



(11) **EP 2 311 996 A2**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
20.04.2011 Patentblatt 2011/16

(51) Int Cl.:
C21D 1/34 (2006.01) **C22F 1/04** (2006.01)
C22F 1/06 (2006.01) **B22D 17/00** (2006.01)
C21D 1/09 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **10013748.8**

(22) Anmeldetag: **18.10.2010**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME

(30) Priorität: **19.10.2009 DE 102009049785**
24.02.2010 DE 102010009118

(71) Anmelder:
• **Belte AG**
33129 Delbrück (DE)
• **Audi AG**
85045 Ingolstadt (DE)

(72) Erfinder:
• **Belte, Markus**
33098 Paderborn (DE)
• **Dragulin, Dan Dr.**
33161 Hövelhof (DE)
• **Hummel, Marc**
74363 Güglingen (DE)
• **Elend, Lutz-Eike Dr,**
74229 Oedheim (DE)
• **Erlwein, Mark**
74861 Neudenu-Herbolzheim (DE)

(74) Vertreter: **Flaccus, Rolf-Dieter**
Flaccus · Müller-Wolff
Patentanwälte
Bussardweg 10
50389 Wesseling (DE)

(54) **Verfahren und Vorrichtung zur Wärmebehandlung von Gussteilen mittels Infrarotstrahlen**

(57) Ein Verfahren zur Wärmebehandlung von Gussteilen, insbesondere von Leichtmetall-Druckgussteilen durch Lösungsglühen, Abkühlen und Auslagern, wobei die Gussteile direkt nach der Entnahme aus der Form, oder direkt in der Form vor der Entnahme mit-

tels Infrarotstrahlen für ein bis fünf Minuten lösungsgelüht, danach für zwei bis fünf Minuten abgeschreckt und warm ausgelagert werden.

EP 2 311 996 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Wärmebehandlung von Gussteilen, insbesondere von Leichtmetall-Druckgussteilen durch Lösungsglühen, Abkühlen und Auslagern, wobei die Gussteile mittels Infrarotstrahlen für vorzugsweise ein bis fünf Minuten lösungsgeglüht, danach für vorzugsweise zwei bis fünf Minuten abgeschreckt und warm ausgelagert werden.

[0002] Üblicherweise werden die Gussteile nach dem Gießen der Form entnommen, abgekühlt und gegebenenfalls nach einer mechanischen Bearbeitung in einer separaten Anlage/Ofen lösungsgeglüht, luftabgeschreckt und warm ausgelagert. Üblicherweise werden hierfür elektrisch oder gasbeheizte Öfen verwendet. Typische Aufheizzeiten der Bauteile auf die Lösungsglühtemperatur liegen bei ca. 10 bis 20 Minuten.

[0003] Je nach Temperaturhöhe und Behandlungsdauer kann mit einer derartigen Wärmebehandlung die Festigkeit von Gusslegierungen, insbesondere von aushärtbaren Leichtmetall-Druckgusslegierungen wesentlich beeinflusst werden. FIG. 1 zeigt die Abhängigkeit der Festigkeitseigenschaften einer Gusslegierung vom Typ AlCuMg von der maximalen Lösungsglühtemperatur, wobei sowohl für die Zugfestigkeit R_m und R_p 0,2 als auch für die Dehnung A_5 nach einem stetigen Anstieg ein plötzlicher, gravierender Abfall der Maximalwerte feststellbar ist.

[0004] Die mit dem Lösungsglühprozess verbundenen metallkundlichen Vorgänge sind je nach Legierungstyp unterschiedlich. So kann bei bestimmten Gusslegierungen in metallischen Dauerformen die Abkühlungsgeschwindigkeit ausreichen, um schon im Gusszustand einen Teil der aushärtenden Bestandteile überschüssig gelöst zu halten und somit einen gewissen Aushärtungseffekt zu bewirken. Je nach Struktur der Bauteile sind aber die Abkühlungsgeschwindigkeiten innerhalb des Gussteiles unterschiedlich, sodass auch die Festigkeitswerte unbeabsichtigt differieren können.

