

(19)



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG
Ministère de l'Économie

(11)

N° de publication :

LU103141

(12)

BREVET D'INVENTION**B1**

(21)

N° de dépôt: LU103141

(51)

Int. Cl.:

B01D 53/58, B01J 23/26, B01J 23/75, B01J 19/24, B01J 23/755, C01B 3/04

(22)

Date de dépôt: 05/06/2023

(30)

Priorité:

(72)

Inventeur(s):

KREMER Ruth – Allemagne, FISCHER Tobias –
Allemagne, BRAKHANE Thorsten – Allemagne

(43)

Date de mise à disposition du public: 05/12/2024

(74)

Mandataire(s):

THYSSENKRUPP INTELLECTUAL PROPERTY GMBH –
45143 Essen (Allemagne)

(47)

Date de délivrance: 05/12/2024

(73)

Titulaire(s):

THYSSENKRUPP UHDE GMBH – 44141
DORTMUND (Allemagne), THYSSENKRUPP AG – 45143
Essen (Allemagne)

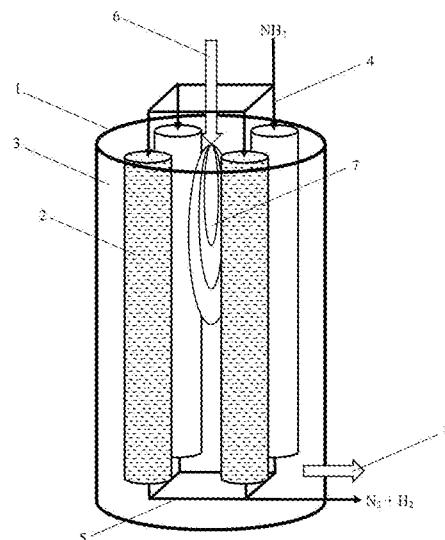
(54)

Reaktoren und Reaktorbauteile zur Zersetzung von NH₃ bei hohen Temperaturen.

(57)

Die Erfindung betrifft Reaktoren und Reaktorbauteile, welche bei hohen Temperaturen und mittlerem Druck eine gute Beständigkeit gegenüber NH₃ und N₂ und ggf. H₂O aufweisen, so dass sie bei der katalytischen Zersetzung von NH₃ zu N₂ und H₂ in großtechnischem Maßstab eingesetzt werden können.

Abbildung 1



Reaktoren und Reaktorbauteile zur Zersetzung von NH_3 bei hohen Temperaturen

[0001] Die Erfindung betrifft Reaktoren und Reaktorbauteile, welche bei hohen Temperaturen und mittlerem Druck eine gute Beständigkeit gegenüber NH_3 und N_2 und ggf. H_2O aufweisen, so dass sie bei der katalytischen Zersetzung von NH_3 zu N_2 und H_2 in großtechnischem Maßstab eingesetzt werden können.

[0002] H_2 kann durch erneuerbare Energien elektrolytisch aus H_2O gewonnen und anschließend mit N_2 in NH_3 umgewandelt werden. NH_3 lässt sich weitaus sicherer als H_2 speichern und transportieren. Anschließend kann NH_3 wieder zu H_2 und N_2 zersetzt werden. Nach Abtrennung von N_2 findet H_2 unterschiedlichste industrielle Anwendungen.

[0003] Die Zersetzung von NH_3 zu N_2 und H_2 ist eine endotherme Reaktion ($\Delta H^\circ = 45,9 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$), bei der sich die Stoffmenge verdoppelt ($2 \text{ NH}_3 \rightarrow \text{N}_2 + 3 \text{ H}_2$), so dass die Reaktion grundsätzlich durch hohe Temperaturen sowie niedrige Drücke begünstigt wird. Je höher der Druck ist, desto höher muss die Temperatur sein, um noch zufriedenstellende Reaktionsausbeuten zu erreichen.

[0004] Die Reaktionstemperatur, bei der die katalytische Zersetzung von NH_3 abläuft, ist insbesondere durch die Wahl des NH_3 -Zersetzungskatalysators vorgegeben. Als Katalysatoren für die Zersetzung von NH_3 wurde eine Vielzahl von Materialien vorgeschlagen, welche bei unterschiedlichen Temperaturen aktiv sind (vgl. z.B. Il. Lucentini et al., Ind. Eng. Chem. Res. 2021, 60, 18560-18611).

[0005] Für großtechnische Umsetzungen sind jedoch vieler dieser NH_3 -Zersetzungskatalysatoren nicht wirtschaftlich einsetzbar. Für großtechnische Umsetzungen kommen insbesondere Ruthenium-basierte NH_3 -Zersetzungskatalysatoren und Nickel-basierte NH_3 -Zersetzungskatalysatoren in Betracht.

[0006] Ruthenium-basierte NH_3 -Zersetzungskatalysatoren haben den Vorteil, dass bei vergleichsweise niedrigen Temperaturen Umsätze von mehr als 90% erreicht werden können. Allerdings sind die maximal erreichbaren Umsätze begrenzt, so dass im Produktgas ein erheblicher Restgehalt an nicht zersetztem NH_3 verbleibt, welches in Anbetracht der Menge ggf. durch zusätzliche Maßnahmen abgetrennt werden muss.

[0007] Nickel-basierte NH_3 -Zersetzungskatalysatoren haben den Vorteil, dass deutlich höhere Umsätze erreicht werden können. Im Produktgas verbleibt daher ein allenfalls geringer Restgehalt an nicht zersetztem NH_3 , welcher ggf. durch herkömmliche Maßnahmen zur Aufreinigung von H_2 , insbesondere durch Druckwechseladsorption, mit abgetrennt werden kann, ohne dass es zusätzlicher Maßnahmen bedarf. Die erforderlichen Temperaturen für Nickel-basierte NH_3 -Zersetzungskatalysatoren liegen allerdings deutlich höher.

230086P00LU

[0008] Zahlreiche Verfahren zur katalytischen Zersetzung von NH_3 sind im Stand der Technik beschrieben und es wurden unterschiedliche Reaktortypen vorgeschlagen (vgl. z.B. US 4 704 267 A, US 2020/0123006 A1, FR 1 469 045 A, CN 111 957 270 A, CN 113 896 168 A, WO 2011/107279 A1, WO 2012/090739 A1, WO 2020/095467 A, WO 2021/257944 A1, WO 2022/096529 A1, WO 2022/243410 A1, WO 2022/265647 A1, WO 2022/265648 A1, WO 2022/265649 A1, WO 2022/265650 A1 und WO 2022/265651 A1).

[0009] Da die katalytische Zersetzung von NH_3 endotherm verläuft und hohe Temperaturen erfordert, muss Wärme in den Reaktor eingebracht werden. Neben elektrischen Heizsystemen werden dazu insbesondere Verbrennungsprozesse vorgeschlagen, bei denen ein Verbrennungsgas verbrannt wird und die dabei erzeugte Wärme für die katalytische Zersetzung von NH_3 genutzt wird.

[0010] Für eine solche Reaktionsführung sind insbesondere Reaktoren geeignet, welche analog zu Primärreformern ausgebildet sind. Das Verbrennungsgas und das Reaktionsgas werden dabei physikalisch voneinander separiert durch den Reaktor geleitet, stehen jedoch im Wärmeaustausch miteinander. Das Verbrennungsgas wird mit Hilfe von Brennern und unter Zufuhr von Verbrennungsluft in einer Brennkammer verbrannt, von der aus ein Wärmestrom in mindestens eine physikalisch abgetrennte Reaktionskammer fließt. In der Reaktionskammer ist der NH_3 -Zersetzungskatalysator angeordnet und wird von dem Reaktionsgas durchströmt, so dass dort die katalysierte Reaktion abläuft. Beispielsweise können mehrere Reaktionskammern als Röhren ausgebildet sein, welche jeweils mit NH_3 -Zersetzungskatalysator und parallel vom Reaktionsgas durchströmt werden. Diese Röhren sind z.B. als Bündel innerhalb der Brennkammer angeordnet, ohne dass es zur Durchmischung von Verbrennungsgas und Reaktionsgas kommt.

[0011] Die Materialien, aus denen die Reaktionskammern und auch andere Bauteile solcher Reaktoren gefertigt sind, müssen erheblichen Belastungen bei erheblichen Temperaturen standhalten. Dabei liegen die Temperaturen, welche durch die Verbrennung des Verbrennungsgases in der Brennkammer erzeugt werden, deutlich oberhalb der Temperaturen des Reaktionsgases in der Reaktionskammer. Auf diesem Temperaturgefälle basiert u.a. der Wärmestrom von der Brennkammer in die Reaktionskammer.

