



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

① CH 663 736 A5

⑤ Int. Cl.4: B 22 F 9/10

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ PATENTSCHRIFT A5

<p>⑰ Gesuchsnummer: 6896/83</p> <p>⑳ Anmeldungsdatum: 23.12.1983</p> <p>⑳ Priorität(en): 27.12.1982 US 453190</p> <p>㉔ Patent erteilt: 15.01.1988</p> <p>④⑤ Patentschrift veröffentlicht: 15.01.1988</p>	<p>㉗ Inhaber: United Technologies Corporation, Hartford/CT (US)</p> <p>㉘ Erfinder: Bourdeau, Romeo G., Tequesta/FL (US)</p> <p>㉙ Vertreter: Hug Interlizenz AG, Zürich</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

⑤④ Verfahren zur Herstellung von Metallpulver.

⑤⑦ Das Verfahren zur Herstellung von Metallpulver ("Metall" umfasst auch Metallegierungen) durch Aufgiessen eines flüssigen Metalls auf eine schnell rotierende Scheibe bei einer Temperatur, die wenigstens 111 °C über der Liquidustemperatur des Metalls liegt, umfasst folgende charakteristische Schritte: a) Bildung eines Überzugs auf der Scheibe aus einer stabilen Verbindung des Metalls (bzw. des Basismetalls der Legierung), wobei der Schmelzpunkt der Verbindung wenigstens 28 °C höher liegt als die Giesstemperatur des Flüssigmetalls und das Flüssigmetall hierbei neben der Verbindung bestehen kann (ableitbar aus dem Phasendiagramm dieser Stoffe); b) beim Aufgiessen auf die Scheibe bei der genannten Giesstemperatur bindet sich das Metall an die Verbindung, es bilden sich eine stabile Deckschale auf dem Überzug und - beim Wegschleudern von der Scheibe - feine flüssige Tröpfchen des Metalls, die hernach abgekühlt, verfestigt und gesammelt werden.

Anwendung insbesondere auf bei Giesstemperatur hochreaktive Metalle oder solche mit breitem Erstarrungsbereich.

PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zur Herstellung von Metallpulver durch Aufgiessen eines flüssigen Metalls auf die Oberfläche einer schnell rotierenden Scheibe bei einer Temperatur, die wenigstens 111 °C (200 °F) höher ist als seine Liquidus-Temperatur, gekennzeichnet durch die Stufen:

– Ausbildung eines Überzugs aus einer Verbindung C auf der Scheibe, wobei die Verbindung C während des Verfahrens stabil ist und das aufgegiessene Metall umfasst, wenn dieses Metall nicht legiert ist, oder, wenn das Metall eine Legierung ist, das Basismetall dieser Legierung umfasst, wobei die Verbindung C einen Schmelzpunkt aufweist, der wenigstens 28 °C (50 °F) höher liegt als die Giesstemperatur des flüssigen Metalls, und wobei das flüssige Metall bei der Giesstemperatur des flüssigen Metalls neben der Verbindung C koexistieren kann;

– Aufgiessen eines flüssigen Stroms des Metalls, das in ein Pulver umgewandelt werden soll, auf die überzogene, schnell rotierende Scheibe bei der genannten Giesstemperatur, wobei es zu einer Bindung des genannten Metalls an die Verbindung C kommt und sich eine stabile Deckschale aus dem genannten Metall über dem Überzug bildet und sich feine flüssige Tröpfchen des Metalls bilden, wenn das Metall von der Scheibe weggeschleudert wird;

– Abkühlen der flüssigen Metalltröpfchen, nachdem sie die Oberfläche der Scheibe verlassen haben, um die Tröpfchen zu verfestigen;

und

– Sammeln der verfestigten Tröpfchen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Stufe der Ausbildung eines Überzugs auf der Scheibe so durchgeführt wird, dass die Scheibe zuerst mit einem Element M, das beim Kontakt mit dem flüssigen Metall die Verbindung C ausbildet, überzogen wird, wonach das flüssige Metall auf die mit M überzogene, schnell rotierende Scheibe aufgegiessen wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das hergestellte Metallpulver eine Titanlegierung ist, und dass die Verbindung C aus einer Gruppe ausgewählt ist, die aus TiC, TiB₂ und TiN besteht.

4. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass das hergestellte Metallpulver eine Titanlegierung oder eine Zirkonium-Legierung ist, und dass das Element M aus einer Gruppe ausgewählt ist, die aus Kohlenstoff und Bor besteht.

5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das hergestellte Metallpulver eine Zirkonium-Legierung ist, und dass die Verbindung C aus einer Gruppe ausgewählt ist, die aus ZrC, ZrB₂ und ZrN besteht.