[0005] Bei bestimmten Legierungen wie z.B. einer Aluminiumlegierung vom Typ AlCuMg müssen die Bedingungen der Lösungsglühbehandlung genau eingehalten werden, damit einerseits der Aushärtungseffekt voll ausgenutzt wird und andererseits noch kein Anschmelzen auftreten kann, das das Werkstück völlig unbrauchbar machen würde. Die Lösungsglühdauer ist ein weiterer Parameter der Wärmebehandlung, der ebenfalls genau auf den Herstellungsprozess abgestimmt werden muss. Dies ist bei der üblichen Wärmebehandlung besonders schwierig, da nur die effektive Glühzeit des Werkstücks bei der vorgeschriebenen Lösungsglühtemperatur (Metalltemperatur), also ohne Anwärmzeit berücksichtigt werden muss.

[0006] Beim Abschreckprozess kommt es wiederum darauf an, dass das Temperaturgebiet zwischen Lösungsglühtemperatur und etwa 200°C möglichst rasch durchlaufen wird, um ein vorzeitiges Ausscheiden der überschüssig gelösten Bestandteile der Legierung zu vermeiden. Unter Umständen ist auch der Transport eines Gussteiles nach dem Lösungsglühen bei der Entnahme aus dem Glühofen kritisch, da jede Verzögerung vor dem Abschrecken die Festigkeit und auch die Korrosionsbeständigkeit ungünstig beeinflussen kann. Dies gilt insbesondere für die bei der herkömmlichen Wärmebehandlung von Großserienteilen übliche chargenweise Behandlung in Mehrkammeröfen.

[0007] Ausgehend von diesem Stand der Technik wollen die Erfinder ein Verfahren der eingangs genannten Art für die Anwendung bei der Wärmebehandlung von im Druckgussverfahren hergestellten Großserienteilen entwickeln, wobei folgende Eigenschaften verbessert bzw. erstmalig ermöglicht werden sollen:

- Verbesserung der Energiebilanz
- Verringerung des Verzugs aufgrund von Wärmebehandlungsmaßnahmen (Verbesserung der Maßhaltigkeit)
- Gezieltes, punktuell Erhitzen im Bereich hochbeanspruchter Bauteile
- Verbesserung des Emissionsverhaltens
- Bessere Abstimmung der Taktzeiten beim Lösungsglühen und Abschrecken
- Bessere Überwachung der Glühtemperaturen und Glühzeiten
- Größere Flexibilität für die mechanische Bearbeitung während der Wärmebehandlung

[0008] Die vorbeschriebenen Verbesserungen und die sich daraus ergebende Aufgabenstellung werden erfindungsgemäß mit den in den Patentansprüchen 1 bis 9 angegebenen Merkmalen erreicht bzw. gelöst.

[0009] Das erfindungsgemäße Verfahren zur Wärmebehandlung von Gussteilen, insbesondere von Leichtmetall-Druckgussteilen mit den Schritten Lösungsglühen, Abkühlen und Auslagern zeichnet sich dadurch aus, dass die Gussteile mittels Infrarotstrahlen für einen Zeitraum zwischen einer Sekunde und einer Stunde, vorzugsweise ein bis fünf Minuten lösungsgeglüht werden, danach für eine Sekunde bis eine Stunde, vorzugsweise zwei bis fünf Minuten abgeschreckt und warm ausgelagert werden.

[0010] Die Abschreckung und Auslagerung erfolgt dabei bevorzugt in einem einzigen Schritt oder aufeinander folgenden Schritten.

[0011] Die bevorzugt angewandten Verfahrensschritte sind ein Druckgießprozess in einer Druckgussform, eine Entnahme des Druckgussteiles aus der Druckgussform, Lösungsglühen des Druckgussteiles, vorzugsweise in einer Lösungsglühzone und eine Abschreckung, vorzugsweise nach Auslagerung in einer Abschreck- und Auslagerungszone.

[0012] Die Entnahme des Gussteils kann dabei sowohl vor als auch nach dem Lösungsglühen erfolgen.

[0013] Dabei ist bevorzugt vor oder nach dem Ort der Auslagerung eine mechanische Bearbeitungszone angeordnet, in der eine Stanzung oder ein Kalibrierschritt erfolgt.

