

(12) **Patentschrift**

(21)	Anmeldenummer:	A 50632/2016	(51)	Int. Cl.:	B22F 3/24	(2006.01)
(22)	Anmeldetag:	15.07.2016			B22F 7/04	(2006.01)
(45)	Veröffentlicht am:	15.02.2019			B22F 5/08	(2006.01)
					B22F 3/12	(2006.01)
					C21D 1/06	(2006.01)
					C21D 1/613	(2006.01)
					C21D 9/32	(2006.01)
					<i>F16H 55/14</i>	(2006.01)
					<i>F04C 29/06</i>	(2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
WO 2016041977 A1
GB 511298 A
DE 20111493 U1
US 4184380 A

(73) Patentinhaber:
Miba Sinter Austria GmbH
4663 Laakirchen (AT)

(74) Vertreter:
Anwälte Burger und Partner Rechtsanwalt
GmbH
4580 Windischgarsten (AT)

(54) **Verfahren zur Herstellung eines Sinterzahnrades**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Sinterzahnrades mit einem Zahnradkörper auf dem zumindest ein Elastomerelement angeordnet ist, nach dem durch Pressen eines Pulvers ein Grünling hergestellt wird, der Grünling zum Zahnradkörper gesintert und durch Aufkohlen und anschließendes Abschrecken oder Sinterhärten und anschließendes Abschrecken gehärtet wird und danach der gehärtete Zahnradkörper mit einem Gas abgeschreckt wird, wobei der Zahnradkörper nach dem Abschrecken gestrahlt wird und ohne vorheriges Waschen und chemisches Reinigen auf diesen ein Haftvermittler aufgebracht wird, danach der Haftvermittler getrocknet wird und zur Ausbildung des zumindest einen Elastomerelements ein Elastomer bei einer Temperatur zwischen 90 °C und 250 °C innerhalb eine Zeitspanne von 1 Minute bis 20 Minuten auf den Zahnradkörper aufvulkanisiert wird.

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Sinterzahnrades mit einem Zahnradkörper auf dem zumindest ein Elastomerelement angeordnet ist, nach dem durch Pressen eines Pulvers ein Grünling hergestellt wird, der Grünling zum Zahnradkörper gesintert und durch Aufkohlen und anschließendes Abschrecken oder Sinterhärten und anschließendes Abschrecken gehärtet wird und danach der gehärtete Zahnradkörper mit einem Gas abgeschreckt wird.

[0002] Sinterzahnräder mit Elastomerelementen sind aus dem Stand der Technik bereits bekannt. Die Elastomerelemente dienen dabei unterschiedlichsten Zwecken. Beispielsweise beschreibt die AT 508 701 B1 eine geteilte Zahnradanordnung mit aufvulkanisierten Federelementen. Diese Federelemente dienen dabei der Vorspannung in Umfangsrichtung des verdrehbaren Zahnrades gegen das feststehende Zahnrad.

[0003] Die AT 514 570 B1 und die AT 514 590 B1 beschreiben in radialer Richtung geteilte Zahnräder, bei denen die beiden Zahnradteile über aufvulkanisierte Elastomerringe miteinander verbunden sind.

[0004] Gemein ist diesen Zahnradern, dass die Elastomerelemente im Betrieb der Zahnräder einer hohen Belastung unterliegen. Insbesondere wenn die Elastomerelemente teils wechselnden Schub- und Zugkräften ausgesetzt sind, kommt der Verbindungsstelle zwischen Metall und Elastomer eine hohe Bedeutung zu, da hier die Gefahr besteht, dass sich die Elastomerelemente bei Überbelastung ablösen.

[0005] Für die Herstellung von Zahnradern mit aufvulkanisierten Elastomerelementen sind daher aufwändige und kostenintensive Bearbeitungsschritte der Zahnräder erforderlich, um eine hohe Haftfestigkeit des Elastomerelementes am metallischen Zahnradgrundkörper zu erreichen.

[0006] Aus der WO 2016/041977 A1 ist ein speziell zusammengesetztes Eisenpulver zur Herstellung von Zahnradern bekannt. Weiter beschreibt diese Druckschrift ein Verfahren zur Herstellung des Zahnrades, nach dem das Pulver gepresst, gesintert und einer Niederdruckaufkohlung unterzogen wird. Danach wird das Zahnrad mittels Hochdruckgasabschrecken abgekühlt.