[0012] Werden solche Reaktoren für die katalytische Zersetzung von NH_3 an Nickel-basierten NH_3 -Zersetzungskatalysatoren eingesetzt, so kommt erschwerend hinzu, dass in Anbetracht der hohen Konzentration an NH_3 bzw. N_2 , dem hohen Druck und den hohen Temperaturen zahlreiche Metalllegierungen korrodieren, und zwar durch äußere und/oder innere Nitridierung (in diesem Kontext häufig auch als "Nitrierung" bezeichnet).

[0013] R.P. Rubly et al., *Oxidation of Metals* Vol. 35, 3-4 (1991) betrifft die interne Nitridierung von Nickel-Chrom-Legierungen. Das Nitrierverhalten von Nickel-Chrom-Legierungen wird in Ammoniak-Wasserstoff-Gemischen im Bereich von 700-900°C untersucht. CrN bildete sich bei allen Expositions-

230086P00LU

bedingungen, Cr_2N konnte nicht nachgewiesen werden. Der Übergang von innerer zur äußeren Nitridbildung liegt bei 900°C zwischen 30-40% Cr. LU103141

[0014] J.J. Barnes et al., *Journal de Physique III*, Vol. 3, 1993, 167-174 diskutiert Faktoren, welche das Verhalten von Fe-, Ni- und Co-basierten Metalllegierungen im Hinblick auf eine Nitridierung bei hohen Temperaturen (1093°C) beeinflussen.

[0015] K. Tjorko et al., *Oxidation of Metals* Vol. 44, 453–474 (1995) betrifft einen Vergleich der internen Nitridierung in NH_3 und in N_2 . Die Nitridierung setzt die Dissoziation von N_2 bzw. NH_3 voraus. Die Dissoziation von N_2 erfolgt in nennenswertem Umfang erst oberhalb von ca. 700°C . Daher ist bei Temperaturen unterhalb von ca. 700°C die Nitridierung durch die Gegenwart von NH_3 bestimmt. Auch bei sehr hohen Temperaturen (1000°C) ist die Nitridierung mit NH_3 stärker als mit N_2 .

[0016] U. Krupp et al., *Oxidation of Metals* Vol. 52, 277–298 (1999) betrifft die interne Nitridierung von Nickel-basierten Legierungen, insbesondere das Verhalten von binären und ternären Legierungen des Ni-Cr-Al-Ti-Systems.

[0017] U. Krupp et al., *Oxidation of Metals* Vol. 52, 299–320 (1999) betrifft ebenfalls die interne Nitridierung von Nickel-basierten Legierungen, insbesondere das Verhalten von quaternären Ni-Cr-Al-Ti Legierungen und eine computer-basierte Beschreibung unter Berücksichtigung der thermodynamischen Daten eingebaut in eine FEM-Diffusionsberechnung.

[0018] H.J. Grabke et al., *Materials and Corrosion* 2003, 54(11), 895-902 betrifft Untersuchungen, bei denen Eisen, Nickel, ferritische 1-18%Cr-Stähle, austenitische 18%Cr-9%Ni- und 20%Cr-31%Ni-Stähle sowie eine 16% CrNi-Basislegierung bei 500°C in He-30% H_2O und 70% H_2O -30% NH_3 exponiert wurden, um das Korrosionsverhalten dieser Werkstoffe in Wasserdampf wie in konventionellen Kraftwerken mit ihrem Verhalten in einem NH_3 - H_2O -Gemisch, d.h. unter den Bedingungen des "Kalina-Zyklus" zu vergleichen.

[0019] G.Y. Lai, *High-Temperature Corrosion and Materials Applications*, ASM International, 2007, Kapitel 4: *Nitridation* erklärt, warum Nitridierung auftritt und wie sie verschiedene Metalle angreift, wobei sie in einigen Fällen tiefer eindringt als die Oxidation. Die Nitridierung und ihre Auswirkungen auf Metalle und Legierungen in Hochtemperaturluft sowie in NH_3 - H_2O -, NH_3 -, H_2 - N_2 - NH_3 - und N_2 -Umgebungen werden diskutiert.

[0020] M.O. Cojocaru et al., *Materials* 2021, 14, 2432 betrifft die Auswirkungen der Veränderung der Aktivität von Nitriermitteln durch Verdünnung von Ammoniak mit Stickstoff.

[0021] E. Wolowiec-Korecka et al., *Coatings* 2023, 13, 257, 1-12 betrifft die Stabilität von Schichtnitriden bei Nitridierung unter geringem Druck.

[0022] Ferner ist zu berücksichtigen, dass NH_3 für Lagerung und Transport häufig mit Spuren an H_2O versetzt wird, um das Risiko von Spannungsrisskorrosion für unlegierten Stahl zu reduzieren. Dadurch

230086P00LU

wird bei hohen Temperaturen im Reaktor der Sauerstoffpartialdruck erhöht, so dass neben der Nitridierung auch die Oxidation eine Rolle spielen kann. Die Nitridierung von Metalllegierungen in NH_3 (bzw. in Gemischen aus NH_3 , N_2 und H_2 , wie sie im Verlauf der Zersetzungsreaktion gebildet werden) bei hohen Temperaturen, z.B. im Bereich von $650\text{--}750^\circ\text{C}$, wurde bisher kaum untersucht, schon gar nicht in Gegenwart von Spuren an H_2O . LU103141

[0023] Der umgekehrte Prozess ist die Synthese von NH_3 aus N_2 und H_2 im Haber-Bosch-Verfahren.

[0024] American Iron and Steel Institute, *A Designer's Handbook Series No. 9013*, 1978, Nickel Institute, 4-23 betrifft nichtrostende Stähle für die Ammoniakproduktion.

[0025] Aus der Technologie zum Haber-Bosch-Verfahren können im Hinblick auf geeignete Metalllegierungen für die katalytische Zersetzung von NH_3 kaum Erkenntnisse gewonnen werden, denn beim Haber-Bosch-Verfahren sind die Temperaturen deutlich geringer. Die Temperatur hat jedoch einen entscheidenden Einfluss auf die Nitridierung. Für Reaktoren und Bauteile beim Haber-Bosch-Verfahren sind austenitische Stähle oft ausreichend. Sie können bei Temperaturen von bis zu ca. 480°C eingesetzt werden, bei größeren Wandstärken auch bei etwas höheren Temperaturen (bis ca. 510°C). Ein weiteres, für das Haber-Bosch-Verfahren geeignetes Material ist Alloy 600, welches gemäß *The American Society of Mechanical Engineers (ASME) Boiler and Pressure Vessel Code (BPVC) Sec II-D* allerdings nur bis zu Temperaturen von 649°C zugelassen ist.

[0026] Neben der Korrosionsbeständigkeit bei hohen Temperaturen in Gegenwart von N_2 , NH_3 und ggf. H_2O sind auch die weiteren Eigenschaften der Metalllegierung entscheidend, insbesondere Härte, Zugfestigkeit, Dehnung, Bruchdehnung, Dehngrenze, Elastizitätsmodul, Dichte, elektrischer Widerstand, Schmelzbereich, Wärmeleitfähigkeit, spezifische Wärmekapazität, etc. Auch die Verarbeitbarkeit, insbesondere Schweißbarkeit, spielt eine Rolle.

[0027] Es besteht ein Bedarf an verbesserten Reaktoren, welche wirtschaftlich in großtechnischem Maßstab für die katalytische Zersetzung von NH_3 zu N_2 und H_2 eingesetzt werden können und welche bei hohen Temperaturen (z.B. $650\text{--}750^\circ\text{C}$) eine zufriedenstellende oder im Vergleich zu herkömmlich für diesen Zweck eingesetzten Reaktoren verlängerte Standzeit haben. Die zur Fertigung der Reaktoren eingesetzten Materialien sollten einen Ausgleich schaffen zwischen zufriedenstellenden Eigenschaften einerseits und Anschaffungskosten andererseits.

[0028] Es ist eine Aufgabe der Erfindung, verbesserte Reaktoren für die Herstellung von H_2 durch katalytische Zersetzung von NH_3 bereitzustellen. Die Herstellung von H_2 sollte sicher, wirtschaftlich und in großtechnischem Maßstab möglich sein.

[0029] Diese Aufgabe wird durch den Gegenstand der Patentansprüche gelöst.