6. Verfahren nach Anspruch 1 zur Herstellung eines Metallpulvers durch Aufgiessen einer flüssigen Metallegierung L auf die Oberfläche einer schnell rotierenden Scheibe, wobei die aufgegiessene Metallegierung L eine Erstarrungszone von wenigstens 111 °C (200 °F) aufweist und ein Basismetall B umfasst, und wobei diese Metallegierung bei einer Temperatur aufgegiessen wird, die wenigstens 111 °C (200 °F) höher liegt als seine Liquidus-Temperatur, gekennzeichnet durch die Stufen:

– Ausbilden eines Überzugs einer Verbindung C des Basismetalls B auf der Scheibe, wobei diese Verbindung C einen Schmelzpunkt aufweist, der wenigstens 28 °C (50 °F) höher liegt als die Temperatur, mit der die Legierung L aufgegiessen wird, und wobei bei der Giesstemperatur das Basismetall B in flüssiger Form und die Verbindung C nebeneinander koexistieren können;

– Aufgiessen eines flüssigen Stroms der Legierung L auf die überzogene, schnell rotierende Scheibe mit der genannten Giesstemperatur, wobei es zu einer Bindung der Legierung L

an die Verbindung C kommt und sich eine stabile Deckschale der Legierung L über dem Überzug aus der Verbindung C ausbildet und sich feine flüssige Tröpfchen der Legierung L bilden, wenn die Legierung von der Scheibe weggeschleudert wird;

– Abkühlen der Tröpfchen, nachdem diese die Scheibe verlassen haben, um die Legierung L zu verfestigen;

und

– Sammeln der verfestigten Legierung.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Basismetall B Aluminium ist.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Verbindung C eine Verbindung aus Aluminium und einem Element ist, das aus einer Gruppe ausgewählt ist, die aus Nb, Mo, Zr, Ti, Ta und B besteht.

9. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Verbindung C nur Elemente umfasst, die in dem Basismetall B nur zu weniger als 10 Atom-Gew.-% unter den Bedingungen der Durchführung des Verfahrens löslich sind.

10. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Verbindung C nur Elemente umfasst, die in dem Basismetall B nur zu weniger als 5 Atom-Gew.-% unter den Bedingungen der Durchführung des Verfahrens löslich sind.

11. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Scheibe eine Keramik-Schicht umfasst, und dass die Stufe der Ausbildung des Überzugs das Überziehen der Keramik-Schicht umfasst.

12. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass ein Überzug aus der Verbindung C dadurch auf der Scheibe ausgebildet wird, dass die Verbindung C durch Plasmaspritzen auf die Scheibe aufgebracht wird.

13. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Stufe der Ausbildung eines Überzugs aus der Verbindung C auf der Scheibe so durchgeführt wird, dass die Scheibe zuerst mit einem Element M überzogen wird, das mit dem Basismetall B bei der Giesstemperatur der flüssigen Legierung L die Verbindung C bildet, wonach die flüssige Legierung L auf die mit M überzogene schnell rotierende Scheibe aufgegiessen wird, wobei sich der Überzug aus der Verbindung C bildet, und dass danach die stabile Deckschale aus der Legierung L über dem genannten Überzug ausgebildet wird.

14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass M eine solche Löslichkeit in dem Basismetall B aufweist, die unter den Bedingungen der Durchführung des Verfahrens weniger als 10 Atom-Gew.-% beträgt.

15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass das Basismetall B Aluminium ist, und dass M aus einer Gruppe ausgewählt ist, die aus Nb, Mo, Zr, Ti, Ta und B besteht.

16. Verfahren zur Herstellung von Metallpulver durch Aufgiessen einer flüssigen Metallegierung L auf die Oberfläche einer schnell rotierenden Scheibe, bei dem die Legierung L ein Basismetall B umfasst und bei einer Temperatur aufgegiessen wird, die wenigstens 111 °C (200 °F) höher ist als seine Liquidus-Temperatur, gekennzeichnet durch die Stufen:

– Überziehen der schnell rotierenden Scheibe mit einem Element M, das mit dem Basismetall B bei der Temperatur, bei der die Metallegierung L aufgegiessen wird, eine Verbindung C ausbildet, wobei die Verbindung C einen Schmelzpunkt aufweist, der höher liegt als der Schmelzpunkt von M und höher als die Temperatur, mit der die Metallegierung L aufgegiessen wird, wobei die Löslichkeit des Elementes M in dem Basismetall B unter den Bedingungen der Durchführung des Verfahrens geringer ist als 10 Atom-Gew.-%, und wobei die Löslichkeit der Verbindung C in dem Basismetall B geringer ist als die Löslichkeit von M in B;