[0007] Die GB 511298 A beschreibt ein Zahnrad für eine Pumpe. Das Zahnrad weist auf den Zähnen eine Gummibeschichtung auf, die bevorzugt in einer Form auf das Zahnrad vulkanisiert wird.

[0008] Aus der DE 201 11 493 U1 ist ein Kettenrad mit Zähnen bekannt, die jeweils eine im Betrieb mit einem Hohlbolzen oder einer Laufhülse in Berührung kommende Auflaufflanke aufweisen, wobei wenigstens ein Auftreffbereich an den Auflaufflanken als Dämpfungszone ausgebildet ist. Die Dämpfungszone kann aus einer Beschichtung aus Gummi bestehen.

[0009] Die US 4,184,380 A beschreibt ebenfalls Zahnräder mit einer Gummibeschichtung der Zahnflanken.

[0010] Ausgehend hiervon ist es die Aufgabe der Erfindung eine einfachere bzw. kostengünstigere Möglichkeit zur Herstellung eines Sinterzahnrades anzugeben, die eine zumindest gleich gute Haftfestigkeit des Elastomerelementes am metallischen Untergrund wie im Stand der Technik erreicht.

[0011] Die Aufgabe der Erfindung wird bei dem eingangs genannten Verfahren dadurch gelöst, dass der Zahnradkörper nach dem Abschrecken gestrahlt wird und dass ohne vorheriges Waschen und chemisches Reinigen des Zahnradkörpers auf diesen ein Haftvermittler aufgebracht wird, dass danach der Haftvermittler getrocknet wird und dass zur Ausbildung des zumindest einen Elastomerelements ein Elastomer bei einer Temperatur zwischen 90 °C und 250 °C innerhalb einer Zeitspanne von 1 Minute bis 20 Minuten auf den Zahnradkörper aufvulkanisiert wird.

[0012] Durch die Gasabschreckung werden Abschrecköle bzw. generell flüssige Kühlmedien

vermieden. Es wird damit vermieden, dass sich diese flüssigen Medien in den Poren des Sinterzahnrades ansammeln und nachträglich nur mühsam wieder aus diesen Poren entfernt werden müssen. Der Zahnradkörper liegt somit nach der Wärmebehandlung und der Gasabschreckung bereits trocken vor, sodass er direkt, ohne weitere Bearbeitungsschritte der Aufvulkanisation des Elastomerelementes zugeführt werden kann. Obwohl durch das Fehlen der Verdampfungsmöglichkeit des Kühlmediums die Gasabschreckung in der Regel langsamer erfolgt als die Ölabschreckung, überwiegt der prozesstechnische Vorteil, der damit erreicht werden kann, diesen Nachteil. Als Nebeneffekt wird aber mit der langsameren Abschreckung eine geringere Kernhärte erreicht, sodass also ein Sinterzahnrad erhalten wird, das einerseits eine relativ hohe Härte in den oberflächennahen Bereichen aufweist, und das andererseits auch noch eine relativ hohe Zähigkeit im Kern aufweist, und damit Wechselbelastungen besser standhält.

[0013] Nach einer Ausführungsvariante des Verfahrens kann vorgesehen sein, dass das Aufkohlen des Zahnradkörpers mittels Niederdruckaufkohlen durchgeführt wird. Es wird damit der Vorteil erreicht, dass auch bei in axialer Richtung sehr schmalen Sinterzahnradern im Vergleich zu anderen Aufkohlungsverfahren, wie das Carbonitrieren, sehr gezielt Härteprofile eingestellt werden können. Es ist also auch bei diesen Sinterzahnradern möglich, einen weichen Kern zu erhalten.

[0014] Bevorzugt wird ein sinterhärtbares Pulver zur Herstellung des Grünlings eingesetzt. Die Verwendung von sinterhärtbaren Pulvern unterstützt die Vermeidung von flüssigen Kühlmedien zur Erreichung relativ hoher Härten der einem Verschleiß ausgesetzten Oberflächenschichten des Sinterzahnrades. Zudem kann damit eine bessere Zahnqualität und in Folge ein ruhiger Lauf des Sinterzahnrades erreicht werden.