[0030] Ein erster Aspekt der Erfindung betrifft eine Anlage zur Herstellung von H_2 durch katalytische Zersetzung von NH_3 zu N_2 und H_2 ;

230086P00LU

wobei die Anlage einen Reaktor umfasst, welcher einen NH_3 -Zersetzungskatalysator enthält;

LU103141

wobei der Reaktor mindestens ein Bauteil umfasst, welches wenigstens teilweise aus einer Metalllegierung aufgebaut ist;

wobei die Metalllegierung bei Betrieb des Reaktors zumindest in einem Bereich ihrer Oberfläche mit dem NH_3 und/oder N_2 in direkten Kontakt kommt; bevorzugt mit NH_3 , N_2 und H_2O bzw. deren Dissoziationsprodukten; und

wobei die Metalllegierung Nickel, Chrom oder sowohl Nickel als auch Chrom enthält, wobei der Gesamtgehalt an Nickel und/oder Chrom mindestens 15 Gew.-% beträgt, bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0031] Zum Zwecke der Beschreibung bedeutet Gesamtgehalt an "A und/oder B", dass die erfindungsgemäße Metalllegierung entweder (i) sowohl A als auch B enthält, und sich der Gesamtgehalt dann auf die Summe der beiden Einzelgehalte an A und B bezieht, oder (ii) kein B enthält, so dass sich der Gesamtgehalt dann auf den Gehalt von A alleine bezieht, oder (iii) kein A enthält, so dass sich der Gesamtgehalt dann auf den Gehalt von B alleine bezieht.

[0032] Bevorzugt enthält die Metalllegierung Nickel und Chrom mit einem Gesamtgehalt an Nickel und Chrom von mindestens 15 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0033] In bevorzugten Ausführungsformen enthält die erfindungsgemäße Metalllegierung wenigstens zwei Metalle ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Nickel, Kobalt, Chrom, Eisen, Molybdän, Mangan, Niob, Cer, Aluminium, Titan, Silizium, Wolfram, Kupfer, Bor, Zirkonium, Lanthan und Yttrium.

[0034] In bevorzugten Ausführungsformen enthält die erfindungsgemäße Metalllegierung wenigstens drei Metalle ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Nickel, Kobalt, Chrom, Eisen, Molybdän, Mangan, Niob, Cer, Aluminium, Titan, Silizium, Wolfram, Kupfer, Bor, Zirkonium, Lanthan und Yttrium.

[0035] In bevorzugten Ausführungsformen enthält die erfindungsgemäße Metalllegierung wenigstens vier Metalle ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Nickel, Kobalt, Chrom, Eisen, Molybdän, Mangan, Niob, Cer, Aluminium, Titan, Silizium, Wolfram, Kupfer, Bor, Zirkonium, Lanthan und Yttrium.

[0036] In bevorzugten Ausführungsformen enthält die erfindungsgemäße Metalllegierung wenigstens fünf Metalle ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Nickel, Kobalt, Chrom, Eisen, Molybdän, Mangan, Niob, Cer, Aluminium, Titan, Silizium, Wolfram, Kupfer, Bor, Zirkonium, Lanthan und Yttrium.

[0037] Es wurde gefunden, dass für eine ausreichende Beständigkeit gegenüber Nitridierung der Gehalt an Nickel und ggf. auch Kobalt ein wichtiger Parameter ist. Dies ist insbesondere darauf zurückzuführen, dass Nickel und Kobalt in Eisenbasislegierungen die Löslichkeit von Stickstoff reduzieren, was die innere Nitridierung erschwert. Um eine hinreichende Stabilität gegenüber Nitridierung zu erhalten, beträgt der Gesamtgehalt an Nickel bzw. Nickel und Kobalt bevorzugt mindestens 40 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

230086P00LU

[0038] Ferner wurde gefunden, dass Chrom im Hinblick auf die Beständigkeit gegenüber Nitridierung LU103141 an sich eher von Nachteil ist. Dies ist insbesondere darauf zurückzuführen, dass Chrom die Löslichkeit von Stickstoff in Nickelbasislegierungen und damit die Neigung zur Nitridierung erhöht.

[0039] Sobald die Gastatmosphäre neben N_2 und NH_3 jedoch zusätzlich auch H_2O enthält, spielen weitere Faktoren eine wichtige Rolle, insbesondere die Bildung einer Oxideckschicht an der Oberfläche der Metalllegierung. Eine Oxideckschicht wird gebildet, wenn der Partialdruck von O_2 hinreichend hoch ist. Der Partialdruck von O_2 und H_2 wird thermodynamisch durch das Gleichgewicht $2 H_2O \leftrightarrow 2 H_2 + O_2$ bestimmt. Ist der Partialdruck von O_2 niedriger als der Gleichgewichtsdruck von O_2 für das Metall/Metalloxid-Gleichgewicht, so bildet sich kein Oxid.

[0040] Es wurde gefunden, dass in Gegenwart von H_2O Chrom einen günstigen Effekt im Hinblick auf die Korrosionsbeständigkeit hat, denn Chrom bildet das stabile Oxid Cr_2O_3 . Cr_2O_3 ist auch bei sehr niedrigen Partialdrücken von O_2 stabil, anders als die Eisenoxide. Selbst ein geringer Gehalt von wenigen ppm an H_2O kann zu einer Deckschicht von Cr_2O_3 führen, was die Nitridierung deutlich reduziert. Dies ist z.B. der Fall, wenn die NH_3 -Gasgemische bei z.B. $900^\circ C$ lediglich 45 ppm H_2O enthalten. Es wurde gefunden, dass der Gehalt an Chrom hoch genug sein muss, damit sich eine hinreichend dichte Deckschicht von Cr_2O_3 ausbilden kann und diese auch aufrecht erhalten wird. Letzteres bedeutet, dass die Nachlieferung an Chrom gewährleistet sein muss, um das stabile Wachstum einer Deckschicht aus Cr_2O_3 sicherzustellen. Bevorzugt beträgt der Gehalt an Chrom mindestens 18 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0041] In bevorzugten Ausführungsformen enthält die erfindungsgemäße Metalllegierung daher mindestens 33 Gew.-% Nickel und/oder Kobalt (Gesamtgehalt) sowie mindestens 15 Gew.-% Chrom, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung. In bevorzugten Ausführungsformen enthält die erfindungsgemäße Metalllegierung mindestens 40 Gew.-% Nickel und/oder Kobalt (Gesamtgehalt) sowie mindestens 20 Gew.-% Chrom, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0042] In bevorzugten Ausführungsformen enthält die erfindungsgemäße Metalllegierung daher mindestens 33 Gew.-% Nickel sowie mindestens 15 Gew.-% Chrom, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung. In bevorzugten Ausführungsformen enthält die erfindungsgemäße Metalllegierung mindestens 40 Gew.-% Nickel sowie mindestens 20 Gew.-% Chrom, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0043] In bevorzugten Ausführungsformen enthält die erfindungsgemäße Metalllegierung daher mindestens 33 Gew.-% Kobalt sowie mindestens 15 Gew.-% Chrom, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung. In bevorzugten Ausführungsformen enthält die erfindungsgemäße Metalllegierung mindestens 40 Gew.-% Kobalt sowie mindestens 20 Gew.-% Chrom, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

230086P00LU

[0044] In bevorzugten Ausführungsformen enthält die erfindungsgemäße Metalllegierung Nickel, LU103141 Chrom und Eisen, wobei der Gehalt an Nickel bevorzugt größer ist als der Gehalt an Chrom.

[0045] In bevorzugten Ausführungsformen enthält die erfindungsgemäße Metalllegierung Nickel, Kobalt, Chrom und Eisen, wobei der Gesamtgehalt an Nickel und Kobalt bevorzugt größer ist als der Gehalt an Chrom.

[0046] Zum Zwecke der Beschreibung ist ein "*Reaktor*" eine Vorrichtung für die katalytische Zersetzung von NH_3 zu N_2 und H_2 . Der erfindungsgemäße Reaktor ist typischerweise ein abgegrenzter Raum, welcher speziell dafür konstruiert und hergestellt wurde, um darin unter definierten Bedingungen die katalytische Zersetzung von NH_3 zu N_2 und H_2 ablaufen lassen und steuern zu können.

[0047] Zum Zwecke der Beschreibung ist eine "*Metalllegierung*" ein makroskopisch homogener metallischer Werkstoff, welcher typischerweise durch Zusammenschmelzen verschiedener Metalle erhalten wird, wobei auch Nichtmetalle und/oder Halbmetalle enthalten sein können. Die Metalle, Nichtmetalle und/oder Halbmetalle können dabei in elementarer Form, als intermetallische Phasen und/oder als andere Verbindungen vorliegen. Die Metalllegierung kann kristallin, teilkristallin oder amorph sein. Erfindungsgemäß besonders bedeutsame Metalle, welche in der erfindungsgemäßen Metalllegierung enthalten sein können, sind Nickel, Kobalt, Chrom und Eisen, daneben aber auch ggf. Aluminium und Titan. Weitere Metalle, welche in der erfindungsgemäßen Metalllegierung enthalten sein können, sind beispielsweise Molybdän, Wolfram, Niob, Kupfer, Aluminium, Titan, Silizium, Bor, Lanthan, Mangan, Vanadium, Cer, Yttrium, Zirkonium, Blei und andere. Erfindungsgemäß besonders bedeutsame Nichtmetalle und Halbmetalle, welche in der erfindungsgemäßen Metalllegierung enthalten sein können, sind Bor, Kohlenstoff, Silizium, Stickstoff, Phosphor, Schwefel, und andere.