– Aufgiessen eines flüssigen Stroms der Metallegierung L auf die schnell rotierende Scheibe, die mit M überzogen ist, um eine verfestigte Schicht der Verbindung C auf der Oberfläche der Scheibe auszubilden, wenn die Metallegierung L aufgegossen wird;

– Fortsetzen des Aufgiessens der Metallegierung L auf die verfestigte Schicht, so dass es zu einer Verbindung der Metallegierung L mit der verfestigten Schicht der Verbindung C kommt und sich eine stabile Deckschale aus der Metallegierung L auf der Oberfläche der verfestigten Schicht ausbildet und dass sich feine flüssige Tröpfchen der Metallegierung L bilden, wenn die flüssige Metallegierung L von der Scheibe weggeschleudert wird;

– Abkühlen der flüssigen Metallegierung L, nachdem sie die Scheibenoberfläche verlassen hat, um das Metall L zu verfestigen; und

– Sammeln der verfestigten Metallegierung L.

BESCHREIBUNG

Es ist dem Fachmann gut bekannt, dass Metallpulver und Metallspritzer (splats) dadurch erzeugt werden, dass man ein geschmolzenes Metall auf die obere Oberfläche einer schnell rotierenden Scheibe aufgiess, die Tröpfchen aus dem geschmolzenen Metall nach aussen in eine Abschreckkammer und/oder gegen eine Abkühlplatte (splat plate) weggeschleudert. Der Rumpf der Atomisierscheibe ist typischerweise aus einem hochfesten Metall hergestellt, das die Fliehkraftbelastungen bei den hohen Rotationsgeschwindigkeiten und die Temperaturen, denen es ausgesetzt wird, aushält. Daher sind die Rumpfteile der Atomisierscheiben typischerweise aus einem Metall mit hoher thermischer Leitfähigkeit, wie beispielsweise Kupfer oder einer Kupferlegierung hergestellt, und wassergekühlt, damit ein Schmelzen und/oder eine Erosion verhindert wird. Leider führt das dazu, dass eine übermässige Wärmemenge aus dem auf die Scheibe aufgegossenen Metall abgeführt wird, was es erforderlich macht, grosse Mengen Superwärme anzuwenden (d. h. hohe Giesstemperaturen des geschmolzenen Metalls), die zu Schwierigkeiten führen können, zu denen ein mögliches Schmelzen im Zentrum der Atomisier-Scheibe gehört. Es ist ausserdem schon früh erkannt worden, dass die Metalle, die zur Erzeugung der Atomisier-Scheiben-Struktur geeignet sind, manchmal mit dem aufgegossenen geschmolzenen Metall reagieren, wodurch sie das hergestellte Metallpulver verschmutzen. Die obigen Probleme treten verschärft in Erscheinung, wenn Metalle atomisiert werden, die bei hohen Temperaturen hochreaktiv werden, oder wenn das zu atomisierende Metall eine Legierung ist, die einen grossen Erstarrungsbereich aufweist, der es erforderlich macht, noch höhere Giesstemperaturen für das geschmolzene Metall zu wählen, als für die Atomisierung der einzelnen Elemente der Legierung erforderlich sein würden.

Eine frühe Lösung für dieses Problem betrifft das Aufbringen einer Schicht aus einem feuerfesten Material auf die Deckoberfläche der Metall-Atomisierscheibe (US-PS 2 439 772, J. T. Gow). Es wurde dabei angenommen, dass das feuerfeste Material nicht nur das darunterliegende Metall der Scheibe thermisch schützt, sondern dass es auch inert oder nicht reaktiv gegenüber den meisten geschmolzenen Metallen ist. Selbst heute noch wird auf dem Gebiet der Hochgeschwindigkeit-Rotationsatomisierung zur Herstellung von Pulvermetall das geschmolzene Metall auf eine Keramikschicht aufgegossen, die an die Oberfläche einer Metall-Atomisierscheibe gebunden ist, wie z. B. in der US-PS 4 178 335 (R. A. Metcalfe und R. G. Bourdeau) und

4 310 292 (R. L. Carlson und W. H. Schaefer) gezeigt wird.

Wie dabei in der oben erwähnten US-PS 4 178 335 ausgeführt wird, ist es wünschenswert, wenn nicht erforderlich, eine verfestigte, stabile Deckschale («Schädeldcke», «Bär») aus dem aufgegossenen Metall auf der Keramik-Oberfläche der Atomisierscheibe zu erzeugen, um eine richtige Atomisierung zu erhalten. Im Falle von Legierungen mit einem breiten Erstarrungsbereich ist es schwierig und oftmals unmöglich, eine Bindung der geschmolzenen Legierung an die Oberfläche der Keramikscheibe zu erhalten. In der US-PS 2 699 576 (Colbry et al) wird Magnesium auf einer Stahlscheibe (die keinen Keramiküberzug aufweist) atomisiert. Um eine Bindung zu erhalten, werden dem Magnesium Zink und Zirkonium zugesetzt.

