bolzens, Temperaturfeld im Toleranzbereich und minimaler Energieverbrauch.

[0027] In Fig. 2 ist eine Anordnung der Temperaturmeßstellen in einer derartigen Blockerwärmungsanlage 1 mit einer graphischen Darstellung der angestrebten Temperaturprofile gezeigt. Jeder Zone Z1, Z2 bis Zn der Blockerwärmungsspule 4 ist jeweils eine Temperaturmeßstelle zur Ermittlung der Temperaturwerte T1, T2 bis Tn zugeordnet. Im unteren Teil der Darstellung ist der gleichmäßige Temperaturverlauf über die Länge des Bolzens 5 vom Wert TB1 am Anfang des Bolzens bis zum Wert TB2 am Bolzenende gezeigt.

[0028] Fig. 3 zeigt die elektrische Schaltung eines einzelnen Umrichtermoduls M1 bis Mn von Fig. 1 und 2 und den Anschluss einer Teilspule der Blockerwärmungsanlage, wobei jedes Umrichtermodul über eine eigene Steuerung verfügt, so dass hier ein redundantes System gegeben ist.

[0029] Ein Umrichtermodul M1 bis Mn bildet eine in sich geschlossene Einheit und besteht aus einem Gleichrichter 11, einem Gleichstrom-Zwischenkreis 12 und einem Wechselrichter 13. Der Gleichrichter 11 ist auf Basis einer 3-phasigen Vollbrücke aufgebaut. Die elektrische Energie, die vom Drehstromnetz mit den Netzanschlüssen L1, L2, L3 bezogen wird, wird damit auf eine Energie des Gleichstromes im DC-Zwischenkreis 12 umgewandelt. Diese Energie ist in einer DC-Kondensatorbatterie 14 gespeichert. Eine DC-Zwischenkreisdrossel 15 minimiert die gegenseitige Beeinflussung des Wechselrichters 13 und des Gleichrichters 11. Der Wechselrichter 11, als Transistor-Vollbrücke gestaltet, wandelt die DC-Energie in eine Wechselspannungs-Energie mit der verlangten Frequenz und Spannung (Leistung) um.

[0030] Fig. 4 ist ein Temperatur-Zeit-Diagramm einer bekannten Blockerwärmungsanlage mit 2-Punkt-Regelung und Thyristorstellers (EIN/AUS mit maximaler Leistung). Aus dem Verlauf der Temperaturkurven an der Oberfläche und im Kern des Einsatzgutes und der daraus resultierenden radialen Temperaturdifferenz wird deutlich, daß die 2-Punkt-Regelung sich durch das ständige Ein- und Ausschalten der vollen Leistung negativ auf die Genauigkeit der Temperatur (Temperaturhysterese) des Bolzens, auswirkt. Die Temperaturdifferenz zwischen dem Bolzenkern und dessen Oberfläche ist dabei nur schwer zu beeinflussen. Dies gilt auch für die Beeinflussung der radialen Temperaturgradienten im Bolzen, die aufgrund des konstanten Leistungswertes ebenso schwer zu realisieren ist.

[0031] Fig. 5 zeigt einen zu erwärmenden Block in Stirnansicht mit den relevanten Temperatur-Meßbereichen im Bolzenkern und an der Oberfläche des Bolzens 5.

[0032] Fig. 6 zeigt den Temperaturverlauf beim Betrieb einer erfindungsgemäßen Blockerwärmungsanlage. Durch den gleichmäßigen Verlauf der Temperaturkurven an der Oberfläche und im Kern des Bolzens und die daraus resultierende radiale Temperaturdifferenz wird deutlich, daß hiermit in überraschender Weise eine besonders gleichmäßige und energiesparende radiale und axiale Temperaturverteilung im Bolzen und damit eine insgesamt höhere Temperaturgenauigkeit bei einer schnelleren und effizienteren Erwärmung mit geringerem Energieverbrauch erreicht werden kann.

[0033] Durch die Gestaltung der Leistungskurve wie auf Fig. 7 kann die Temperaturdifferenz zwischen Bolzenkern und Bolzenoberfläche minimiert werden. Die Optimierung kann die weiter oben unter "C" aufgeführten Randbedingungen berücksichtigen.