[0048] Zum Zwecke der Beschreibung katalysiert ein " *NH_3 -Zersetzungskatalysator*" die Zersetzung von NH_3 zu N_2 und H_2 . Um Ausbeuten von mehr als 90% zu erreichen, sind üblicherweise erhöhte Temperaturen des NH_3 erforderlich, bevorzugt mindestens 500°C.

[0049] Zum Zwecke der Beschreibung bedeutet "*mit dem NH_3 und/oder N_2 in direkten Kontakt*", dass zumindest in einem Bereich zwischen der Metalllegierung und dem NH_3 und/oder N_2 kein weiteres Material angeordnet ist und dass das NH_3 und/oder N_2 mit der Oberfläche der Metalllegierung in wenigstens diesem Bereich interagieren kann. Modifizierungen an der Oberfläche der Metalllegierung sind jedoch für einen direkten Kontakt im Sinne der Erfindung zulässig, beispielsweise die Ausbildung von Deckschichten aus Oxiden und Nitriden. Die Metalllegierung muss nicht vollständig bzw. ihre Oberfläche muss nicht vollflächig mit dem NH_3 und/oder N_2 in Kontakt kommen. So reicht es aus, wenn es wenigstens einen Bereich gibt, in dem NH_3 und/oder N_2 mit der Oberfläche der Metalllegierung interagieren kann. Da das NH_3 in dem erfindungsgemäßen Reaktor auf dem Weg vom Eintritt in den Reaktor bis zum Austritt aus dem Reaktor zersetzt wird, ist bei Betrieb des Reaktors die Menge an NH_3 am Eintritt des Reaktors deutlich höher als am Austritt des Reaktors. Umgekehrt verhält es sich mit der

230086P00LU

Menge des durch Zersetzung des NH_3 gebildeten N_2 . Bevorzugt kommt die Metalllegierung bei Betrieb LU103141 des Reaktors zumindest in einem Bereich ihrer Oberfläche mit NH_3 , N_2 und H_2O bzw. deren Dissoziationsprodukten (N_2 , H_2 bzw. O_2) in direkten Kontakt.

[0050] Sofern nicht ausdrücklich etwas anderes angegeben ist, sind alle Prozentangaben Gewichtsprozent [Gew.-%]. Bei Bereichen, welche mit " $\pm$ " definiert sind, z.B. $A \pm B$, ergibt sich die numerische Untergrenze des Bereichs als $A - B$ und die numerische Obergrenze des Bereichs als $A + B$. Ist der Wert für B derselbe wie für A , ergibt die Untergrenze 0, so dass die jeweilige Komponente auch vollständig fehlen kann. Sofern nicht ausdrücklich etwas anderes angegeben ist, addieren sich die Gehaltsangaben in Gew.-% nicht auf 100 Gew.-%, d.h. es können zusätzlich neben den genannten Komponenten auch noch weitere, nicht genannte Komponenten enthalten sein.

[0051] Die erfindungsgemäße Anlage umfasst einen Reaktor, in dem beim Betrieb der Anlage NH_3 katalytisch zersetzt wird unter Bildung eines Produktgases, welches N_2 , H_2 und ggf. nicht zersetztes NH_3 umfasst.

[0052] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung umfasst die erfindungsgemäße Anlage eine oder mehrere der folgenden Vorrichtungen, welche miteinander in Fluidverbindung stehen:

- (i) eine Vorrichtung zur Lagerung von flüssigem NH_3 ;
- (ii) eine Vorrichtung zur Erwärmung und Verdampfung des flüssigen NH_3 ;
- (iii) den erfindungsgemäßen Reaktor;
- (iv) eine Vorrichtung zur Aufreinigung von H_2 aus dem Produktgas; und
- (v) eine Vorrichtung zur Rückgewinnung von Prozesswärme.

[0053] Der erfindungsgemäße Reaktor umfasst bevorzugt mehrere Kammern, welche voneinander physikalisch getrennt sind. Bevorzugt umfasst der Reaktor mindestens eine Reaktionskammer und mindestens eine Brennkammer.

[0054] Der erfindungsgemäße Reaktor ist bevorzugt analog einem Primärreformer ausgebildet.

[0055] Der erfindungsgemäße Reaktor umfasst bevorzugt

- eine Brennkammer oder mehrere Brennkammern zur Verbrennung eines Verbrennungsgases unter Erzeugung von Verbrennungswärme und einem Rauchgas (Abgas); und
- eine Reaktionskammer oder mehrere Reaktionskammern zur katalytischen Zersetzung von NH_3 unter Erzeugung eines Produktgases umfassend N_2 , H_2 und ggf. nicht zersetztes NH_3 .

[0056] Brennkammer(n) und Reaktionskammer(n) sind bevorzugt physikalisch voneinander getrennt, so dass es bei Betrieb des Reaktors zu keiner Durchmischung von Verbrennungsgas einerseits und NH_3 (Eduktgas) bzw. Produktgas andererseits kommt.

[0057] Brennkammer(n) und Reaktionskammer(n) sind bevorzugt so konfiguriert, dass es bei Betrieb des Reaktors zu einem Wärmestrom der erzeugten Verbrennungswärme von Brennkammer(n) in Reak-

230086P00LU

tionskammer(n) kommt. Dieser Wärmestrom dient bei Betrieb des Reaktors bevorzugt der Aufrechterhaltung der endothermen katalytischen Zersetzung von NH_3 . LU103141

[0058] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung sind die Reaktionskammern(n) röhrenförmig ausgebildet, d.h. haben eine zylindrische Form. Bevorzugt sind mehrere solcher röhrenförmigen Reaktionskammern parallel zueinander als Bündel in einer gemeinsamen Brennkammer angeordnet.

[0059] Jede Brennkammer enthält bevorzugt einen Brenner oder mehrere Brenner zur Verbrennung von Verbrennungsgas. Die dabei gebildete Flamme befindet sich bei Betrieb des Reaktors bevorzugt in räumlicher Nähe zur Außenwand mindestens einer Reaktionskammer, welche NH_3 -Zersetzungskatalysator enthält. Bei Betrieb des Reaktors strömt dann bevorzugt Verbrennungswärme vom Innern der Brennkammer durch die Wandung der mindestens eine Reaktionskammer hindurch und trägt so Wärme bis hin zum NH_3 -Zersetzungskatalysator ein, der von NH_3 durchströmt wird und an dem die endotherme Zersetzung von NH_3 verläuft.

[0060] Der erfindungsgemäße Reaktor umfasst zudem mindestens ein Bauteil, welches wenigstens teilweise aus einer Metalllegierung aufgebaut ist, welche bei Betrieb des Reaktors mit dem NH_3 und/oder N_2 in direkten Kontakt kommt.

[0061] Bevorzugt ist das Bauteil eine Reaktionskammer oder ein Element einer Reaktionskammer, wobei im Innenraum der Reaktionskammer der NH_3 -Zersetzungskatalysator angeordnet ist. Der erfindungsgemäße Reaktor enthält dann bevorzugt eine Reaktionskammer, welche das Bauteil und den NH_3 -Zersetzungskatalysator umfasst.

[0062] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung ist das Bauteil vollständig aus der erfindungsgemäßen Metalllegierung aufgebaut, d.h. das Bauteil besteht vollständig aus der Metalllegierung.

[0063] Ist das vollständig aus der erfindungsgemäßen Metalllegierung aufgebaute Bauteil eine Reaktionskammer, in deren Innenraum der NH_3 -Zersetzungskatalysator angeordnet ist, so besteht die Wandung der Reaktionskammer aus dem Bauteil und damit vollständig aus der Metalllegierung. Die innere Oberfläche der Wandung der Reaktionskammer ist dem NH_3 -Zersetzungskatalysator zugewandt und die Metalllegierung, aus der die Wandung der Reaktionskammer besteht, kommt bei Betrieb des Reaktors zumindest in einem Bereich mit dem NH_3 und/oder N_2 in direkten Kontakt.

