



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) **EP 1 231 003 A2**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
14.08.2002 Patentblatt 2002/33

(51) Int Cl.7: **B22F 3/12, C21D 8/12**

(21) Anmeldenummer: **02001397.5**

(22) Anmeldetag: **19.01.2002**

(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

(30) Priorität: **10.02.2001 DE 10106172**

(71) Anmelder: **ROBERT BOSCH GMBH
70442 Stuttgart (DE)**

(72) Erfinder:
• **Koch, Hans-Peter
70435 Stuttgart (DE)**
• **Winkler, Jochen
73730 Esslingen (DE)**
• **Harzer, Andreas
71701 Schwieberdingen (DE)**
• **Ballerstedt, Wolfgang
39218 Schoenbeck (DE)**
• **Bober, Torsten
71272 Renningen (DE)**

(54) **Verfahren zur Herstellung eines Formteils aus einem weichmagnetischen Verbundwerkstoff**

(57) Es wird ein Verfahren zur Herstellung eines Formteils aus einem weichmagnetischen Verbundwerkstoff mit den Verfahrensschritten a.) Bereitstellen einer Ausgangsmischung mit einem Eisenpulver und einem Presshilfsmittel, b.) Verpressen der Ausgangsmischung zu einem Formteil und c.) Tempern des Formteils vorgeschlagen, wobei das Tempern vorzugsweise bei Temperaturen zwischen 380°C und 450°C in einem Gemisch aus einem Inertgas und Sauerstoff erfolgt, das einen Sauerstoffanteil zwischen 10 Vol% und 1 Vol%

aufweist. Weiter wird ein Verfahren zur Herstellung eines Formteils aus einem weichmagnetischen Verbundwerkstoff mit den Verfahrensschritten a.) Bereitstellen einer Ausgangsmischung mit einem Eisenpulver und einem Presshilfsmittel, b.) Verpressen der Ausgangsmischung zu einem Formteil und c.) Tempern des Formteils vorgeschlagen, bei dem nach dem Tempern des Formteils eine Nachformung und ein weiteres Tempern erfolgt.

EP 1 231 003 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Formteils aus einem weichmagnetischen Verbundwerkstoff, insbesondere zur Verwendung als Magnetkern für einen Common-Rail-Injektor, nach der Gattung der unabhängigen Ansprüche.

Stand der Technik

[0002] Aus EP 0 765 199 B1 sind mit einem thermoplastischen Harz vermischte Eisenpulver bekannt, die sich insbesondere zur Herstellung von Magnetkernen eignen. Im Einzelnen ist dort vorgesehen, zunächst ein Eisenpulver mit Phosphorsäure zu behandeln, dieses Eisenpulver dann mit einem thermoplastischen Harz zu vermischen, diese Mischung bei einer Temperatur unterhalb der Glasumwandlungstemperatur oder des Schmelzpunktes des thermoplastischen Harzes zu verpressen, das gepresste Produkt zu erhitzen, um das thermoplastische Harz auszuhärten, und gegebenenfalls ein Tempern der erhaltenen Komponente bis zu einer Temperatur oberhalb der Aushärtungstemperatur des thermoplastischen Harzes vorzunehmen.

[0003] Weiter ist daraus bekannt, dem thermoplastischen Material Polyetherimid, das unter dem Handelsnamen Ultem® bekannt ist, sowie Oligomere, wie sie in WO 95/33589 beschrieben und unter den Handelsnamen Orgasol 3501 und Orgasol 2001 von Elf Atochem, Frankreich, vertrieben werden, zuzusetzen.

[0004] Darüber hinaus ist in EP 0 765 199 B1 vorgesehen, das Eisenpulver mit einem Presshilfsmittel bzw. einem Gleitmittel zu vermischen, das ein Metall-Stearat, ein Wachs, ein Paraffin, ein natürliches oder synthetisches Fettderivat oder ein Oligomer vom Amid-Typ sein kann. Konkret sind als Gleitmittel bzw. Presshilfsmittel die Produkte Kenolube® von der Firma Höganäs AB, Schweden, H-wax® von der Firma Höchst AG, Deutschland, und Promold® von der Firma Morton International, Cincinnati, USA, beschrieben, die mit dem Eisenpulver in einem Anteil von vorzugsweise 0,2 bis 0,8 Gewichtsprozent vermischt werden.