[0014] Eine besonders gute Energiebilanz dieses Verfahrens wird erreicht, wenn die Verfahrensschritte wie in dem Verfahrensschema zum Wärmebehandeln von Gussteilen nach FIG. 2a durchgeführt werden.

5 **[0015]** In diesem bevorzugten Verfahren wird zunächst ein Form- oder Druckguss in einer Form, die bevorzugt geteilt ist, durchgeführt, und diese Form geöffnet.

[0016] Das Gussteil wird darauf hin der Form entnommen. Danach wird das Gussteil mit Infrarotstrahlen lösungsgeglüht, vorzugsweise für 1 bis 5 Minuten und dann, vorzugsweise für 2 bis 5 Minuten, abgeschreckt. Zum Schluss wird das Gussteil warm ausgelagert.

10 **[0017]** Ein weiteres bevorzugtes Verfahren verbessert die Energiebilanz des Verfahrens weiter. Dazu müssen die Verfahrensschritte wie in dem Verfahrensschema zum Wärmebehandeln von Gussteilen nach FIG. 2b durchgeführt werden.

[0018] In diesem besonders bevorzugten Verfahren wird ebenfalls zunächst ein Form- oder Druckguss in einer Form, die bevorzugt geteilt ist, durchgeführt, und diese Form geöffnet.

15 **[0019]** Das Gussteil wird darauf hin nicht der Form entnommen, sondern direkt mit Infrarotstrahlen lösungsgeglüht, vorzugsweise für 1 bis 5 Minuten. Danach wird das Gussteil während des Sprühens der Form abgeschreckt und erst dann entnommen. Zum Schluss wird das Gussteil warm ausgelagert.

[0020] In einem bevorzugten Verfahren wird als Legierung eine Aluminium- oder Magnesium-Druckgusslegierung verwendet, und das Druckgussteil nach Entnahme aus der Form mittels Infrarotstrahlung lösungsgeglüht.

20 **[0021]** In einem weiteren bevorzugten Verfahren wird eine Infrarotstrahlung mit Wellenlängen im Bereich von 0,8 μm und 100 μm , vorzugsweise von 1 bis 3,5 μm , besonders bevorzugt von 2 μm bis 3,5 μm , verwendet. Dieser bevorzugte Bereich sollte insbesondere für ein Guss- oder Druckgussteil aus Aluminium oder einer Aluminiumlegierung verwendet werden.

25 **[0022]** Die Abschreckung der Guss- oder Druckgussteile nach dem Erhitzen auf Lösungsglühtemperatur geschieht vorzugsweise in Wasser, in einem Polymer oder an Luft.

[0023] Zur Erzeugung der Infrarotstrahlung kann eine IR-Quelle verwendet werden. Geeignete IR-Quellen sind dem Fachmann bekannt.

[0024] Oftmals bestehen diese Quellen aus einer Anzahl von flächig angeordneten Strahlern. Die Anzahl der aktiven Strahler wird in einer bevorzugten Ausführungsform auf die Dimensionen des Gussteils angepasst.

30 **[0025]** Falls notwendig kann das Gussteil von mehreren Seiten erhitzt werden.

[0026] In einem weiteren bevorzugten Verfahren erfolgt nach dem Abschrecken und vor der Auslagerung eine Stanzung der Druckgussteile im weichen Zustand.

35 **[0027]** Eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens einer Wärmebehandlung von Druckgussbauteilen enthält mindestens ein erstes Handhabungsgerät zur Entnahme des Druckgussteiles aus der Druckgussform, das vor einem Infrarotstrahler in die Lösungsglühzone schwenkbar ist. Die Glühtemperaturen sind dabei bevorzugt über berührungslos arbeitende Sensoren messbar, wobei der Infrarotstrahler nach Erreichen der Lösungstemperatur abschaltbar ist.

40 **[0028]** Das erste Handhabungsgerät schwenkt dabei das Druckgussteil aus der Lösungsglühzone in die Abschreckzone, während ein zweites Handhabungsgerät das nächste Druckgussteil aus der Druckgussform entnimmt und in die Lösungsglühzone des Infrarotstrahlers befördert.