[0034] Fig. 7 zeigt exemplarisch eine Leistungskurve beim Betrieb einer solchen Anlage mit stetiger Leistungsregelung mit Sollwerten 0..100%, welche stufenlos steuerbar sind.

[0035] Maßgeblich für den gewünschten Erfolg einer derartigen Blockerwärmungsanlage sind somit die nachstehend aufgeführten konstruktiven Einzelheiten und deren Zusammenwirken:

- Der modulare Aufbau des Umrichters. Die Umrichtermodule bilden getrennte Einheiten, die synchronisiert sind.
- Die Blockerwärmungsspule ist in mehrere Zonen aufgeteilt. Jede Zone ist von einem Umrichtermodul eingespeist. Das unter jeder Zone erzeugte Feld ist in Phase mit den benachbarten Feldern (Synchronisation der Umrichtermodule).
- Die Gestaltung einer Leistungs-Zeit Kurve für jedes Umrichtermodul ermöglicht wiederholbare Erwärmungsergebnisse (unter Berücksichtigung der Randbedingungen) ohne Temperaturmessung während der Erwärmungsphase.

Liste der Bezugszeichen

[0036]

- 1 Blockerwärmungsanlage
- 2 Umrichter
- 3 Einspeisemodul

L1, L2, L3 Netzanschlüsse
M1, M2, M3, Mi, Mn Umrichtermodule

- 4 Blockerwärmungsspule

Z1, Z2, Z3 bis Zn Zonen der Blockerwärmungsspule
T1, T2, T3, Ti, Tn Temperaturwerte an den Temperaturmeßstellen

- 5 Bolzen
- 6 Regler
- 7 Steuerungseinheit

- 11 Gleichrichter
- 12 Gleichstrom-Zwischenkreis
- 13 Wechselrichter
- 14 DC-Kondensatorbatterie
- 5 15 DC-Zwischenkreisdrossel

Patentansprüche

- 10 **1.** Vorrichtung zur induktiven Blockerwärmung mit einer ein- oder mehrlagigen Blockerwärmungsspule (4) für runde Bolzen (5), insbesondere aus Kupfer, Aluminium und deren Legierungen sowie ferritische und austenitische Werkstoffe größerer Durchmesser, wobei die Blockerwärmungsspule (4) aus einer oder mehreren nacheinander angeordneten, galvanisch getrennten Zonen besteht, die über eine elektrische Schalteinrichtung und eine Steuereinheit mit elektrischer Energie aus dem Drehstromnetz versorgt werden, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Blockerwärmungsspule (4) aus mehreren hinsichtlich Frequenz und Phase des induktiven Feldes synchron geregelten Zonen (Z1, Z2 bis Zn) besteht, und daß für die Stromeinspeisung zu jeder Zone (Z1 bis Zn) der Blockerwärmungsspule (4) ein Umrichter (2) mit variabler Frequenz und modularem Aufbau vorgesehen ist, der aus mehreren leistungsmäßig in sich geschlossenen Einheiten mit DS-Netzeinspeisung und Synchronisation von Phase und Frequenz der Ausgangsspannung besteht.
- 15
- 20 **2.** Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ausgangsgrößen des Umrichters (2), nämlich Spannung und Strom, sinusförmig sind.
- 25 **3.** Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Steuerung der Umrichtermodule (M1 bis Mn) auf der Basis einer speicherprogrammierbaren Steuerung mit einem Prozeßvisualisierungssystem erfolgt, wobei das Regelverhalten der Umrichtermodule (M1 bis Mn) anhand eines mathematischen Algorithmus implementiert ist.
- 30 **4.** Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, daß** in jeder Zone der Blockerwärmungsspule (4) eine Temperaturmeßeinrichtung für die Bolzentemperatur angeordnet ist, die mit der Steuereinheit (7) für die Umrichtermodule (M1 bis Mn) verbunden ist.
- 35 **5.** Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, daß** jedes Umrichtermodul (M1 bis Mn) aus einem Gleichrichter (11), einem Gleichstrom-Zwischenkreis (12) und einem Wechselrichter (13) besteht.
- 40 **6.** Vorrichtung nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Gleichrichter (11) auf Basis einer 3-phasigen Vollbrücke aufgebaut und der Wechselrichter (13) als Transistor-Vollbrücke ausgebildet ist.
- 45 **7.** Vorrichtung nach Anspruch 5 und 6, **dadurch gekennzeichnet, daß** eine DC-Zwischenkreisdrossel (15) zur Minimierung der gegenseitigen Beeinflussung des Wechselrichters (13) und des Gleichrichters (11) vorgesehen ist.
- 50 **8.** Verfahren zur induktiven Blockerwärmung mit einer Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Stromeinspeisung für die Blockerwärmungsspule (4) mittels eines Umrichters (2) mit einem modularen Aufbau, dessen Module hinsichtlich Frequenz und Phase des Feldes synchronisiert sind, mit variabler Frequenz erfolgt und die Ausgangsgrößen des Umrichters (2), nämlich Spannung und Strom, sinusförmig sind, und daß die Leistung der einzelnen Zonen (Z1, Z2, Z3 bis Zn) der Blockerwärmungsspule (4) anhand von gemessenen Zonentemperaturen nach einem mathematischen Modell geregelt wird, welches das Gewicht, die Materialeigenschaften, die Temperatur an der Oberfläche des Bolzens (5) und den zeitlichen Verlauf dieser Temperatur berücksichtigt und ein vorgegebenes Temperaturprofil in kürzester Erwärmungszeit bei einem maximalen Wirkungsgrad der Erwärmung erzeugt.
- 55 **9.** Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, daß** für die Leistungsregelung der Blockerwärmungsspule (4) die Materialwerte des Bolzens (5) und deren Temperaturabhängigkeit sowie die Geometrie und Energieaufnahme-fähigkeit des Bolzens (dP/dt) einbezogen werden.