[0005] Schließlich ist aus EP 0 765 199 B1 bekannt, diese Ausgangsmischung bei einem Druck zwischen 400 und 1800 MPa zu pressen, und danach an Luft bei Temperaturen zwischen 100°C und 600°C, vorzugsweise 200°C bis 500°C, zu tempern.

[0006] Ein gemäß EP 0 765 199 B1 hergestellter, pulverförmiger weichmagnetischer Werkstoff wird unter dem Handelsnamen Somaloy™ 500 von der Firma Höganäs AB, Schweden, vertrieben und ist in der Firmenzeitschrift SOMALOY™ 500, SMC 97-1, Seiten 1-11, Höganäs AB, Schweden, näher charakterisiert.

[0007] Weiter werden derartige weichmagnetische Verbundwerkstoffe auch in Jan Tengzelius, "Weichmagnetische Verbundwerkstoffe für Elektromotoren", Tagungsband Hagener Symposium, 1.12.2000, Seiten 211 bis 227, beschrieben.

[0008] Aufgabe der vorliegenden Erfindung war die Bereitstellung eines Verfahrens, mit dem aus einer Pulvermischung mit einem Eisenpulver ein insbesondere als Magnetkern für Common-Rail-Injektoren einsetzbares Formteil aus einem weichmagnetischen Verbundwerkstoff mit gegenüber dem Stand der Technik verbesserten mechanischen und magnetischen Eigenschaften herstellbar ist.

[0009] Vorteile der Erfindung

[0010] Die erfindungsgemäßen Verfahren haben gegenüber dem Stand der Technik den Vorteil, dass die danach hergestellten Formteile bzw. Magnetkerne für Common-Rail-Injektoren üblichen Magnetkernen aus weichmagnetischen Verbundwerkstoffen, die beispielsweise mit Mischungen von Reineisenpulver mit Polyamid-Binder, Reineisenpulver mit Polyphenylensulfid-Binder oder Reineisenpulver mit Polyethylen-Binder hergestellt worden sind, insbesondere hinsichtlich der mechanischen Festigkeit, der Dichte, der Sättigungspolarisation, der magnetischen Permeabilität, des spezifischen elektrischen Widerstandes, der Oberflächenhärte und der Biegefestigkeit überlegen sind.

[0011] Beispielsweise weisen die erfindungsgemäß hergestellten Formteile in Form von Magnetkernen gegenüber Magnetkernen aus Polyphenylensulfid-gebundenem Verbundwerkstoff eine um mindestens 0,2 g/cm³ erhöhte Dichte von mehr als 7,3 g/cm³ auf, und sie besitzen auch eine deutlich verbesserte Oberflächenhärte und statistische Biegefestigkeit, was sich insbesondere im kritischen Bereich der Polflächen in einer verbesserten Kantenbruchfestigkeit bei Dauerbelastung äußert. Daneben neigen sie deutlich weniger zu Materialausbrüchen und es dringt auch weniger Diesel-Kraftstoff in das Werkstückgefüge ein. Überdies zeigen die erfindungsgemäß hergestellten Formteile in Form von Magnetkernen eine Magnetkraft von typischerweise 95 N bis 103 N, während entsprechende Formteile aus Polyphenylensulfid-gebundenem Verbundwerkstoff lediglich ca. 80 N erreichen.

[0012] Weiter weisen die erfindungsgemäß hergestellten Formteile beim Einsatz als Magnetkern in Common-Rail-Injektoren gegenüber bisher üblichen Magnetkernen eine deutlich höhere Schaltdynamik, insbesondere eine um ca. 20 µs verringerte Einschaltzeit, einen verringerten Energiebedarf, eine um ca. 50% höhere mechanische Festigkeit, eine bessere mechanische Bearbeitbarkeit und eine höhere Unempfindlichkeit gegenüber Fertigungsschwankungen bei der Herstellung auf.