[0029] Beispiele für das erfindungsgemäße Verfahren sind in den Abbildungen dargestellt. Es zeigen:

FIG. 1: Festigkeits- und Dehnungsverhalten bei einem konventionellen Prozess mit Stufenglühung und Einfachglühung

45 FIG. 2a: Verfahrensschema zum Wärmebehandeln von Gussteilen mit verbesserter Energiebilanz; schematisierter Verfahrensablauf als Blockdiagramm

FIG. 2b: Verfahrensschema zum Wärmebehandeln von Gussteilen mit verbesserter Energiebilanz; schematisierter Verfahrensablauf als Blockdiagramm

50 FIG. 3: Schematische Darstellung des IR Wärmetransfers; prinzipieller Aufbau einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens

[0030] Im Folgenden werden die Vorteile der Erfindung anhand eines Vergleiches bei der Energiebilanz erläutert. Hierbei sollen die verbrauchten Energien bei einem herkömmlichen Prozess im Vergleich zu denen bei einer Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens dargestellt werden.

55 **[0031]** Die verbrauchte Energie ist:

$$Q = \frac{1}{864 \cdot \eta} (Q_T + Q_u + Q_e) [kWh]$$

Q = die total verbrauchte Energie für den gesamten Prozess

Q_T = die Wärme (durch Radiation), die notwendig ist, um die Bauteiltemperatur auf die Temperatur T zu erhöhen

Q_u = die Wärme (durch Radiation), die notwendig ist, um die Temperatur der eventuellen Trennmittelreste auf der Bauteiloberfläche auf die Temperatur T zu erhöhen

Q_e = die Wärme (durch Radiation), die notwendig ist, um die Verdampfung der eventuellen Trennmittelreste auf der Bauteiloberfläche hervorzurufen

$$Q_T = \frac{G_s \cdot c_s (T - T_0)}{a_s} \quad , \quad Q_u = \frac{G_u \cdot c_u (T - T_0)}{a_u} \quad \text{und} \quad Q_e = \frac{G_u \cdot c_v}{a_u}$$

Wo:

η = Wirkungsgrad

G_s = Bauteilgewicht

C_s = Spezifische Wärme des Bauteiles

G_u = Gewicht der verdampften Flüssigkeit

C_u = Spezifische Wärme der Flüssigkeit

a_s = IR-Absorptionsfaktor des Bauteiles (IR = InfraRot)

a_u = IR-Absorptionsfaktor der Flüssigkeit

c_v = Verdampfungswärme der Flüssigkeit

[0032] Der Vergleich der Prozesseffizienz zwischen den herkömmlichen Methoden (Gas- und elektrische Beheizung) und der IR-Methode kann mit Hilfe der Wirkungsgradanalyse durchgeführt werden.

$$\eta = \frac{Q_N}{Q_P} \cdot 100[\%]$$

Wo:

η = Wirkungsgrad

Q_N = die Wärme, die notwendig ist, um die Charge zu erhitzen

Q_P = die gesamt produzierte Wärme

[0033] Sei die vereinfachte Betrachtung:

$$Q_P = Q_N + Q_{aux} + Q_{UV} + Q_{FL} + Q_X$$

[0034] Wo:

Q_N = die Wärme, die notwendig ist, um die Charge zu erhitzen

Q_{aux} = die Wärme, die notwendig ist, um die komplette Umgebung (Ofenraum, Gestell, elektrische Elemente usw.) zu erhitzen

Q_{UV} = der Wärmeverlust, der durch die unvollständige Gasverbrennung entsteht (im Falle einer Gasbeheizung)

Q_{FL} = der Wärmeverlust, der durch die Erhitzung der falschen Luft entsteht (im Falle einer Gasbeheizung)
 Q_X = der unvorhersehbare Wärmeverlust
 IR = Infrarotvariante
 H = herkömmliche Variante