[0064] Ist das vollständig aus der erfindungsgemäßen Metalllegierung aufgebaute Bauteil ein Element einer Reaktionskammer, in deren Innenraum der NH_3 -Zersetzungskatalysator angeordnet ist, so umfasst die Wandung der Reaktionskammer bevorzugt das Bauteil. Beispielsweise kann das Bauteil röhrenförmig ausgebildet und konzentrisch innerhalb eines anderen, röhrenförmigen Elements angeordnet sein, mit dem es zusammen die Wandung der Reaktionskammer bildet. Die innere Oberfläche des Bauteils ist dann dem NH_3 -Zersetzungskatalysator zugewandt und die Metalllegierung, aus der das innenliegende Bauteil der Wandung besteht, kommt bei Betrieb des Reaktors zumindest in einem Bereich mit dem NH_3 und/oder N_2 in direkten Kontakt.

230086P00LU

[0065] In anderen bevorzugten Ausführungsformen ist das Bauteil nur teilweise aus der erfindungsgemäßen Metalllegierung aufgebaut. Beispielsweise kann das Bauteil mehrschichtig sein, wobei eine der Schichten des Bauteils, bevorzugt eine außenliegende Schicht, aus der erfindungsgemäßen Metalllegierung aufgebaut ist, d.h. diese Schicht des Bauteils besteht aus der Metalllegierung, wohingegen andere Schichten des Bauteils aus anderen Materialien bestehen können und/oder aus erfindungsgemäßen Legierungen gleicher oder anderer Zusammensetzung. LU103141

[0066] Ist das nur teilweise aus der erfindungsgemäßen Metalllegierung aufgebaute Bauteil eine Reaktionskammer, in deren Innenraum der NH_3 -Zersetzungskatalysator angeordnet ist, so kann das Bauteil eine Reaktionskammer mit einer mehrschichtigen Wandung sein, wobei die mehrschichtige Wandung eine innere Schicht und eine äußere Schicht aufweist. Die innere Oberfläche der inneren Schicht des Bauteils ist dann dem NH_3 -Zersetzungskatalysator zugewandt und die Metalllegierung, aus der die innere Schicht besteht, kommt bei Betrieb des Reaktors zumindest in einem Bereich mit dem NH_3 und/oder N_2 in direkten Kontakt.

[0067] Bevorzugt ist die gesamte innere Oberfläche der Reaktionskammer, welche dem NH_3 -Zersetzungskatalysator zugewandt ist und welche bei Betrieb des Reaktors mit dem NH_3 und/oder N_2 in direkten Kontakt kommt, aus der Metalllegierung aufgebaut.

[0068] Bevorzugt ist die gesamte innere Oberfläche des Reaktors, welche bei Betrieb des Reaktors mit dem NH_3 und/oder N_2 in direkten Kontakt kommt, aus der Metalllegierung aufgebaut.

[0069] Der erfindungsgemäße Reaktor enthält einen NH_3 -Zersetzungskatalysator. Wird der NH_3 -Zersetzungskatalysator unter Reaktionsbedingungen von NH_3 durchströmt, so katalysiert er die Zersetzung von NH_3 zu N_2 und H_2 .

[0070] Als NH_3 -Zersetzungskatalysator kommen erfindungsgemäß verschiedene Materialien in Betracht. Die Reaktionstemperatur, bei der die katalytische Zersetzung von NH_3 abläuft, ist insbesondere durch die Wahl des NH_3 -Zersetzungskatalysators vorgegeben.

[0071] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung ist der NH_3 -Zersetzungskatalysator im Hinblick auf die Zersetzung von NH_3 bei einer Temperatur im Bereich von mindestens 500°C katalytisch aktiv, bevorzugt mindestens 520°C , bevorzugter mindestens 540°C , noch bevorzugter mindestens 550°C , am bevorzugtesten mindestens 580°C und insbesondere mindestens 600°C . Dabei bedeutet "*katalytisch aktiv*", dass Umsätze von mindestens 90% an Zersetzungsprodukten N_2 und H_2 erhalten werden in Bezug auf die eingesetzte Menge an NH_3 (gemessen unter Standardbedingungen in reinem NH_3 bei einem Druck von 1013 hPa und einer Raumgeschwindigkeit von $36 \text{ Lg}_{\text{Kat}}^{-1}$).

[0072] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung weist der NH_3 -Zersetzungskatalysator im Hinblick auf die Zersetzung von NH_3 eine scheinbare Aktivierungsenergie E_{app} von mindestens $50 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$, bevorzugter mindestens $75 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$, noch bevorzugter mindestens $100 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$, am bevorzugtesten mindestens $125 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$, und insbesondere mindestens $150 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$. Methoden zur Bestimmung

230086P00LU

der scheinbare Aktivierungsenergie E_{app} sind einem Fachmann bekannt, beispielsweise durch Ermittlung LU103141 aus Arrhenius-Plots auf Grundlage von Messungen unter Standardbedingungen in reinem NH_3 bei einem Druck von 1013 hPa und einer Raumgeschwindigkeit von 36 Lg_{Kat}^{-1} .

[0073] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung wird ein Nickel-basierter NH_3 -Zersetzungskatalysator eingesetzt. Die Reaktionstemperatur bestimmt den Gleichgewichtsumsatz. Bei 900°C und 20 bar Druck verläuft die Zersetzung von NH_3 beinahe quantitativ. Bei 650°C beträgt der Umsatz an NH_3 etwa 98,5%, bei 500°C nur noch etwa 95%. Erfindungsgemäß werden bevorzugt Reaktionstemperaturen im Bereich von etwa 600°C bis etwa 900°C , bevorzugt etwa 600°C bis etwa 700°C eingestellt, so dass ein hoher Umsatz erreicht wird. Im Hinblick auf Energiebilanz und Umsatz liegen optimale Reaktionstemperaturen im Bereich von etwa 630°C bis 640°C . Nickel-basierte NH_3 -Zersetzungskatalysatoren sind trotz der vergleichsweise hohen Reaktionstemperatur vorteilhaft. Wegen des hohen Umsatzes ist der verbleibende Restgehalt an nicht zersetztem NH_3 im Produktgas vergleichsweise gering, so dass bevorzugt auf eine separate Abscheidung von nicht zersetztem NH_3 für dessen Rückgewinnung verzichtet wird. Stattdessen erfolgt dann die gemeinsame Abscheidung von N_2 und nicht zersetztem NH_3 aus dem Produktgas durch Druckwechseladsorption im Zuge der Aufreinigung von H_2 zusammengefasst werden.

[0074] Bevorzugt umfasst der NH_3 -Zersetzungskatalysator geträgertes Nickel. Bevorzugte Trägermaterialien sind ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Al_2O_3 , MgO , SiO_2 , mesoporöses SiO_2 (z.B. MCF-17, MCM-41, SBA-15), Zeolith (z.B. HY, H-ZSM-5), $BaMnO_3$, $BaTiO_3$, $BaZrO_3$, $CaMnO_3$, $CaTiO_3$, $CaZrO_3$, CeO_2 , Gd_2O_3 , $GdAlO_3$, $KNbO_3$, La_2O_3 , $LaAlO_3$, MnO_2 , $NaNbO_3$, Nb_2O_5 , Sm_2O_3 , $SmAlO_3$, $SrMnO_3$, $SrTiO_3$, $SrZrO_3$, TiO_2 , Y_2O_3 , ZrO_2 , Kohlenstoff (z.B. CNTs, SWCNTs, AX-21, MSC-30, MESO-C, GNP, Aktivkohle, Graphen, Graphenoxid), Attapulgit, Hydrocalumit, Sepiolit, und Mischungen daraus.

[0075] Die erfindungsgemäße Metalllegierung enthält Nickel und Chrom mit einem Gesamtgehalt an Nickel und Chrom von mindestens 15 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0076] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung beträgt der Gesamtgehalt an Nickel und Chrom mindestens 15,5 Gew.-%, bevorzugt mindestens 16,0 Gew.-%, bevorzugt mindestens 16,5 Gew.-%, bevorzugter mindestens 17,0 Gew.-%, noch bevorzugter mindestens 17,5 Gew.-%, am bevorzugtesten mindestens 18,0 Gew.-%, und insbesondere mindestens 18,5 Gew.-% beträgt, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0077] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung beträgt der Gesamtgehalt an Nickel und Chrom mindestens 20 Gew.-%, bevorzugt mindestens 25 Gew.-%, bevorzugter mindestens 30 Gew.-%, noch bevorzugter mindestens 35 Gew.-%, am bevorzugtesten mindestens 40 Gew.-%, und insbesondere mindestens 45 Gew.-% beträgt, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

230086P00LU

[0078] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung beträgt der Gesamtgehalt an Nickel und Chrom mindestens 50 Gew.-%, bevorzugt mindestens 55 Gew.-%, bevorzugter mindestens 60 Gew.-%, noch bevorzugter mindestens 65 Gew.-%, am bevorzugtesten mindestens 70 Gew.-%, und insbesondere mindestens 75 Gew.-% beträgt, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung. LU103141

[0079] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung beträgt der Gesamtgehalt an Nickel und Chrom mindestens 80 Gew.-%, bevorzugt mindestens 85 Gew.-%, bevorzugter mindestens 90 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0080] Die erfindungsgemäße Metalllegierung enthält Nickel.