Aluminiumlegierungen und gewisse andere Legierungen, die hohe Konzentrationen von Übergangs- und anderen Elementen (d. h. Fe, Ni, Mo, Cr, Ti, Zr und Hf) aufweisen, weisen sehr hohe Schmelztemperaturen auf und werden gegenüber vielen Materialien, einschliesslich Keramiken, sehr reaktiv; ausserdem können sie einen sehr breiten Erstarrungsbereich aufweisen, in einigen Fällen von mehr als 278 °C (500 °F), der die Ausbildung einer Deckschale oder verfestigten Schicht auf der Oberfläche des Atomisierers verhindert. Eine Zahl anderer Legierungen, einschliesslich nicht-eutektische Legierungen von Eisen, Kupfer, Nickel und Kobalt, gehören zu einer Klasse, die ebenfalls einen breiten Erstarrungsbereich zeigt und daher schwierig ordnungsgemäss zu atomisieren ist. Andere Legierungen, die die reaktiven Metalle Chrom, Titan, Zirkonium und Magnesium enthalten, stellen infolge ihrer hohen Reaktivität mit Materialien ein Problem dar, insbesondere wenn sie mit Elementen legiert sind, die ihre Schmelzpunkte steigern und ihren Erstarrungsbereich vergrössern.

Aus den obigen Ausführungen wird ersichtlich, dass Atomisierscheiben des Standes der Technik, die Keramiküberzüge aufweisen, gewisse Nachteile aufweisen, die noch nicht beseitigt werden konnten.

Im Hinblick auf den repräsentativen Stand der Technik für das Gebiet der Rotations-Atomisierung sind noch die folgenden zusätzlichen US-PSen zu nennen: 4 069 045; 3 721 511; 4 140 462; 4 207 040 und das britische Patent 754 180.

Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein verbessertes Verfahren zur Erzeugung von Metallpulvern durch Atomisieren zu schaffen.

Insbesondere ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein verbessertes Verfahren zur Erzeugung von Metallpulvern aus hochreaktiven Metallen oder Metallen mit breiten Liquidus/Solidus-Temperatur-Bereichen zu schaffen.

Diese Aufgabe wird durch Verfahren gelöst, wie sie in den Patentansprüchen beschrieben sind.

Mit besonderem Vorteil kann die Erfindung angewendet werden bei der Atomisierung 1) hochreaktiver Metalle (im Rahmen der vorliegenden Beschreibung und der Ansprüche bedeutet das Wort «Metall» sowohl ein nicht-legiertes Metall als auch eine Metallegierung, wenn es nicht anders angegeben ist), und ausserdem 2) solcher Metalle, die eine breite Liquidus/Solidus-Zone aufweisen, wobei Giesstemperaturen zur Anwendung gelangen können, die wenigstens 223 °C (400 °F) und häufig 389 °C (700 °F) oder mehr über der Solidus-Temperatur des zu atomisierenden Metalls liegen. Bekannte Keramikoberflächen können wegen der Erosion der Keramik nicht immer für derartige Materialien verwendet werden (die Erosion ist ein Ergebnis von Reaktionen mit den Elementen des keramischen Materials); und im Falle von Metallen, die einen breiten Erstarrungsbereich aufweisen, wird eine Verbindung (Kupplung) der Keramik mit dem geschmolzenen Metall verhindert und es bildet sich keine stabi-

le verfestigte Deckschale aus, was eine richtige Atomisierung verhindert.