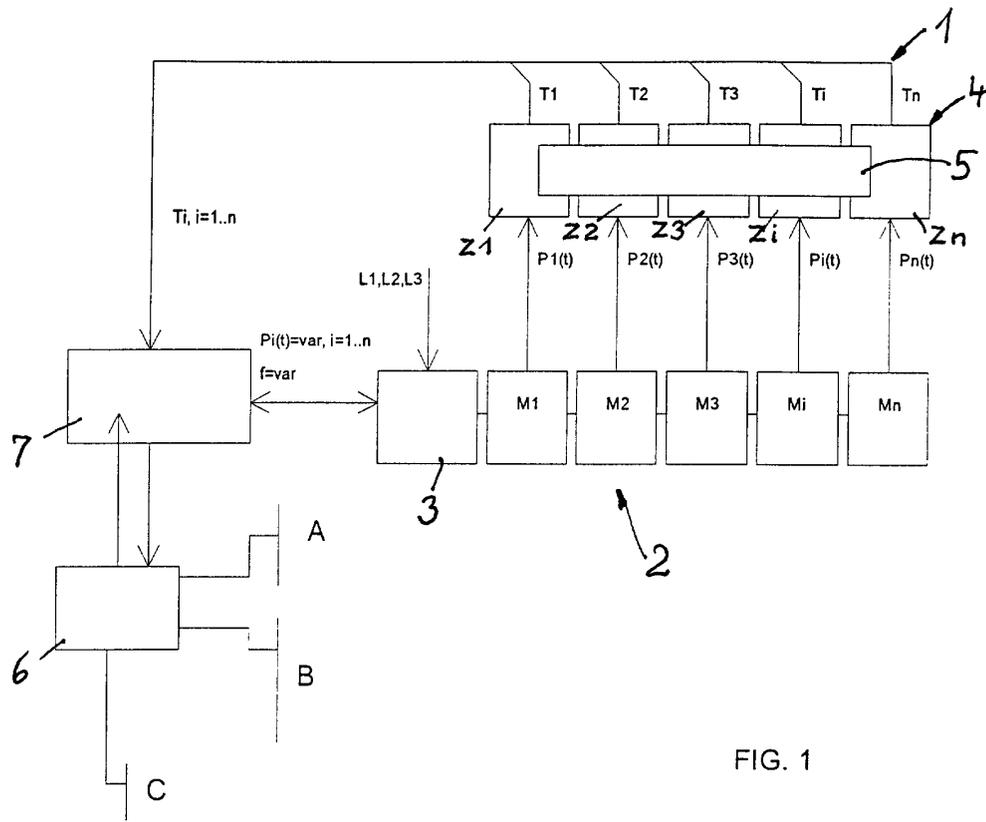


FIG. 1

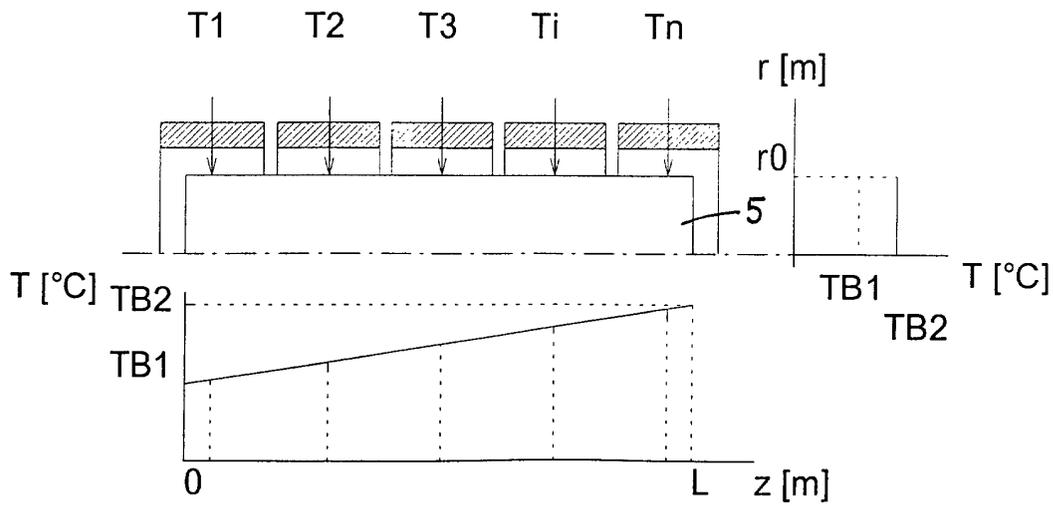