[0081] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung beträgt der Gehalt an Nickel mindestens 5,0 Gew.-%, bevorzugt mindestens 10 Gew.-%, bevorzugter mindestens 15 Gew.-%, noch bevorzugter mindestens 20 Gew.-%, am bevorzugtesten mindestens 30 Gew.-%, und insbesondere mindestens 35 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0082] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung beträgt der Gehalt an Nickel mindestens 40 Gew.-%, bevorzugt mindestens 45 Gew.-%, bevorzugter mindestens 50 Gew.-%, noch bevorzugter mindestens 55 Gew.-%, am bevorzugtesten mindestens 60 Gew.-%, und insbesondere mindestens 65 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0083] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung beträgt der Gehalt an Nickel mindestens 70 Gew.-%, bevorzugt mindestens 75 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0084] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung liegt der Gehalt an Nickel mit aufsteigender Bevorzugung im Bereich von 20 ± 15 Gew.-%, 20 ± 10 Gew.-%, oder $20 \pm 5,0$ Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0085] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung liegt der Gehalt an Nickel mit aufsteigender Bevorzugung im Bereich von 30 ± 25 Gew.-%, 30 ± 20 Gew.-%, 30 ± 15 Gew.-%, 30 ± 10 Gew.-%, oder $30 \pm 5,0$ Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0086] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung liegt der Gehalt an Nickel mit aufsteigender Bevorzugung im Bereich von 40 ± 35 Gew.-%, 40 ± 30 Gew.-%, 40 ± 25 Gew.-%, 40 ± 20 Gew.-%, 40 ± 15 Gew.-%, 40 ± 10 Gew.-%, oder $40 \pm 5,0$ Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0087] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung liegt der Gehalt an Nickel mit aufsteigender Bevorzugung im Bereich von 50 ± 30 Gew.-%, 50 ± 25 Gew.-%, 50 ± 20 Gew.-%, 50 ± 15 Gew.-%, 50 ± 10 Gew.-%, oder $50 \pm 5,0$ Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

230086P00LU

[0088] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung liegt der Gehalt an Nickel mit aufsteigender Bevorzugung im Bereich von 60 ± 20 Gew.-%, 60 ± 15 Gew.-%, 60 ± 10 Gew.-%, oder $60 \pm 5,0$ Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung. LU103141

[0089] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung liegt der Gehalt an Nickel mit aufsteigender Bevorzugung im Bereich von 70 ± 10 Gew.-%, oder $70 \pm 5,0$ Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0090] Die erfindungsgemäße Metalllegierung enthält Chrom.

[0091] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung beträgt der Gehalt an Chrom höchstens 30 Gew.-%, bevorzugt höchstens 28 Gew.-%, bevorzugter höchstens 26 Gew.-%, noch bevorzugter höchstens 24 Gew.-%, am bevorzugtesten höchstens 22 Gew.-%, und insbesondere höchstens 20 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0092] In anderen bevorzugten Ausführungsformen beträgt der Gehalt an Chrom mindestens 12 Gew.-%, bevorzugt mindestens 15 Gew.-%, bevorzugter mindestens 18 Gew.-%, noch bevorzugter mindestens 21 Gew.-%, am bevorzugtesten mindestens 24 Gew.-%, und insbesondere mindestens 27 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0093] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung liegt der Gehalt an Chrom mit aufsteigender Bevorzugung im Bereich von $10 \pm 7,5$ Gew.-%, $10 \pm 5,0$ Gew.-%, oder $10 \pm 2,5$ Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0094] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung liegt der Gehalt an Chrom mit aufsteigender Bevorzugung im Bereich von $12,5 \pm 10$ Gew.-%, $12,5 \pm 7,5$ Gew.-%, $12,5 \pm 5,0$ Gew.-%, oder $12,5 \pm 2,5$ Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0095] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung liegt der Gehalt an Chrom mit aufsteigender Bevorzugung im Bereich von $15 \pm 12,5$ Gew.-%, 15 ± 10 Gew.-%, $15 \pm 7,5$ Gew.-%, $15 \pm 5,0$ Gew.-%, oder $15 \pm 2,5$ Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0096] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung liegt der Gehalt an Chrom mit aufsteigender Bevorzugung im Bereich von $17,5 \pm 15$ Gew.-%, $17,5 \pm 12,5$ Gew.-%, $17,5 \pm 10$ Gew.-%, $17,5 \pm 7,5$ Gew.-%, $17,5 \pm 5,0$ Gew.-%, oder $17,5 \pm 2,5$ Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0097] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung liegt der Gehalt an Chrom mit aufsteigender Bevorzugung im Bereich von $20 \pm 17,5$ Gew.-%, 20 ± 15 Gew.-%, $20 \pm 12,5$ Gew.-%, 20 ± 10 Gew.-%, $20 \pm 7,5$ Gew.-%, $20 \pm 5,0$ Gew.-%, oder $20 \pm 2,5$ Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

230086P00LU

[0098] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung liegt der Gehalt an Chrom mit aufsteigender LU103141 Bevorzugung im Bereich von 22,5±20 Gew.-%, 22,5±17,5 Gew.-%, 22,5±15 Gew.-%, 22,5±12,5 Gew.-%, 22,5±10 Gew.-%, 22,5±7,5 Gew.-%, 22,5±5,0 Gew.-%, oder 22,5±2,5 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0099] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung liegt der Gehalt an Chrom mit aufsteigender Bevorzugung im Bereich von 25±22,5 Gew.-%, 25±20 Gew.-%, 25±17,5 Gew.-%, 25±15 Gew.-%, 25±12,5 Gew.-%, 25±10 Gew.-%, 25±7,5 Gew.-%, 25±5,0 Gew.-%, oder 25±2,5 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0100] Bevorzugte Ausführungsformen Z1 bis Z72 weisen folgenden Gehalt an Nickel und Chrom in Gew.-% auf, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung:

[Gew.-%]	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7	Z8	Z9	Z10
Ni	15±10	20±10	25±10	30±10	35±10	40±10	45±10	50±10	55±10	60±10
Cr	15±10	15±10	15±10	15±10	15±10	15±10	15±10	15±10	15±10	15±10
	Z11	Z12	Z13	Z14	Z15	Z16	Z17	Z18	Z19	Z20
Ni	65±10	70±10	15±10	20±10	25±10	30±10	35±10	40±10	45±10	50±10
Cr	15±10	15±10	20±10	20±10	20±10	20±10	20±10	20±10	20±10	20±10
	Z21	Z22	Z23	Z24	Z25	Z26	Z27	Z28	Z29	Z30
Ni	55±10	60±10	65±10	70±10	15±10	20±10	25±10	30±10	35±10	40±10
Cr	20±10	20±10	20±10	20±10	25±10	25±10	25±10	25±10	25±10	25±10
	Z31	Z32	Z33	Z34	Z35	Z36	Z37	Z38	Z39	Z40
Ni	45±10	50±10	55±10	60±10	65±10	70±10	15±5	20±5	25±5	30±5
Cr	25±10	25±10	25±10	25±10	25±10	25±10	15±5	15±5	15±5	15±5
	Z41	Z42	Z43	Z44	Z45	Z46	Z47	Z48	Z49	Z50
Ni	35±5	40±5	45±5	50±5	55±5	60±5	65±5	70±5	15±5	20±5
Cr	15±5	15±5	15±5	15±5	15±5	15±5	15±5	15±5	20±5	20±5
	Z51	Z52	Z53	Z54	Z55	Z56	Z57	Z58	Z59	Z60
Ni	25±5	30±5	35±5	40±5	45±5	50±5	55±5	60±5	65±5	70±5
Cr	20±5	20±5	20±5	20±5	20±5	20±5	20±5	20±5	20±5	20±5
	Z61	Z62	Z63	Z64	Z65	Z66	Z67	Z68	Z69	Z70
Ni	15±5	20±5	25±5	30±5	35±5	40±5	45±5	50±5	55±5	60±5
Cr	25±5	25±5	25±5	25±5	25±5	25±5	25±5	25±5	25±5	25±5
	Z71	Z72								
Ni	65±5	70±5								
Cr	25±5	25±5								

[0101] Bevorzugt enthält die erfindungsgemäße Metalllegierung zusätzlich Kobalt.