Gemäss dem erfindungsgemässen Verfahren wird die Scheibe mit einer Verbindung überzogen, die 1) unter den Bedingungen der Durchführung des Verfahrens stabil ist, 2) einen Schmelzpunkt über der Giesstemperatur des zu atomisierenden Materials aufweist, und 3) sich mit dem aufgegossenen flüssigen Metall verbindet, im Sinne einer Haftung, so dass sich eine verfestigte, stabile Deckschale des Metalls, das atomisiert wird, auf der Oberfläche der Verbindung ausbilden kann. Eine Bindung wird in Fällen, wenn das zu atomisierende Metall einen hohen Erstarrungsbereich aufweist, dadurch sichergestellt, dass man die Verbindung so auswählt, dass eines ihrer Elemente (nachfolgend als erstes Element bezeichnet) so ausgewählt wird, dass es auch das Hauptelement des zu atomisierenden Metalles ist. Das andere Element oder die anderen Elemente (nachfolgend gelegentlich als zweite Elemente bezeichnet) der Verbindung werden vorzugsweise so ausgewählt, dass sie eine geringe Löslichkeit in dem Hauptelement des zu atomisierenden Materials aufweisen. Obwohl eine niedrige Löslichkeit bevorzugt ist (um die Wahrscheinlichkeit zu steigern, dass der Überzug unversehrt bleibt), muss das nicht in allen Systemen erforderlich sein. Das Grundkriterium ist, dass das Hauptelement des zu atomisierenden Metalles in geschmolzener Form mit der Verbindung des Überzugs bei der Giesstemperatur des Metalls koexistieren kann, was aus den Phasen-Diagrammen der beteiligten Materialien zu erkennen ist. Es wird angenommen, dass trotz der Tatsache, dass es bekannt ist, dass das zweite Element des Überzugs bei der Giesstemperatur in dem Hauptelement des aufgegossenen Metalls löslich ist, ein derartiges Auflösen in einem nennenswerten Ausmass unwahrscheinlich ist, wenn bei der Giesstemperatur das binäre Phasen-Diagramm des sekundären und des Haupt-Elements zeigt, dass die Verbindung der beiden Elemente (d. h. die Überzugs-Verbindung) mit dem Hauptelement des zu atomisierenden Metalls koexistieren kann.

In Fällen, in denen das zu atomisierende Metall einen schmalen Erstarrungsbereich aufweist, jedoch bei der Giesstemperatur hochreaktiv ist, ist die Bindung und die Ausbildung einer Deckschale normalerweise kein Problem. Wie im vorausgehenden Fall muss jedoch das zu atomisierende flüssige Metall in der Lage sein, bei den Giesstemperaturen des Metalls mit der Überzugs-Verbindung ausweislich des binären Phasen-Diagramms der betreffenden Elemente zu existieren.

Wie dem Fachmann gut bekannt ist, ist es bevorzugt, zum Schutz des darunterliegenden Metallrumpfes der Atomisierscheibe gegen Schmelzen unter der Überzugs-Verbindung eine Schicht einer Keramik mit einer niedrigen thermischen Leitfähigkeit vorzusehen. Es ist mit anderen Worten bevorzugt, dass die Scheibe über ihrem Metallrumpf eine Isolierschicht aus Keramik aufweist, und dass der Verbindungs-Überzug auf der Keramikschicht ausgebildet oder auf diese aufgebracht wird.

Die obigen Angaben sowie weitere Aufgaben, Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden für den Fachmann in der nachfolgenden Beschreibung in genaueren Einzelheiten erläutert.

Wie oben erläutert wurde, wird gemäss der vorliegenden Erfindung zur Vermeidung der Probleme im Zusammenhang mit der Atomisierung von hochreaktiven legierten und nicht-legierten Metallen und von solchen Metallegierungen, die einen breiten Erstarrungsbereich (wenigstens 111 °C (200 °F)) aufweisen, die Atomisierscheibe mit einer Verbindung C überzogen, die als erstes oder Primärelement das Basismetall B des Metalls L, das atomisiert werden soll, enthält. (Anmerkung: Das Basismetall B des Metalls L wird nachfolgend als

«Haupt»-Element von L bezeichnet. Das «Haupt»-Element eines nichtlegierten Metalls L ist dabei das Metall selbst.) Das zweite oder Sekundär-Element der Verbindung C wird hierin mit dem Buchstaben M bezeichnet. Das Element M wird zuerst auf der Grundlage ausgewählt, dass die Verbindung C einen Schmelzpunkt von wenigstens 28 °C (50 °F) über der Temperatur aufweist, mit der L auf die schnell rotierende Scheibe aufgegossen wird. Vorzugsweise liegt der Schmelzpunkt der Verbindung C wenigstens 166 °C (300 °F) höher als die Giesstemperatur von L.

Das Element M wird ausserdem so ausgewählt, dass die Verbindung C, von der M ein Teil ist, bei der Giesstemperatur von L mit dem geschmolzenen Basismetall B koexistieren kann (trotz einer Löslichkeit von M in B bei den Temperaturen der Durchführung des Verfahrens), wie sich aus dem binären Phasen-Diagramm von M und B erkennen lässt. Wenn C und B bei den Giesstemperaturen koexistieren können, ist es wahrscheinlich, dass die Verbindung C in Form eines Überzugs auf der Scheibe unter den Bedingungen der Durchführung des Verfahrens stabil bleibt.