[0035] Die IR-Strahlung wird ausschließlich auf das Bauteil fokussiert; es wird ausschließlich das Bauteil erhitzt.
 [0036] Daraus folgt:

$$(Q_N)_{IR} = (Q_N)_H$$

$$(Q_{aux})_{IR} \rightarrow 0$$

$$(Q_{UV})_{IR} = 0$$

$$(Q_{FL})_{IR} = 0$$

$$(Q_X)_{IR} \ll (Q_X)_H$$

und somit:

$$(Q_P)_{IR} < (Q_P)_H$$

[0037] Woraus sich ergibt:

$$\eta_{IR} > \eta_H$$

[0038] Praktische Versuche haben gezeigt, dass das erfindungsgemäße Verfahren bei Aluminiumteilen insbesondere mit einer Infrarotstrahlung angewendet werden kann, die im Wellenlängenbereich von 1 bis 3,5 μm liegt. Falls der Anteil von Flüssigkeit, zum Beispiel der Anteil von Trennmittelresten, auf der Bauteiloberfläche groß ist, sollte ein Wellenlängenbereich von 2 bis 3,5 μm bevorzugt angewendet werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Wärmebehandlung von Gussteilen, insbesondere von Leichtmetall-Druckgussteilen durch Lösungs-
 glühen, Abkühlen und Auslagern, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Gussteile aus der Form mittels Infrarotstrahlen lösungsgeglüht, danach abgeschreckt und warm ausgelagert werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach der Herstellung des Gussteils dieses der Form entnommen wird, danach mit Infrarotstrahlen, vorzugsweise für 1 bis 5 Minuten, lösungsgeglüht wird, dann, vorzugsweise für 2 bis 5 Minuten, abgeschreckt, und anschließend warm ausgelagert wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach der Herstellung des Gussteils dieses in der Form mit Infrarotstrahlen, vorzugsweise für 1 bis 5 Minuten, lösungsgeglüht wird, danach, vorzugsweise während des Sprühens der Form, abgeschreckt und erst dann entnommen und anschließend warm ausgelagert wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Legierung eine Aluminium- oder Magnesium-Druckgusslegierung verwendet wird und das Druckgussteil nach Entnahme aus der Form mittels Infrarotstrahlung lösungsgeglüht wird.

5. Verfahren nach Anspruch 1 oder 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** für ein Guss- oder Druckgussteil aus Aluminium oder einer Aluminiumlegierung eine Infrarotstrahlung mit Wellenlängen im Bereich von 1 bis 3,5 μm angewendet wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Wellenlänge im Bereich von 2 bis 3,5 μm angewendet wird.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Guss- oder Druckgussteile nach Erhitzen auf Lösungsglühtemperatur in Wasser, Polymer oder an Luft abgeschreckt werden.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach dem Abschrecken und vor der Auslagerung eine Stanzung im weichen Zustand der Druckgussteile erfolgt.
9. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens einer Wärmebehandlung von Druckgussbauteilen, bestehend aus einem Druckgießprozess in einer Druckgussform, der Entnahme des Druckgussteiles aus der Druckgussform, einem Lösungsglühen des Druckgussteiles in einer Lösungsglühzone und einer Auslagerung in einer Abschreck- und Auslagerungszone, wobei vor oder nach der Auslagerung eine mechanische Bearbeitungszone angeordnet ist, in der eine Stanzung oder ein Kalibrierschritt erfolgt, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorrichtung ein erstes Handhabungsgerät zur Entnahme des Druckgussteiles aus der Druckgussform aufweist, das vor einem Infrarotstrahler in die Lösungsglühzone schwenkbar ist, dass die Glühtemperaturen über berührungslos arbeitende Sensoren messbar sind, wobei der Infrarotstrahler nach Erreichen der Lösungstemperatur abschaltbar ist und dass das erste Handhabungsgerät das Druckgussteil aus der Lösungsglühzone in die Abschreckzone schwenkt, während ein zweites Handhabungsgerät das nächste Druckgussteil aus der Druckgussform entnimmt und in die Lösungsglühzone des Infrarotstrahlers befördert.