[0102] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung beträgt der Gesamtgehalt an Nickel und ggf. Kobalt mindestens 20 Gew.-%, bevorzugt mindestens 25 Gew.-%, bevorzugter mindestens 30 Gew.-%, noch bevorzugter mindestens 35 Gew.-%, am bevorzugtesten mindestens 40 Gew.-%, und insbesondere mindestens 45 Gew.-% beträgt, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

230086P00LU

[0103] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung beträgt der Gesamtgehalt an Nickel und ggf. Kobalt mindestens 50 Gew.-%, bevorzugt mindestens 54 Gew.-%, bevorzugter mindestens 58 Gew.-%, noch bevorzugter mindestens 62 Gew.-%, am bevorzugtesten mindestens 66 Gew.-%, und insbesondere mindestens 70 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung. In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung beträgt der Gesamtgehalt an Nickel und ggf. Kobalt mindestens 70 Gew.-%, bevorzugt mindestens 75 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung. LU103141

[0104] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung liegt der Gesamtgehalt an Nickel und ggf. Kobalt mit aufsteigender Bevorzugung im Bereich von 20 ± 15 Gew.-%, 20 ± 10 Gew.-%, oder $20\pm 5,0$ Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0105] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung liegt der Gesamtgehalt an Nickel und ggf. Kobalt mit aufsteigender Bevorzugung im Bereich von 30 ± 25 Gew.-%, 30 ± 20 Gew.-%, 30 ± 15 Gew.-%, 30 ± 10 Gew.-%, oder $30\pm 5,0$ Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0106] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung liegt der Gesamtgehalt an Nickel und ggf. Kobalt mit aufsteigender Bevorzugung im Bereich von 40 ± 35 Gew.-%, 40 ± 30 Gew.-%, 40 ± 25 Gew.-%, 40 ± 20 Gew.-%, 40 ± 15 Gew.-%, 40 ± 10 Gew.-%, oder $40\pm 5,0$ Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0107] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung liegt der Gesamtgehalt an Nickel und ggf. Kobalt mit aufsteigender Bevorzugung im Bereich von 50 ± 30 Gew.-%, 50 ± 25 Gew.-%, 50 ± 20 Gew.-%, 50 ± 15 Gew.-%, 50 ± 10 Gew.-%, oder $50\pm 5,0$ Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0108] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung liegt der Gesamtgehalt an Nickel und ggf. Kobalt mit aufsteigender Bevorzugung im Bereich von 60 ± 20 Gew.-%, 60 ± 15 Gew.-%, 60 ± 10 Gew.-%, oder $60\pm 5,0$ Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0109] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung liegt der Gesamtgehalt an Nickel und ggf. Kobalt mit aufsteigender Bevorzugung im Bereich von 70 ± 10 Gew.-%, oder $70\pm 5,0$ Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0110] Zum Zwecke der Beschreibung bedeutet "*Gesamtgehalt an Nickel und ggf. Kobalt*", dass die erfindungsgemäße Metalllegierung entweder (i) sowohl Nickel als auch Kobalt enthält, und sich der Gesamtgehalt dann auf die Summe der beiden Einzelgehalte an Nickel und Kobalt bezieht, oder (ii) kein Kobalt enthält, so dass sich der Gesamtgehalt dann auf den Gehalt von Nickel alleine bezieht.

[0111] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung beträgt der Gehalt an Kobalt mindestens 4,0 Gew.-%, bevorzugt mindestens 8,0 Gew.-%, bevorzugter mindestens 12 Gew.-%, noch bevorzugter

[0112] In anderen bevorzugten Ausführungsformen beträgt der Gehalt an Kobalt höchstens 15 Gew.-%, bevorzugt höchstens 12,5 Gew.-%, bevorzugter höchstens 10 Gew.-%, noch bevorzugter höchstens 7,5 Gew.-%, am bevorzugtesten höchstens 5,0 Gew.-%, und insbesondere höchstens 2,5 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0113] In anderen bevorzugten Ausführungsformen enthält die erfindungsgemäße Metalllegierung allenfalls sehr geringe Mengen an Kobalt, bevorzugt höchstens 1,0 Gew.-%, bevorzugter höchstens 0,5 Gew.-%, noch bevorzugter höchstens 0,1 Gew.-%, am bevorzugtesten ist Kobalt nominell nicht enthalten.

[0114] Bevorzugte Ausführungsformen Ä1 bis Ä72 weisen folgenden Gehalt an Nickel, ggf. Kobalt und Chrom in Gew.-% auf, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung:

[illegible]

230086P00LU

[0115] Es wurde gefunden, dass der Gehalt von Nickel bzw. der Gesamtgehalt von Nickel und Kobalt LU103141 in der erfindungsgemäßen Metalllegierung einen wichtigen Einfluss hat auf die Löslichkeit von Stickstoff und damit auf die Nitridierung haben kann. Mit steigendem Gehalt von Nickel bzw. Gesamtgehalt von Nickel und Kobalt nimmt die Löslichkeit von Stickstoff in der Metalllegierung ab. Je geringer die Löslichkeit für Stickstoff ist, desto geringer ist auch die Neigung zur (inneren) Nitridierung.

[0116] Ferner wurde gefunden, dass aufgrund der höheren Löslichkeit von Stickstoff in austenitischen Stählen diese stärker zur (inneren) Nitridierung neigen als Nickel-Basiswerkstoffe. In Nickel-Basiswerkstoffen kann ein Gehalt an Nickel im Bereich von 40 bis 50 Gew.-% eine zufriedenstellende Beständigkeit gegen Nitridierung gewährleisten.

[0117] Es scheint, dass der Gehalt an Chrom einen begünstigenden Einfluss auf die innere Nitridierung bei höheren Temperaturen hat, vermutlich auch nach langen Auslagerungszeiten. Ein hoher Gehalt an Chrom kann daher von Nachteil sein.

[0118] Ist das NH_3 mit Spuren von Wasser versetzt oder enthält das NH_3 Spuren an O_2 , so ist Partialdruck von O_2 erhöht, was sich günstig auf die Stabilität von Oxid-Deckschichten an der Oberfläche der Metalllegierung auswirken kann. Es wurde gefunden, dass Chrom darauf einen günstigen Einfluss hat.

[0119] Die erfindungsgemäße Metalllegierung kann zusätzlich Aluminium und/oder Titan enthalten. Auch wenn Aluminium und Titan an sich nicht bevorzugt sind, kann es ggf. von Vorteil sein, z.B. aus Gründen der Festigkeit, zur Herstellung der erfindungsgemäßen Metalllegierung Rohstoffe einzusetzen, welche ggf. vergleichsweise geringe Mengen an Aluminium und/oder Titan enthalten. Auch wenn Aluminium und Titan an sich nicht bevorzugt sind, können gewisse Mengen toleriert werden.

[0120] Sowohl Aluminium als auch Titan sind in technischen Metalllegierungen häufig enthalten, wenn auch nicht immer in großer Menge um die mechanische Festigkeit sowie die Kriechbeständigkeit zu erhöhen. Aluminium kann zudem die Oxidationsbeständigkeit verbessern. Beide Metalle haben bei hohen Temperaturen und Kontakt mit Stickstoff eine ausgeprägte Neigung zur Ausbildung von Nitriden, und zwar insbesondere in deren Tiefe (innere Nitridierung). Es wurde gefunden, dass die Tiefe der inneren Nitridierung von Metalllegierungen, welche Aluminium und/oder Titan enthalten, erhöht ist im Vergleich zu Metalllegierungen, welche weder Aluminium noch Titan enthalten. Ferner wurde gefunden, dass höhere Gehalte an Chrom die innere Nitridierung von Aluminium und Titan zusätzlich fördern.

[0121] Es wurde gefunden, dass das vergleichsweise große Volumen der gebildeten Nitride (Nitrid-Ausscheidungen) zu einer unerwünschten Versprödung der Metalllegierungen führt.

[0122] Ferner wurde gefunden, dass die mit der inneren Nitridierung und/oder Versprödung einhergehenden Volumenspannungen ihrerseits zu einem Abplatzen der Deckschicht an der Oberfläche der Metalllegierung führen können. Diese Deckschicht kann aus Oxiden und/oder Nitriden bestehen. Durch das Abplatzen der Deckschicht geht deren schützende Wirkung lokal verloren, was die Geschwindigkeit der

230086P00LU

unerwünschten Nitridierung erhöht. Die Aufnahme von Stickstoff ist dann infolge der fehlenden Deckschicht begünstigt. LU103141

[0123] Es scheint, dass Wasser (oder Spuren an Sauerstoff) die Duktilität von äußeren Nitrid-Deckschichten erhöht, so dass das Risiko des Abplatzens reduziert wird. Ist das NH_3 daher mit Spuren von Wasser versetzt, so kann sich dies ggf. günstig auf die Beständigkeit der Nitrid-Deckschichten auswirken und ggf. auf diese Weise eine innere Nitridierung unterdrücken oder vermindern.