Vorzugsweise wird zur Steigerung der Wahrscheinlichkeit der Stabilität der Verbindung C das Element M so ausgewählt, dass es unter den Bedingungen der Durchführung des Verfahrens eine geringe Löslichkeit in B aufweist, und die Verbindung C weist dann in B eine noch niedrigere Löslichkeit auf, so dass die Verbindung C bei der Giesstemperatur von L in L stabil ist. Vorzugsweise beträgt die Löslichkeit von M in B weniger als 10 Atom-Gew.-%, besonders bevorzugt weniger als 5 Atom-Gew.-% unter den Bedingungen der Durchführung des Verfahrens. Die niedrige Löslichkeit sowohl der Verbindung C als auch des Elements M in B eliminiert im wesentlichen die Möglichkeit nennenswerter Reaktionen zwischen L und dem Überzug C, wenn L auf diesen aufgegossen wird, trotz der hohen Giesstemperaturen; und da sowohl der Scheibenüberzug C als auch das Metall L B enthalten, kommt es zu einer unmittelbaren Bindung zwischen L und dem Überzug C mit einer darauffolgenden und im wesentlichen sofortigen Ausbildung einer stabilen Deckschale aus dem Metall L. Wenn sich diese Deckschale einmal ausgebildet hat, werden sehr feine, unverschmutzte Tröpfchen des Metalls L von der schnell rotierenden Scheibe weggeschleudert.

Das Aufbringen des Überzugs aus der Verbindung C auf die Scheibe kann auf zweierlei Weise erfolgen. Gemäss einem Aspekt der vorliegenden Erfindung wird das Sekundär-Element M, aus dem die Verbindung C hergestellt ist, zuerst auf die Oberfläche der Scheibe aufgebracht, beispielsweise durch Plasmaspritzen oder nach einer anderen geeigneten Technik. Das zu atomisierende Metall L wird wie bei einem normalen Arbeitsdurchgang auf die Oberfläche der überzogenen, schnell rotierenden Scheibe aufgegossen und bildet zu Beginn des Arbeitsdurchgangs im wesentlichen sofort mit dem Element M einen Überzug aus der Verbindung C. Die Bindung und die Ausbildung einer stabilen Deckschale aus dem Metall L erfolgt nahezu sofort im Anschluss daran. Das Aufgiessen des geschmolzenen L auf die Scheibe kann kontinuierlich fortgesetzt werden, um das geschmolzene Material zu atomisieren.

Alternativ dazu kann die Scheibe einfach vor Arbeitsbeginn mit der Verbindung C überzogen werden, beispielsweise durch Plasmaspritzen. Das erhaltene Pulver sollte in beiden Fällen das gleiche sein, und zwar gleich ob die Verbindung C direkt auf die Oberfläche der Scheibe vor Arbeitsbeginn aufgebracht wurde, oder ob sie während der ersten Sekunden des Arbeitsdurchgangs wie oben beschrieben gebildet wird. In beiden Fällen wird sichergestellt, dass gemäss dem erfindungsgemässen Verfahren eine Bindung des flüssigen Metalls an die Scheibenoberfläche erfolgt und sich während des

Arbeitsdurchgangs eine stabile Deckschale ausbildet. Es kommt dabei tatsächlich zu keinem Auflösen des Scheibenüberzugs, noch zu einer Verunreinigung des gebildeten Pulvers, selbst bei hochreaktiven Metallen und hohen Giesstemperaturen.

Wie oben erwähnt wurde, ist das erfindungsgemässe Verfahren mit Vorteil bei solchen Metallegierungen anwendbar, die einen breiten Liquidus/Solidus-Temperaturbereich (d. h. einen breiten Erstarrungsbereich) von z. B. mehr als 111 °C aufweisen. Viele Legierungen von Fe, Ni, Co, Cr, Mg und Al gehören in diese Kategorie. Die Verarbeitung derartiger Metallegierungen zu Pulvern auf dem Wege der Rotations-Atomisierungstechnik erfordert es, dass sie mit Temperaturen aufgegossen werden, die beträchtlich höher sind als ihre Solidus- oder Schmelz-Temperatur, damit ihre Temperatur ihre Liquidus-Temperatur ausreichend deutlich übersteigt.