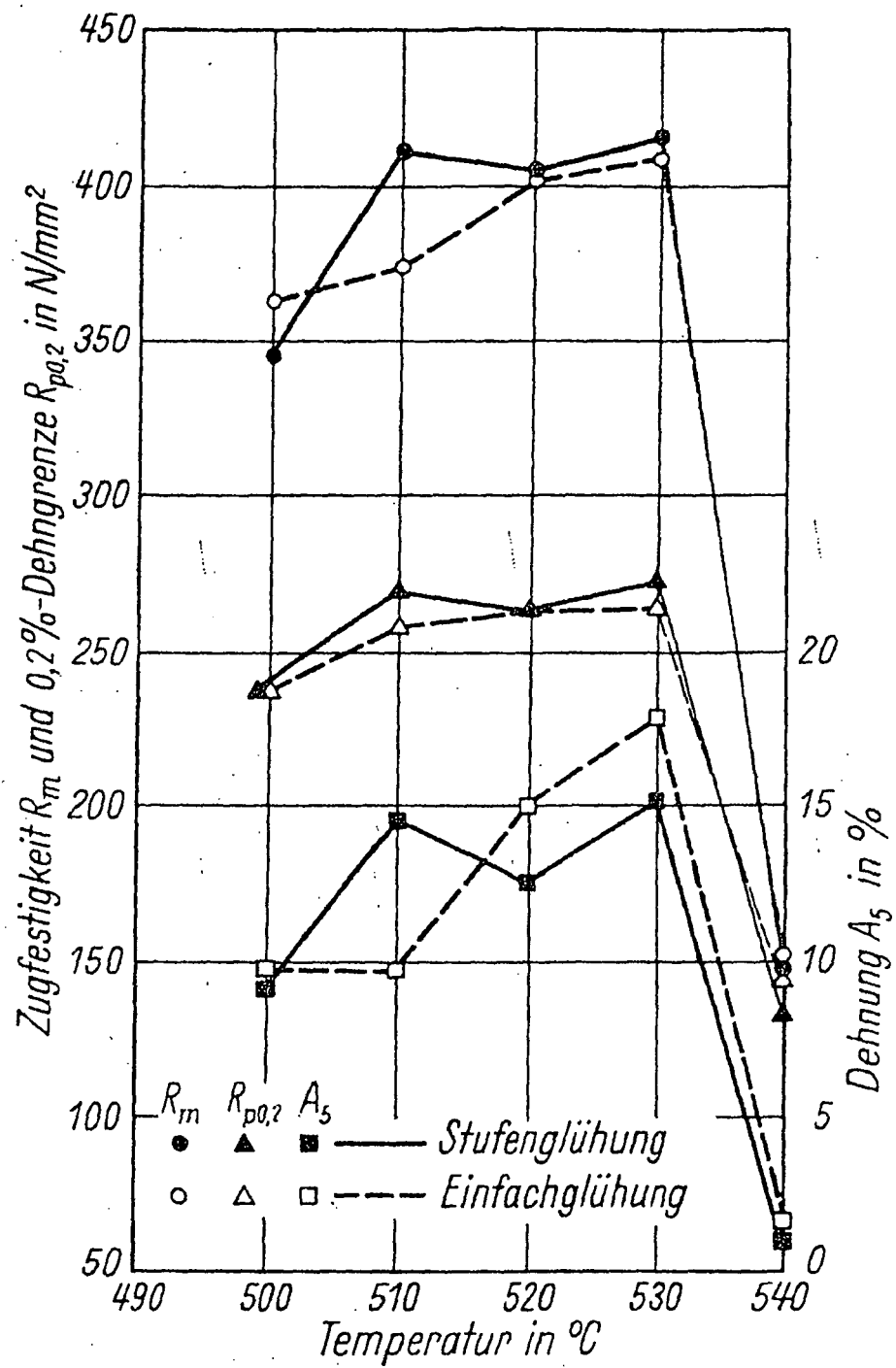


FIG. 1