FIG. 2

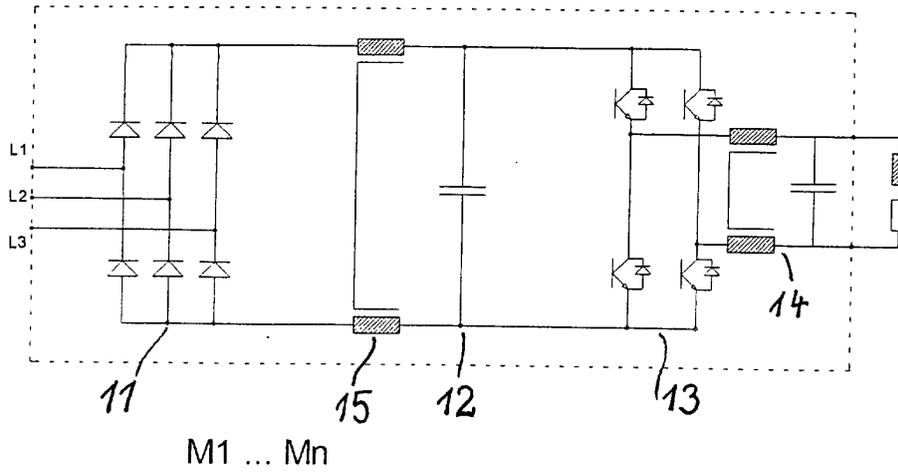


FIG. 3

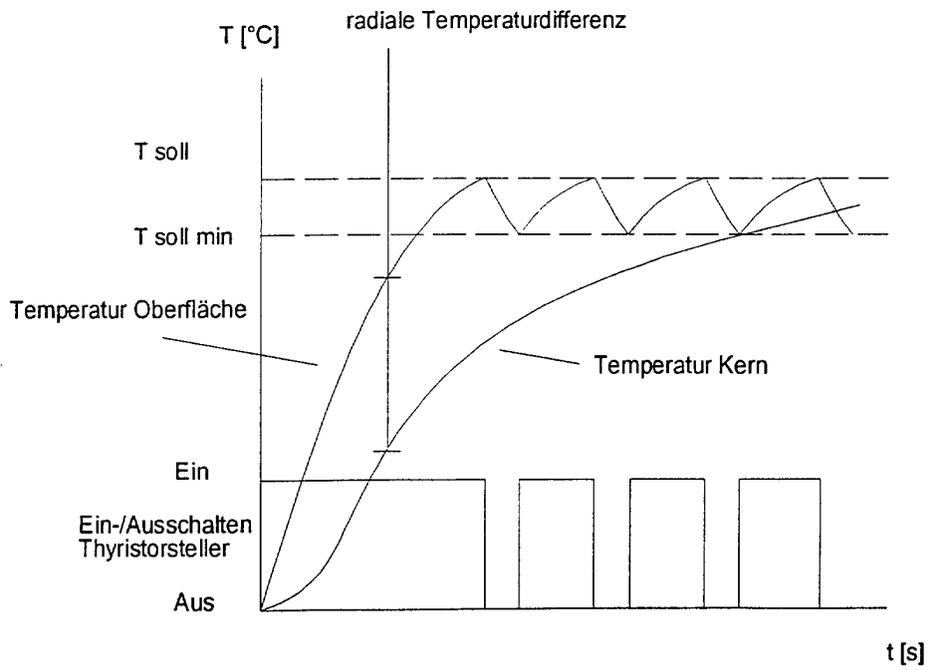