[0015] Besonders bevorzugt wird dabei ein sinterhärtbares Pulver verwendet, das einen Anteil an Chrom aufweist, der zwischen 1 Gew.-% und 5 Gew.-% beträgt. Durch das Chrom können die genannten Effekte weiter verbessert werden. Chrom verbessert deutlich die Härtebarkeit bei den beschriebenen Gasabschreckungen.

[0016] Nach einer weiteren Ausführungsvariante des Verfahrens wird der Zahnradkörper bis zu einer Dichte zwischen $6,8 \text{ g/cm}^3$ und $7,4 \text{ g/cm}^3$ verdichtet. Von Vorteil ist dabei, dass eine besonders gute Festigkeit sehr kosteneffizient hergestellt werden kann.

[0017] Bevorzugt wird das Aufkohlen bis zu einer Tiefe des Zahnradkörpers durchgeführt, gemessen von dessen Oberfläche aus, die ausgewählt ist aus einem Bereich von $100 \text{ }\mu\text{m}$ bis $2000 \text{ }\mu\text{m}$, insbesondere bis zu einer Tiefe von $100 \text{ }\mu\text{m}$ bis $1000 \text{ }\mu\text{m}$, abhängig von der Verzahnungsgeometrie und den auftretenden Herztschen Pressungen. Es kann damit die Verschleißbeständigkeit deutlich verbessert werden, da durch das anschließende Härten eine entsprechend hohe gehärtete Schichtdicke zur Verfügung gestellt werden kann. Damit kann wiederum eine Verbesserung der Haftung des Elastomerelementes am Zahnradkörper verbessert werden.

[0018] Nach einer weiteren Ausführungsvariante des Verfahrens wird die Gasabschreckung mit N_2 , N_2/H_2 oder He als Gas durchgeführt. Die Verwendung von N_2 , N_2/H_2 oder He gegenüber anderen Gasen hat den Vorteil, dass damit höhere Abkühlraten erreicht werden können.

[0019] Der Zahnradkörper kann mit einer Abschreckgeschwindigkeit abgekühlt werden, die ausgewählt ist aus einem Bereich von $1 \text{ }^\circ\text{C/s}$ bis $7 \text{ }^\circ\text{C/s}$. Es wird damit erreicht, dass sich ein zumindest teilweise martensitisches Gefüge einstellt.

[0020] Zum besseren Verständnis der Erfindung wird diese anhand der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert.

[0021] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Sinterzahnrades.

[0022] Das Sinterzahnrad an sich kann beispielsweise ein Sinterzahnrad für einen Umschlingungstrieb, wie insbesondere ein Kettenrad, oder ein Sinterzahnrad für einen Zahnradtrieb, bei dem das Sinterzahnrad kämmend mit zumindest einem weiteren Zahnrad zusammenwirkt sein. Es kann weiter eine Gerad- oder eine Schrägverzahnung aufweisen. Vorzugsweise weist das

Sinterzahnrad eine Stirnverzahnung auf. Das Sinterzahnrad kann zudem eine oder mehrere Spur(en) aufweisen.

[0023] Weiter weist das Sinterzahnrad zumindest ein Elastomerelement auf, das auf den metallischen Zahnradkörper des Sinterzahnrades aufvulkanisiert ist.

[0024] In der bevorzugten Ausführungsvariante wird ein Kettenrad hergestellt, dass in axialer Richtung ein- oder beidseitig (unmittelbar) neben der Verzahnung für den Kettentrieb eine Elastomerspur aufweist. Die Elastomerspur kann mit Vertiefungen und (noppenartigen) Erhebungen ausgeführt sein. Die Elastomerspur dient zur Geräuschkämpfung beim Einlauf der Kette in die Verzahnung der Kettenradspur. Bevorzugt erstreckt sich die Elastomerspur durchgehend über den gesamten Umfang des Zahnradkörpers.

[0025] Das Elastomerelement besteht zumindest teilweise aus einem gummielastischen Werkstoff, beispielsweise aus einem (X)NBR ((carboxylierter) Acrylnitril-Butadien-Kautschuk), HNBR (Hydrierter Nitril-Kautschuk), einem Silikon-Kautschuk (VMQ), EPDM (Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk), CR (Chloropren-Kautschuk), SBR (Styrolbutadienkautschuk) etc., wobei auch Werkstoffmischungen eingesetzt werden können.