[0013] Zudem sind sie durch Einsatz eines preiswerteren Rohstoffes und den Wegfall eines bisher erforderlichen Warmpressens, was auch zu geringerem Werkzeugverschleiß führt, billiger herstellbar.

[0014] Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den in den Unteransprüchen genannten Maßnahmen.

[0015] So hat sich herausgestellt, dass in der Gasatmosphäre beim Tempern insbesondere in Kombination

mit Temperaturen zwischen 380°C bis 450°C eine gewisse Mindestmenge an Sauerstoff sehr vorteilhaft ist, um eine ausreichende Oxidbildung zwischen den Eisenpulverteilchen bzw. an deren Oberfläche zu gewährleisten, dass andererseits aber eine gegenüber dem Stand der Technik deutlich verringerte Menge des in der eingesetzten Gasatmosphäre enthaltenen Sauerstoffes zu deutlich verbesserten magnetischen Eigenschaften, beispielsweise einer höheren Magnetkraft, der danach erhaltenen Formteile führt.

[0016] Insbesondere ist vorteilhaft, wenn die Gasatmosphäre beim Tempern ein Gasgemisch mit einem Sauerstoffanteil von 2 Vol% bis 7 Vol% ist, wobei eine Mischung von Luft und Stickstoff oder eine Mischung von Luft und einem Edelgas, wobei der Anteil der Luft zwischen 40 Vol% und 10 Vol%, insbesondere 10 Vol% bis 30 Vol%, beträgt, besonders einfach und preiswert herstellbar ist.

[0017] Darüber hinaus ist vorteilhaft, wenn nach dem Tempern der erhaltenen Formteile in Form von Magnetkernen eine mechanische Bearbeitung, beispielsweise ein vorsichtiges Schleifen, vorgenommen wird, das einem Ausgleich von Polhöhendifferenzen und einer Einbnung von Polflächen dient, und durch das die Magnetkraft der beispielsweise als Magnetkern eingesetzten Formteile weiter auf über 100 N gesteigert werden kann.

[0018] Eine weitere Verbesserung der magnetischen und mechanischen Eigenschaften der erhaltenen Formteile, insbesondere hinsichtlich ihrer Dichte, wird erreicht, wenn das Tempern der gepressten Formteile in einem zweistufigen Prozess ausgeführt wird, wobei nach dem Verpressen der Ausgangsmischung das Formteil zunächst bei einer relativ niedrigen Temperatur getempert, danach in einem Matrizenwerkzeug oder durch Heißplanformen erneut verpresst, und schließlich bei einer höheren Temperatur erneut getempert wird.

[0019] Da es sich bei den nach den erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Formteilen aus einem weichmagnetischen Verbundwerkstoff bevorzugt um einen oxidgebundenen Werkstoff handelt, d.h. bei dem Temperprozeß zersetzt sich ein der Ausgangsmischung beispielsweise zugesetztes Metall-Stearat zu einem Metalloxid, so dass sich durch die Anwesenheit von Sauerstoff an Korngrenzen Eisenoxidbrücken bilden, die den Gefügezusammenhalt wirksam verbessern, sind in den erfindungsgemäß hergestellten Formteilen gegenüber solchen aus Polymer-gebundenen weichmagnetischen Verbundwerkstoffen auch zumindest nahezu keine organischen Anteile mehr enthalten. Somit weisen die erfindungsgemäß hergestellten Formteile neben ihrer höheren Dichte auch eine geringere Porosität auf, was zu einer deutlich verbesserten thermomechanischen Langzeitstabilität, insbesondere gegenüber heißem Diesel-Kraftstoff führt.

Ausführungsbeispiele

[0020] Ein erstes Ausführungsbeispiel der Erfindung geht von einer Ausgangsmischung mit einem Reineisenpulver und einem Presshilfsmittel aus, wie sie von der Firma Höganäs, Schweden, unter dem Handelsnamen Somaloy™ 500 vertrieben wird.