FIG. 4

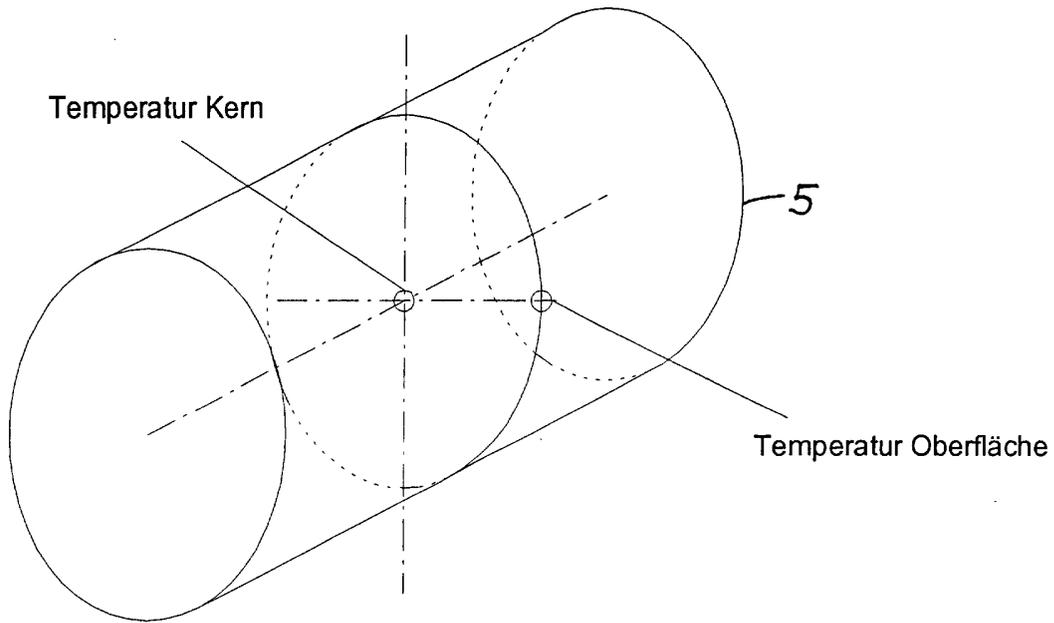


FIG. 5