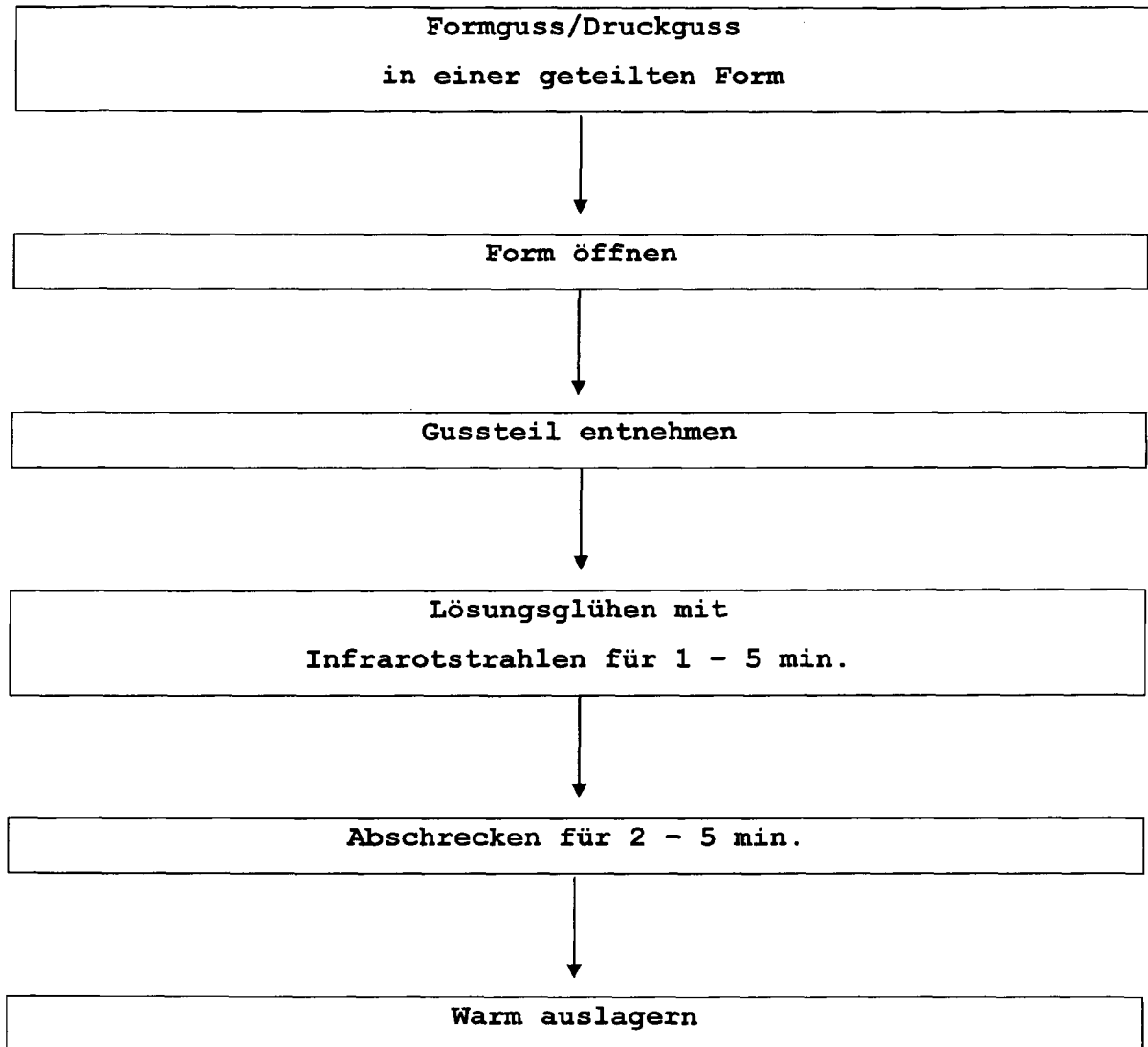


FIG. 2a

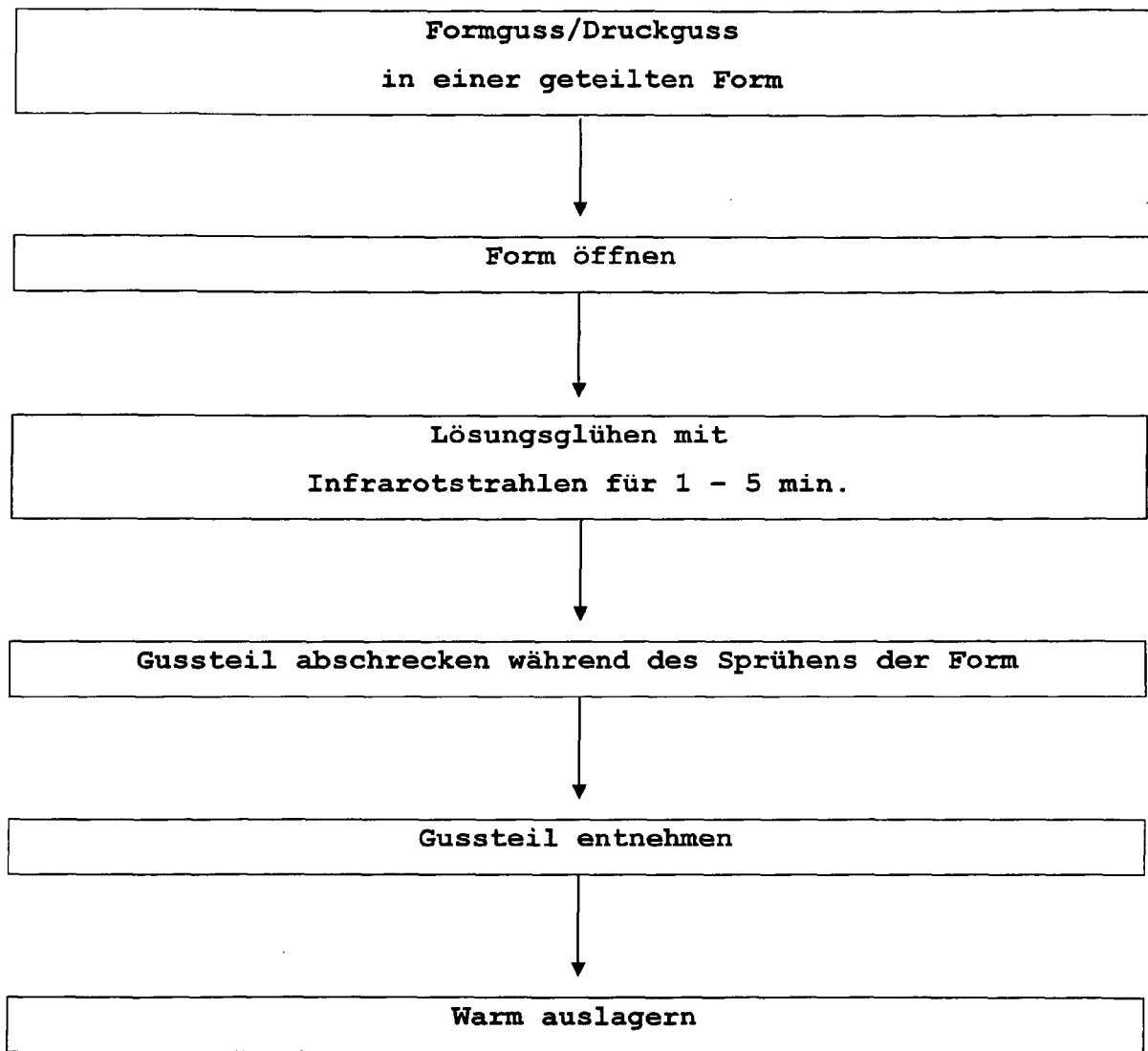