[0021] Im Einzelnen ist das dabei eingesetzte Reineisenpulver ein hochreines Eisenpulver mit phosphatierter Oberfläche, dem, wie in EP 0 765 199 B1 beschrieben, als Gleitmittel ein Presshilfsmittel, ausgewählt aus der Gruppe der Metallstearate, der Wachse, der Paraffine, der natürlichen oder synthetischen Fettderivate oder der Oligomere vom Amid-Typ zugesetzt ist.

[0022] Bevorzugt wird das Reineisenpulver zusammen mit dem unter dem Handelsnamen Kenolube® bekannten Presshilfsmittel der Firma Höganäs AB, Schweden, eingesetzt. Dazu wird das Presshilfsmittel Kenolube®, das im Wesentlichen ein Amid-Wachs und Zink-Stearat enthält, in einem Anteil von 0,4 Gew.% bis 0,7 Gew.%, vorzugsweise 0,5 Gew.% bis 0,6 Gew.%, dem Reineisenpulver zugesetzt und mit diesem zu der Ausgangsmischung vermischt. Anschließend wird die Ausgangsmischung dann in einem üblichen Matrizenwerkzeug bevorzugt bei Raumtemperatur bei einem Druck zwischen 600 MPa bis 900 MPa, insbesondere 700 MPa bis 800 MPa, beispielsweise in Form eines Magnetkerns für Common-Rail-Injektoren verpresst.

[0023] Nach dem Verpressen wird das erhaltene Formteil bei Temperaturen zwischen 380°C bis 450°C, insbesondere bei ca. 425°C, über eine Zeitdauer von 10 min bis 120 min, insbesondere 30 min bis 60 min, in einem Stickstoff-Luft-Gemisch oder einem Edelgas-Luft-Gemisch getempert, wobei der Anteil der Luft zwischen 50 Vol% und 5 Vol%, insbesondere 10 Vol.% bis 30 Vol.%, beispielsweise 20 Vol.%, beträgt. Dabei wird das zugesetzte Presshilfsmittel teils zersetzt und teils in ein bindendes Oxid umgewandelt. Alternativ kann auch eine Mischung von einem Inertgas mit Sauerstoff, beispielsweise ein Stickstoff-Sauerstoff-Gemisch oder ein Argon-Sauerstoff-Gemisch, eingesetzt werden, das einen Sauerstoffanteil zwischen 1 Vol% und 10 Vol%, insbesondere 2 Vol% bis 7 Vol%, enthält.

[0024] Die nach dem Tempern erhaltenen Formteile werden bevorzugt einer abschließenden mechanischen Oberflächenbearbeitung, beispielsweise einem Schleifen, unterzogen. Dies führt zu verbesserten mechanischen Eigenschaften und einer verbesserten Langzeitstabilität der erhaltenen Formteile. Zudem wird durch das nachträgliche Schleifen erreicht, dass die gemessene Magnetkraft an solchen Magnetkernen in der Regel um ca. 5% bis 10% steigt.

[0025] Ein zweites Ausführungsbeispiel der Erfindung sieht vor, dass abweichend von dem vorstehend erläuterten Ausführungsbeispiel nach dem Verpressen der Ausgangsmischung zu dem Formteil zunächst ein erster Tempersschritt bei einer Temperatur von 150°C bis 400°C, insbesondere bei Temperaturen zwischen

230°C und 310°C, vorgenommen wird.

[0026] Dieser erste Tempersschritt kann an Luft oder einer Inertgasatmosphäre wie einer Edelgasatmosphäre oder einer Stickstoffatmosphäre erfolgen. Bevorzugt erfolgt er jedoch, analog dem Tempern im ersten Ausführungsbeispiel, in einem Gasgemisch aus einem Inertgas und Sauerstoff, wobei der Anteil des Sauerstoffes in dem Gasgemisch zwischen 10 Vol% und 1 Vol% beträgt.

[0027] Besonders bevorzugt ist die Gasatmosphäre in diesem Ausführungsbeispiel erneut eine Mischung von Luft und Stickstoff, wobei der Anteil der Luft zwischen 50 Vol% und 5 Vol%, insbesondere 10 Vol.% bis 30 Vol.%, beispielsweise 20 Vol.%, beträgt.