Das gewährleistet es, dass die Verfestigung des flüssigen Metalls während der Atomisierung nicht einsetzt, bevor es von der rotierenden Scheibe weggeschleudert wird (ausgenommen die Anfangsphase unter Bildung einer stabilen Deckschale). Somit kann zur Atomisierung von Legierungen, wie sie in Tabelle I angeführt sind, die Atomisierscheibe vorausgehend mit beispielsweise Ta, Nb, Mo oder Zr überzogen werden, die mit Aluminium hochstabile, Hochtempe-

Tabelle 1
Aluminiumlegierungen

Legierung	Liquidus		Solidus		ΔT	
	°F	°C	°F	°C	°F	°C
Al-10Be	1832	1000	1200	649	632	351
Al-2Nb	2190	1200	1223	662	967	538
Al-10Co	1635	890	1214	657	421	233
Al-10Cr	1700	926	1223	661	477	265
Al-2Hf	1630	890	1223	662	407	228
Al-8Fe	1575	850	1210	655	365	195
Al-2Mo	2012	1100	1355	737	367	363
Al-5Zr	2012	1100	1223	601	789	499
Al-2V	1832	1000	1223	662	609	338
Al-5Ti	2012	1100	1224	665	788	435
Al-10B	2318	1270	1787	975	531	295
Al-8Fe-2Mo	1830	1000	1300	704	530	296

Tabelle 2
Schmelzpunkte von Elementen und Verbindungen

Element	Schmelzpunkt		Verbindung	Schmelzpunkt	
	°F	°C		°F	°C
Nb	4474	2468	NbAl ₃	2925	1607
			Nb ₂ Al	3403	1873
Mo	4730	2610	Mo ₃ Al	3902	2150
			MoAl ₂	3686	2030
Zr	3389	1865	ZrAl ₂	2997	1647
			ZrAl ₃	2880	1582
			ZrC	6000	3316
			ZrB	5500	3038
Ti	3042	1672	TiAl	2682	1472
			TiAl ₃	2448	1342
			TiB ₂	5252	2900
			TiC	5600	3093
			TiN	5340	2949
B	4172	2300	AlB ₁₂	3758	2070
Ta	5432	3000	Al ₃ Ta	2102	1550
			AlTa ₂	3632	2000

ratur-Verbindungen bilden, wie beispielsweise einige der Aluminiumverbindungen in Tabelle II. Alternativ können diese Aluminiumverbindungen direkt auf die Oberfläche der Scheibe aufgebracht (d. h. an diese gebunden) werden.

Reines Aluminium wird bei etwa 660 °C (1220 °F) flüssig. Um durch Rotationsatomisierung ein Aluminiumpulver zu erzeugen, muss das Aluminium auf wenigstens etwa 827 °C (1520 °F) überhitzt werden. Über etwa 982 °C (1800 °F) ist Aluminium gegenüber den Elementen in den keramischen Werkstoffen, die typischerweise zum Überziehen der Oberfläche von Atomisierern des Standes der Technik verwendet werden, hochreaktiv. Viele Aluminiumlegierungen stellen dabei sogar noch ein grösseres Problem dar, weil sie einen breiten Erstarrungsbereich aufweisen, der es erforderlich macht, höhere Giesstemperaturen anzuwenden, die zu einer gesteigerten Reaktivität führen. In Tabelle I sind die Liquidus- und Solidus-Temperaturen von verschiedenen Aluminiumlegierungen angeführt, und der Unterschied (ΔT) zwischen diesen Temperaturen kennzeichnet die Breite der Erstarrungszone. Diese Legierungen müssen mit Temperaturen von wenigstens 111 °C (200 °F) über ihren Liquidus-Temperaturen aufgegossen werden. Wenn derartige Legierungen direkt auf eine keramische Oberfläche gegossen werden, bildet sich keine Deckschale oder erstarrte Schicht auf dem Atomisierer, und es kommt somit zu keiner Benetzung oder Bindung der geschmolzenen Legierung an die Oberfläche des Atomisierers.

Tabelle III zeigt die Löslichkeit verschiedener Elemente in flüssigem Aluminium bei verschiedenen Temperaturen.

Diese Tabelle kann in Verbindung mit Tabelle II dazu verwendet werden, Überzüge für eine Scheibe auszusuchen, die für das Atomisieren von — beispielsweise — einigen der Legierungen von Tabelle I verwendet werden sollen. Nb, Mo, Zr, B, Ta, W und Ti sind dabei besonders attraktiv als Anfangs-Überzüge für die Atomisierscheibe, und zwar infolge ihrer geringen Löslichkeit in flüssigem Aluminium. Tabelle II zeigt die Schmelzpunkte einiger der Verbindungen, die die Elemente von Tabelle III beim Kontakt mit geschmolzenem Aluminium bilden würden. Dabei sind die sehr hohen Schmelzpunkte dieser Verbindungen bemerkenswert. Der Vorteil einer Verwendung dieser Verbindungen als Scheibenüberzug ist, dass sie ausser ihren hohen Schmelzpunkten tatsächlich gegenüber flüssigem Aluminium nicht reaktiv sind. Die anderen Elemente der Tabelle III, nämlich Co und Fe können, obwohl sie in Aluminium stärker löslich sind, ebenfalls befriedigende Ergebnisse liefern, wenn die Verbindung, die von ihnen mit Aluminium gebildet wird, mit geschmolzenem Aluminium bei der Giesstemperatur des Aluminiums koexistieren kann. Tabelle III soll dabei nicht alle möglichen Elemente erschöpfend aufzählen, die bei der Durchführung der vorliegenden Erfindung von Nutzen sein können.