FIG. 2b

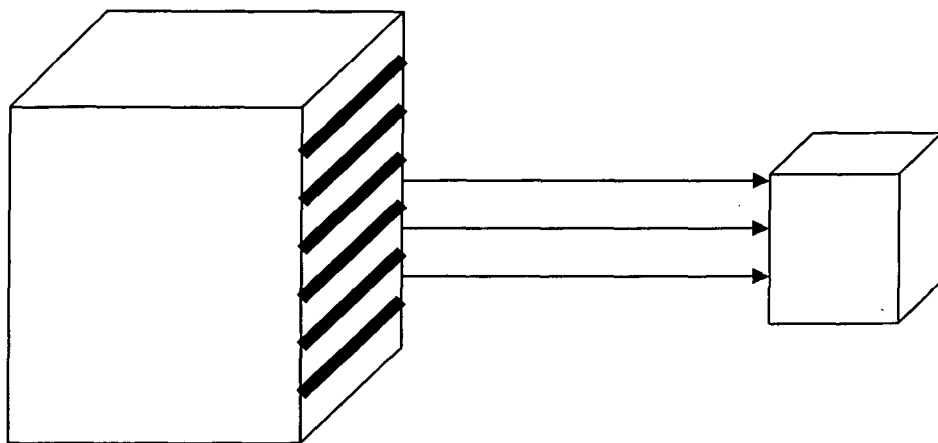


FIG. 3