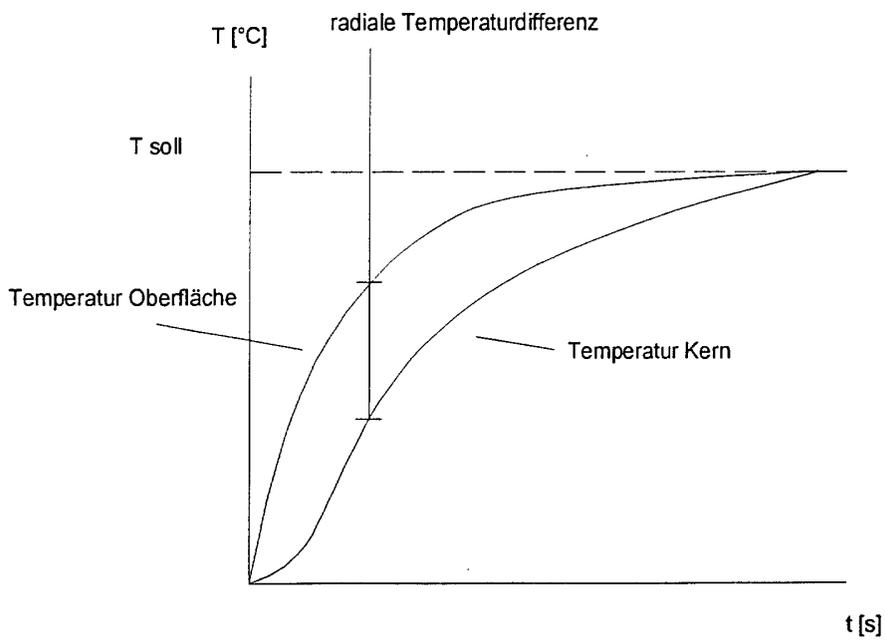


FIG. 6

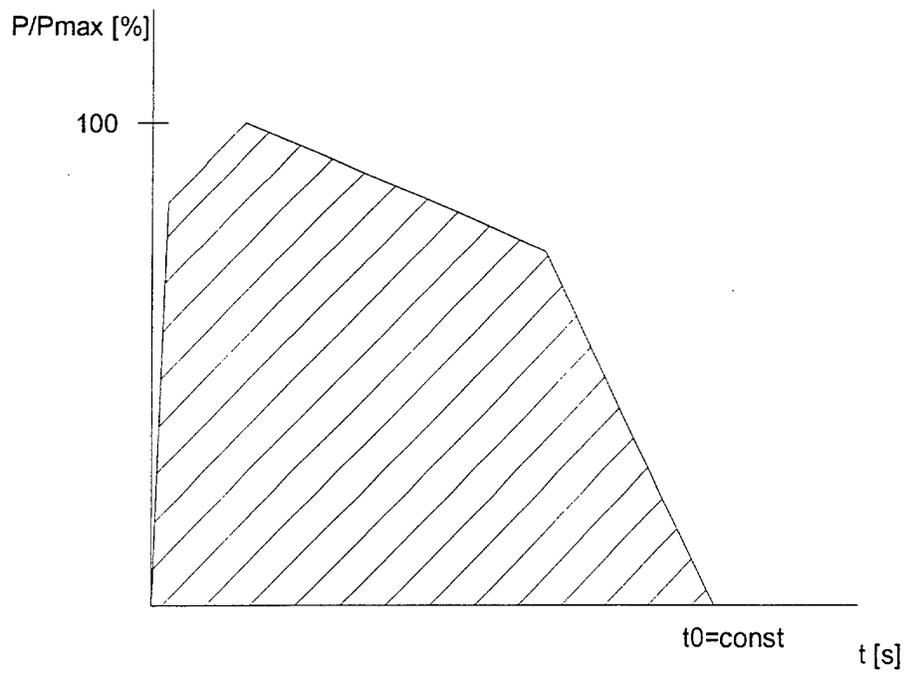


FIG. 7