[0028] Nach dem ersten Tempersschritt wird dann zur Nachformung des verpressten, getemperten Formteils ein weiteres Verpressen bei einem Druck zwischen 600 MPa bis 900 MPa, insbesondere 700 MPa bis 800 MPa, bei Raumtemperatur vorgenommen.

[0029] Alternativ kann diese Nachformung auch durch Heißplanformen in einem geeigneten Matrizenwerkzeug unter erhöhter Temperatur erfolgen, wie dies beispielsweise in DE 100 05 551.6 beschrieben ist.

[0030] Nach der erläuterten Nachformung erfolgt ein erneutes, zweites Tempern des erhaltenen Formteils, das analog dem ersten Ausführungsbeispiel bei Temperaturen zwischen 380°C bis 450°C, insbesondere 425°C, über eine Zeitdauer von 10 min bis 120 min, insbesondere 30 min bis 60 min, in einem Stickstoff-Luft-Gemisch oder einem Edelgas-Luft-Gemisch erfolgt, wobei der Anteil der Luft zwischen 50 Vol% und 5 Vol%, insbesondere 10 Vol.% bis 30 Vol.%, beispielsweise 20 Vol.%, beträgt.

[0031] Die nach dem Tempern erhaltenen Formteile werden bevorzugt dann analog dem ersten Ausführungsbeispiel einer abschließenden mechanischen Oberflächenbearbeitung, beispielsweise einem Schleifen, unterzogen.

[0032] Im Einzelnen weist ein Formteil aus einem weichmagnetischen Verbundwerkstoff aus dem phosphatierten Reineisenpulver Somaloy 500 mit 0,6% Massenanteilen Kenolube gemäß den vorstehenden Ausführungsbeispielen eine statistische Biegefestigkeit von mindestens 25 N/mm², ermittelt an Prüfstäben nach ISO 3327, und eine Oberflächenhärte HB 2,5/31,25 von mindestens 70 auf.

[0033] Weiter wird an Ringen mit einem Außendurchmesser von 40 mm, einem Innendurchmesser von 30 mm und einer Höhe von 5 mm eine magnetische Polarisation J_{100} von mindestens 1,4 Tesla bei 100 A/cm, eine Sättigungspolarisation J_s von mindestens 1,5 Tesla bei 500 Ampere/cm, eine Koerzitivfeldstärke H_{CB} von maximal 3,0 Ampere/cm, eine Maximalpermeabilität μ_{max} von mindestens 450 und einem Gesamtverlust $v_H + v_W$ bei 1 Tesla und 50 Hz von max. 8 W/kg gemessen. In der Regel wird sogar eine Sättigungspolarisation von mehr als 1,7 Tesla und eine Maximalpermeabilität von ca. 500 bei einem spezifischen elektrischen Widerstand

von ca. 10 $\mu\Omega m$ erreicht.

[0034] Die Dichte der erhaltenen Formteile beträgt mindestens 7,30 g/cm³, wobei durch das zusätzliche Nachformen in einem Matrizenwerkzeug bzw. das zusätzliche Heißplanformen eine Erhöhung der Dichte auf bis ca. 7,5 g/cm³ erreicht werden kann.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Formteils aus einem weichmagnetischen Verbundwerkstoff mit den Verfahrensschritten a.) Bereitstellen einer Ausgangsmischung mit einem Eisenpulver und einem Presshilfsmittel, b.) Verpressen der Ausgangsmischung zu einem Formteil und c.) Tempern des Formteils, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Tempern in einem Gemisch aus einem Inertgas und Sauerstoff erfolgt, wobei der Anteil des Sauerstoffes in dem Gasgemisch zwischen 10 Vol% und 1 Vol% beträgt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Anteil des Sauerstoffes zwischen 7 Vol% und 2 Vol% beträgt, wobei das Gasgemisch insbesondere eine Mischung von Luft und Stickstoff oder von Luft und einem Edelgas ist.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Tempern bei Temperaturen zwischen 380°C bis 450°C, insbesondere 425°C, über eine Zeitdauer von 10 min bis 120 min, insbesondere 30 min bis 60 min, erfolgt.
4. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verpressen bei Raumtemperatur bei einem Druck zwischen 600 MPa bis 900 MPa, insbesondere 700 MPa bis 800 MPa, erfolgt.
5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Ausgangsmischung eingesetzt wird, die ein phosphatiertes Reineisenpulver und ein Presshilfsmittel ausgewählt aus der Gruppe der Metallstearate, der Wachse, der Paraffine, der natürlichen oder synthetischen Fett-Derivate und der Oligomere vom Amid-Typ, insbesondere Kenolube®, enthält.
6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die verpressten Formteile nach dem Verfahrensschritt b.) zunächst bei einer Temperatur von 150°C bis 400°C, insbesondere 230°C bis 310°C, in Luft, einer Inertgasatmosphäre oder einem Gasgemisch aus einem Inertgas und Sauerstoff, wobei der Anteil des Sauerstoffes in dem Gasgemisch zwischen 10 Vol% und 1 Vol% beträgt, getempert werden, danach nachgeformt und anschließend gemäß Ver-