[0026] Mit „zumindest teilweise“ ist gemeint, dass in dem Elastomerelement z.B. Versteifungselemente, wie z.B. Fasern und/oder Partikel, beispielsweise aus Metall, Kunststoff, Naturfasern, etc., oder Stäbe, etc. eingelagert sein können. Vorzugsweise besteht das Elastomerelement jedoch ausschließlich aus einem gummielastischen Werkstoff.

[0027] Die Herstellung des metallischen Zahnradkörpers erfolgt nach einem pulvermetallurgischen Verfahren (Sinterverfahren). Derartige Verfahren sind aus dem Stand der Technik bereits bestens bekannt, sodass sich eine ausführliche Erörterung der Grundzüge dieses Verfahrens erübrigt. Es sei nur so viel dazu ausgeführt, dass das Verfahren im Wesentlichen die Schritte Pulvermischen, Pressen des Pulvers zu einem Grünling, Entwachsen und ein- oder mehrstufiges Sintern des Grünlings zu dem Zahnradkörper umfasst.

[0028] Im Verfahrensablauf zur Herstellung des Sinterzahnrades ist weiter vorgesehen, dass der Zahnradkörper durch Aufkohlen und anschließendes kontrolliertes Abkühlen oder durch Sinterhärten gehärtet wird. Durch das Aufkohlen wird der Kohlenstoffanteil im Zahnradkörper erhöht. Das Aufkohlen kann an das Sintern anschließend oder während des Sinterns durchgeführt werden.

[0029] Prinzipiell kann das Aufkohlen durch verschiedene Verfahren erfolgen, wobei allen Verfahren gemein ist, dass als Kohlenstoffquelle ein Gas oder Gasgemisch eingesetzt wird. Als Gas kann beispielsweise Methan, Propan, Acetylen, etc. verwendet werden.

[0030] Das Aufkohlen kann beispielsweise durch Carbonietrieren erfolgen. Bevorzugt erfolgt aber das Aufkohlen durch ein Niederdruckaufkohlungsverfahren.

[0031] Der Kohlenstoffgehalt des Zahnradkörpers beträgt nach dem Aufkohlen vorzugsweise zwischen 0,4 Gew.-% und 1,0 Gew.-%.

[0032] Insbesondere wird das Aufkohlen bis zu einer Tiefe des Zahnradkörpers durchgeführt, gemessen von dessen Oberfläche aus, die ausgewählt ist aus einem Bereich von 100 µm bis 2000 µm; vorzugsweise aus einem Bereich von 100 µm bis 1000 µm. Der voranstehend genannte bevorzugte Gehalt an Kohlenstoff bezieht sich dabei auf diese Aufkohlungstiefe. Darunter liegende Bereiche des Zahnradkörpers weisen demzufolge einen geringeren Kohlenstoffgehalt auf.

[0033] Gegebenenfalls kann nach dem Sintern und/oder nach dem Härten eine mechanische Nachbearbeitung erfolgen.

[0034] Nach dem Härten wird das zumindest eine Elastomerelement (direkt) auf den metallischen Zahnradkörper aufvulkanisiert. Dabei kann direkt auf das pulvermetallurgische Zahnrad ohne weitere Waschoperationen nach einem Strahlschritt (z.B. mit Hartgusskies, Stahlkies, Sand, Karborund, Korngrößen im Bereich von 0,6 bis 1mm) ein Haftvermittler (1K- oder 2K-

System) aufgebracht werden (möglichst rasch, um eine erneute Oxidbildung zu vermeiden). Durch den vorliegenden trockenen und sauberen Zahnradkörper kann eine verbesserte Anhaftung am Metall erreicht werden, indem eine möglichst große wirksame Oberfläche vorgelegt werden kann. Die Art des Haftvermittlers ist von den zu verbindenden Werkstoffen abhängig. Der Haftvermittler ist so zu wählen, dass er eine niedrigere Oberflächenspannung im Vergleich zur Metalloberfläche aufweist, um eine vollständige Benetzung zu ermöglichen.