Tabelle 3

Löslichkeit von Elementen in flüssigem Aluminium

Element	1093 °C (2000 °F)	Temperatur 1204 °C (2200 °F)	1316 °C (2400 °F)
Nb	0.5(1.5)	0.8(2.4)	2.0(6)
Mo	1.5(4)	3.0(7)	4.0(10)
Zr	1.7(5)	3.3(10)	6.0(18.5)
B	2.5(5)	4.0(8)	6.0(12)
Ta	7.0(30)	9.0(40)	11.0(45)
Ti	3.0(5)	6.5(10)	
W	4.0(20)	7.5(36)	
Co	18.0(32)	24.0(41)	
Fe	16.0(27)	38.0(57)	

Im Falle von Metallegierungen, die bei den Temperaturen, bei denen sie aufgegossen werden müssen, hochreaktiv sind (und zwar gleich, ob diese Temperaturen sehr hoch sind oder nicht), so dass sie normalerweise mit den keramischen Überzügen des Standes der Technik reagieren würden, kann derselbe Lösungsweg zur Lösung des Problems beschritten werden wie im Falle von Legierungen mit einem breiten Erstarrungsbereich. D.h. die Atomisierer-Scheibe kann zuerst mit einem ersten Metall überzogen werden, das mit dem Basismetall der Legierung unter den Bedingungen der Durchführung des Verfahrens eine stabile Verbindung ausbildet. Alternativ dazu können derartige stabile Verbindungen direkt auf die Oberfläche der Scheibe aufgebracht werden. Das erste Metall weist vorzugsweise eine sehr niedrige Löslichkeit in dem Basismetall bei den Giesstemperaturen auf, muss diese Eigenschaft jedoch nicht zeigen, wenn die gebildete Verbindung bei den Bedingungen der Durchführung des Verfahrens mit dem Basismetall koexistieren kann. Beispielsweise können Titanlegierungen und Zirkoniumlegierungen auf einer Scheibe atomisiert werden, auf denen als Überzug eine Verbindung des Basismetalls (Ti oder Zr, je nachdem) mit Elementen wie Kohlenstoff, Bor oder Stickstoff erzeugt wurde. Derartige Verbindungen weisen alle Schmelzpunkte oberhalb von 2760 °C (5000 °F) auf (vgl. Tabelle II). Diese Verbindungen können alle bei den anzunehmenden Giesstemperaturen der Basismetalle mit diesen Basismetallen ko-

existieren und sollten daher unter den Bedingungen der Durchführung des Verfahrens stabil sein.

Wenn (bei der Giesstemperatur) hochreaktive, nichtlegierte Metalle atomisiert werden sollen, können dieselben Prinzipien zur Anwendung kommen. Die Scheibe wird mit einem ersten Material überzogen, das mit dem zu atomisierenden Metall eine stabile Verbindung bildet, wenn sie miteinander in Kontakt kommen. Oder eine derartige stabile Verbindung kann direkt auf die Scheibenoberfläche aufgebracht werden. Das erste Material wird dabei so ausgewählt, dass die gebildete Verbindung mit dem aufzugießenden Metall unter den Bedingungen der Durchführung des Verfahrens koexistieren kann, so dass es zu keiner Auflösung des Überzugs kommt. Die Verbindung muss eine Schmelztemperatur aufweisen, die wenigstens 28 °C (50 °F) und vorzugsweise wenigstens 166 °C (300 °F) höher liegt als die Giesstemperatur des Metalls. Um nichtlegierte Metalle wie Ti und Zr zu atomisieren, können beispielsweise die Verbindungen dieser Metalle mit Kohlenstoff, Bor oder Stickstoff verwendet werden.

Obwohl in der obigen Beschreibung die vorliegende Erfindung unter Bezugnahme auf bevorzugte Ausführungsformen beschrieben wurde, ist es für den Fachmann selbstverständlich, dass verschiedene Änderungen und Weglassungen bei der Ausführung und bei Einzelheiten möglich sind, ohne dass der Bereich der vorliegenden Erfindung verlassen wird.

30

35

40

45

50

55

60

65