fahrensschritt c.) erneut getempert werden.

7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Nachformung ein weiteres Verpressen bei einem Druck zwischen 600 MPa bis 900 MPa, insbesondere 700 MPa bis 800 MPa, oder ein Heißplanformen vorgenommen wird. 5
8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach dem Tempern gemäß Verfahrensschritt c.) zumindest bereichsweise eine mechanische Bearbeitung, insbesondere ein Schleifen, der Oberfläche der Formteile erfolgt. 10
9. Verfahren zur Herstellung eines Formteils aus einem weichmagnetischen Verbundwerkstoff mit den Verfahrensschritten a.) Bereitstellen einer Ausgangsmischung mit einem Eisenpulver und einem Presshilfsmittel, b.) Verpressen der Ausgangsmischung zu einem Formteil und c.) Tempern des Formteils, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach dem Tempern des Formteils eine Nachformung und ein weiteres Tempern erfolgt. 15
10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Nachformung ein weiteres Verpressen des Formteils bei einem Druck zwischen 600 MPa bis 900 MPa, insbesondere 700 MPa bis 800 MPa, bei Raumtemperatur oder ein Heißplanformen des Formteils vorgenommen wird. 20
11. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** das weitere Tempern bei Temperaturen zwischen 380°C und 450°C, insbesondere 425°C, über eine Zeitdauer von 10 min bis 120 min, insbesondere 30 min bis 60 min, erfolgt. 25
12. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Tempern gemäß Verfahrensschritt c.) bei einer Temperatur von 150°C bis 400°C, insbesondere 230°C bis 310°C, über eine Zeitdauer von 10 min bis 120 min, insbesondere 30 min bis 60 min, erfolgt. 30
13. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Verpressen gemäß Verfahrensschritt b.) bei einem Druck zwischen 600 MPa bis 900 MPa, insbesondere 700 MPa bis 800 MPa, bei Raumtemperatur erfolgt. 35
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Tempern gemäß Verfahrensschritt c.) und/oder das weitere Tempern in Luft, in einer Stickstoffatmosphäre, einer Edelgasatmosphäre oder einem Gasgemisch aus einem Inertgas und Sauerstoff erfolgt, wobei der Anteil des Sauerstoffes in dem Gasgemisch zwischen 10 40

Vol% und 1 Vol% beträgt.

15. Verfahren nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Tempern gemäß Verfahrensschritt c.) und das weitere Tempern in einem Gasgemisch aus einem Inertgas und Sauerstoff erfolgt, wobei der Anteil des Sauerstoffes in dem Gasgemisch zwischen 10 Vol% und 1 Vol% beträgt. 45
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Ausgangsmischung eingesetzt wird, die ein phosphatiertes Reineisenpulver und ein Presshilfsmittel ausgewählt aus der Gruppe der Metallstearate, der Wachse, der Paraffine, der natürlichen oder synthetischen Fett-Derivate und der Oligomere vom Amid-Typ, insbesondere Kenolube®, enthält. 50
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach dem weiteren Tempern zumindest bereichsweise eine mechanische Bearbeitung, insbesondere ein Schleifen, der Oberfläche der Formteile erfolgt. 55