[0035] Nach der Trocknung des Haftvermittlers wird bei einer Temperatur zwischen 90 °C und 250 °C innerhalb einer Zeitspanne von 1 Minute bis 20 Minuten das Elastomer aufvulkanisiert. Dabei ist es von Vorteil, wenn keine Flüssigkeit in Form von Öl oder Härteemulsion austritt, da der Haftvermittler ansonsten seine Funktion einbüßt. Das Verfahren nach der Erfindung zeigt insbesondere in diesen kritischen Schritten seinen Vorteil, da die Aufvulkanisation mit vollkommen trockenen, pulvermetallurgischen Bauteilen erfolgt. Die Temperaturführung ist insbesondere so zu wählen, dass danach die notwendige Oberflächenhärte aus der Wärmebehandlung des Sinterstahls bestehen bleibt.

[0036] Um die Haftfestigkeit des Elastomerelementes am metallischen Zahnradkörper zu verbessern ist nun vorgesehen, dass der gehärtete Zahnradkörper nach dem Aufkohlen mit einem Gas abgeschreckt wird.

[0037] Vorzugsweise wird das Gasabschrecken mit N₂, N₂/H₂ oder He als Gas abgeschreckt.

[0038] Nach einer Ausführungsvariante dazu kann vorgesehen sein, dass der Zahnradkörper mit einer Abschreckgeschwindigkeit abgeschreckt wird, die ausgewählt ist aus einem Bereich von 1 °C/s bis 7 °C/s.

[0039] Bevorzugt wird das zumindest eine Elastomerelement unmittelbar nach dem Abschrecken auf den Zahnradkörper aufvulkanisiert.

[0040] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsvariante des Verfahrens kann vorgesehen sein, dass ein sinterhärtpbares Pulver zur Herstellung des Grünlings eingesetzt wird. Es wird darunter ein Eisen- oder Stahlpulver verstanden, das einen Anteil an zumindest einem Legierungselement aufweist, das die eutektische Umwandlung von Austenit zu Ferrit und Perlit verzögert. Beispielsweise kann das Pulver einen Anteil an Chrom, Nickel und/oder Molybdän aufweisen. Der Anteil an dem zumindest einem Element an dem Pulver zur Herstellung des Grünlings kann zwischen 0,4 Gew.-% und 5 Gew.-% betragen.

[0041] In der bevorzugten Ausführungsvariante des Verfahrens wird als Legierungselement Chrom zugesetzt, um das sinterhärtpbare Pulver zu erhalten. Der Anteil an Chrom an dem Pulver kann dabei der zwischen 1 Gew.-% und 5 Gew.-% betragen.

[0042] Beispielsweise können Pulver folgender Zusammensetzung in dem Verfahren eingesetzt werden: Fe+1,8%Cr+0,2%C; oder Fe+3%Cr+0,5%Mo+0,2%Cr

[0043] Es ist weiter bevorzugt, wenn der Zahnradkörper bis zu einer Dichte zwischen 6,8 g/cm³ und 7,4 g/cm³ verdichtet wird. Dazu kann die Oberfläche mittels Walzen, oder der gesamte Querschnitt beim Kalibrieren nach dem Sintern nachverdichtet werden. Es kann aber auch eine entsprechende Dichte schon beim Pressen erreicht werden.

[0044] Der Zahnradkörper kann mit einer Rautiefe nach DIN EN ISO 4287:1998 und DIN EN ISO 11562:1998 seiner Oberfläche hergestellt werden, die zwischen Rz1 und Rz10 beträgt. Dies kann beispielsweise durch Pressen und Sintern, oder Pressen, Sintern und weitere Verdichtungsverfahren erfolgen.

[0045] Im Folgenden werden einige Beispiele für die Herstellung des Sinterzahnrades angegeben.

[0046] Die Herstellung eines solchen pulvermetallurgischen Zahnrades erfolgt durch Verpressen eines Cr-vorlegierten Pulvers mit einer Zusammensetzung von Fe+3%Cr+0,5%Mo+0,5%C oder auch Fe+1,8%Cr+2%Ni+0,5%C auf eine Dichte zwischen 6,8 g/cm³ und 7,3 g/cm³. Die anschließende Sinterung erfolgt bei einer Sintertemperatur zwischen 1120 °C und 1300 °C in

einer N₂/H₂/C Atmosphäre für etwa 10 Minuten bis 30 Minuten auf Temperatur. Die anschließende Abkühlung erfolgt mittels Abschreckung aus der Sinterhitze mittels Gasabschrecken, wobei je nach Temperaturbereich Abkühlraten zwischen 1 °C/s und 7 °C/s erreicht werden. Die so sintergehärteten Bauteile weisen zumindest teilweise eine martensitische Struktur auf, und bedürfen keiner zusätzlichen Härtung. Die Rauhtiefe Rz liegt hier bei ca. 5.

[0047] Eine weitere Art der Herstellung eines solchen pulvermetallurgischen Zahnrades erfolgt durch Verpressen eines Cr-vorlegierten Pulvers mit einer Zusammensetzung von Fe+1,8%Cr+0,2%C oder auch Fe+1,8%Cr+2%Ni+0,2%C auf eine Dichte zwischen 6,8 g/cm³ und 7,3 g/cm³. Die anschließende Sinterung erfolgt bei einer Sintertemperatur zwischen 1120 °C und 1300 °C in einer N₂/H₂ Atmosphäre für etwa 10 Minuten bis 30 Minuten auf Temperatur. Anschließend an die Sinterung wird zum Teil eine Verdichtung des gesamten Bauteilquerschnitts beim Kalibrieren, oder der Oberfläche mittels Walzen oder Kalibrieren eingestellt. Die Bauteile werden einer zusätzlichen Aufkohlung in Form einer Niederdruckaufkohlung mit Hochdruckgasabschreckung mit 20 bar N₂ oder He unterzogen. Die Rauhtiefe Rz der Oberfläche beträgt hier ca. 2. Eine erhöhte Rauhtiefe erweist sich für die Haftung als hilfreich.

[0048] Für beide Prozessrouten erfolgt eine anschließende Vulkanisierung ohne weitere notwendige Wasch- und/oder chemische Reinigungsschritte, da die Bauteile nach dem Sinterhärten vollkommen trocken und insbesondere ölfrei sind.

[0049] Die entstehende Haftfestigkeit zwischen Metall und Elastomer wird über Auspressprüfungen analysiert. Dafür werden Auspressversuche durchgeführt, bei denen versucht wird, durch Aufbringen einer Axialkraft auf das Sinterzahnrad die Gummi/Metall-Verbindung zu lösen. Diese zeigen Resultate an speziellen Geometrien von > 30 kN.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Sinterzahnrades mit einem Zahnradkörper auf dem zumindest ein Elastomerelement angeordnet ist, nach dem durch Pressen eines Pulvers ein Grünling hergestellt wird, der Grünling zum Zahnradkörper gesintert und durch Aufkohlen und anschließendes Abschrecken oder Sinterhärten und anschließendes Abschrecken gehärtet wird und danach der gehärtete Zahnradkörper mit einem Gas abgeschreckt wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Zahnradkörper nach dem Abschrecken gestrahlt wird und dass ohne vorheriges Waschen und chemisches Reinigen des Zahnradkörpers auf diesen ein Haftvermittler aufgebracht wird, dass danach der Haftvermittler getrocknet wird und dass zur Ausbildung des zumindest einen Elastomerelements ein Elastomer bei einer Temperatur zwischen 90 °C und 250 °C innerhalb einer Zeitspanne von 1 Minute bis 20 Minuten auf den Zahnradkörper aufvulkanisiert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Aufkohlen des Zahnradkörpers mittels Niederdruckaufkohlen durchgeführt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein sinterhärtpbares Pulver zur Herstellung des Grünlings eingesetzt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein sinterhärtpbares Pulver eingesetzt wird, das einen Anteil an Chrom aufweist, der zwischen 1 Gew.-% und 5 Gew.-% beträgt.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Zahnradkörper bis zu einer Dichte zwischen 6,8 g/cm³ und 7,4 g/cm³ verdichtet wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Aufkohlen bis zu einer Tiefe des Zahnradkörpers erfolgt, gemessen von dessen Oberfläche aus, die ausgewählt ist aus einem Bereich von 100 µm bis 2000 µm.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Gasabschreckung mit N₂, N₂/H₂ oder He als Gas durchgeführt wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Zahnradkörper mit einer Abschreckgeschwindigkeit abgeschreckt wird, die ausgewählt ist aus einem Bereich von 1 °C/s bis 7 °C/s.

Hierzu keine Zeichnungen