[0124] Außerdem kann die innere Nitridierung zu einer Verarmung und damit Erniedrigung der Kriech- und Nitrierbeständigkeit führen. Aufgrund einer Verarmung deckschichtbildender Elemente wie Cr, Si oder Al kann es zu einem Versagen der schützenden Deckschicht kommen.

[0125] Daher sollte eine innere Nitridierung möglichst unterdrückt werden oder allenfalls in vergleichsweise geringem Umfang erfolgen.

[0126] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung beträgt der Gesamtgehalt an Aluminium und/oder Titan höchstens 5,5 Gew.-%, bevorzugt höchstens 5,0 Gew.-%, bevorzugter höchstens 4,5 Gew.-%, noch bevorzugter höchstens 4,0 Gew.-%, am bevorzugtesten höchstens 3,5 Gew.-%, und insbesondere höchstens 3,0 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0127] Zum Zwecke der Beschreibung bedeutet "*Gesamtgehalt an Aluminium und/oder Titan*", dass die erfindungsgemäße Metalllegierung entweder (i) sowohl Aluminium als auch Titan enthält, und sich der Gesamtgehalt dann auf die Summe der beiden Einzelgehalte an Aluminium und Titan bezieht, oder (ii) kein Aluminium enthält, so dass sich der Gesamtgehalt dann auf den Gehalt von Titan alleine bezieht, oder (iii) kein Titan enthält, so dass sich der Gesamtgehalt dann auf den Gehalt von Aluminium alleine bezieht.

[0128] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung enthält die erfindungsgemäße Metalllegierung allenfalls sehr geringe Mengen an Aluminium und/oder Titan, bevorzugt höchstens 1,0 Gew.-%, bevorzugter höchstens 0,5 Gew.-%, noch bevorzugter höchstens 0,1 Gew.-%, am bevorzugtesten sind Aluminium und Titan nominell nicht enthalten.

[0129] Die erfindungsgemäße Metalllegierung kann zusätzlich Aluminium enthalten.

[0130] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung beträgt der Gehalt an Aluminium bevorzugt höchstens 6,0 Gew.-%, bevorzugt höchstens 5,5 Gew.-%, bevorzugter höchstens 5,0 Gew.-%, noch bevorzugter höchstens 4,5 Gew.-%, am bevorzugtesten höchstens 4,0 Gew.-%, und insbesondere höchstens 3,5 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0131] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung beträgt der Gehalt an Aluminium bevorzugt höchstens 3,0 Gew.-%, bevorzugt höchstens 2,5 Gew.-%, bevorzugter höchstens 2,0 Gew.-%, noch bevorzugter höchstens 1,5 Gew.-%, am bevorzugtesten höchstens 1,0 Gew.-%, und insbesondere höchstens 0,5 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

230086P00LU

[0132] Wie Cr_2O_3 ist auch Al_2O_3 sehr stabil, selbst bei geringen Partialdrücken von O_2 . Oxiddeck- LU103141
schichten aus Al_2O_3 wachsen aber noch langsamer als Oxiddeckschichten aus Cr_2O_3 , da die Bildung von Al_2O_3 bei vergleichsweise niedrigen Temperaturen kinetisch gehemmt ist. Zudem wurde gefunden, dass höhere Gehalte an Aluminium (> 5 Gew.-%) die Schweißbarkeit der Metalllegierung erschweren und zudem eine starke Neigung zur Bildung von stark versprödet wirkenden Nitriden besteht.

[0133] In anderen bevorzugten Ausführungsformen enthält die erfindungsgemäße Metalllegierung allenfalls sehr geringe Mengen an Aluminium, bevorzugt höchstens 1,0 Gew.-%, bevorzugter höchstens 0,5 Gew.-%, noch bevorzugter höchstens 0,1 Gew.-%, am bevorzugtesten ist Aluminium nominell nicht enthalten.

[0134] Die erfindungsgemäße Metalllegierung kann zusätzlich Titan enthalten.

[0135] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung beträgt der Gehalt an Titan bevorzugt höchstens 4,5 Gew.-%, bevorzugt höchstens 4,0 Gew.-%, bevorzugter höchstens 3,5 Gew.-%, noch bevorzugter höchstens 3,0 Gew.-%, am bevorzugtesten höchstens 2,5 Gew.-%, und insbesondere höchstens 2,0 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0136] In anderen bevorzugten Ausführungsformen enthält die erfindungsgemäße Metalllegierung allenfalls sehr geringe Mengen an Titan, bevorzugt höchstens 1,0 Gew.-%, bevorzugter höchstens 0,5 Gew.-%, noch bevorzugter höchstens 0,1 Gew.-%, am bevorzugtesten ist Titan nominell nicht enthalten.

[0137] Bevorzugt enthält die erfindungsgemäße Metalllegierung zusätzlich Eisen.

[0138] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung handelt es sich bei der erfindungsgemäßen Metalllegierung um einen Stahl, bevorzugt um einen austenitischen Stahl.

[0139] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung beträgt der Gehalt an Eisen höchstens 85 Gew.-%, bevorzugt höchstens 80 Gew.-%, bevorzugter höchstens 75 Gew.-%, noch bevorzugter höchstens 70 Gew.-%, am bevorzugtesten höchstens 65 Gew.-%, und insbesondere höchstens 50 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0140] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung beträgt der Gehalt an Eisen höchstens 45 Gew.-%, bevorzugt höchstens 40 Gew.-%, bevorzugter höchstens 35 Gew.-%, noch bevorzugter höchstens 30 Gew.-%, am bevorzugtesten höchstens 25 Gew.-%, und insbesondere höchstens 20 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0141] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung beträgt der Gehalt an Eisen höchstens 15 Gew.-%, bevorzugt höchstens 10 Gew.-%, bevorzugter höchstens 5,0 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0142] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung liegt der Gehalt an Eisen im Bereich von 10 ± 5 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

230086P00LU

[0143] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung liegt der Gehalt an Eisen mit aufsteigender Bevorzugung im Bereich von 20 ± 15 Gew.-%, 20 ± 10 Gew.-%, oder $20 \pm 5,0$ Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung. LU103141

[0144] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung liegt der Gehalt an Eisen mit aufsteigender Bevorzugung im Bereich von 30 ± 25 Gew.-%, 30 ± 20 Gew.-%, 30 ± 15 Gew.-%, 30 ± 10 Gew.-%, oder $30 \pm 5,0$ Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0145] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung liegt der Gehalt an Eisen mit aufsteigender Bevorzugung im Bereich von 40 ± 35 Gew.-%, 40 ± 30 Gew.-%, 40 ± 25 Gew.-%, 40 ± 20 Gew.-%, 40 ± 15 Gew.-%, 40 ± 10 Gew.-%, oder $40 \pm 5,0$ Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0146] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung liegt der Gehalt an Eisen mit aufsteigender Bevorzugung im Bereich von 50 ± 30 Gew.-%, 50 ± 25 Gew.-%, 50 ± 20 Gew.-%, 50 ± 15 Gew.-%, 50 ± 10 Gew.-%, oder $50 \pm 5,0$ Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0147] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung liegt der Gehalt an Eisen mit aufsteigender Bevorzugung im Bereich von 60 ± 20 Gew.-%, 60 ± 15 Gew.-%, 60 ± 10 Gew.-%, oder $60 \pm 5,0$ Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0148] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung liegt der Gehalt an Eisen mit aufsteigender Bevorzugung im Bereich von 70 ± 10 Gew.-%, oder $70 \pm 5,0$ Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0149] In anderen bevorzugten Ausführungsformen enthält die erfindungsgemäße Metalllegierung allenfalls geringe Mengen an Eisen, bevorzugt höchstens 1,5 Gew.-%, bevorzugter höchstens 1,0 Gew.-%, noch bevorzugter höchstens 0,5 Gew.-%, am bevorzugtesten höchstens 0,1 Gew.-%, und insbesondere ist Eisen nominell nicht enthalten.

[0150] Bevorzugt enthält die erfindungsgemäße Metalllegierung Silizium.

[0151] Es wurde gefunden, dass SiO_2 thermodynamisch stabiler als Cr_2O_3 ist. Zum einen kann sich SiO_2 daher in sauerstoffarmen Atmosphären an der Oberfläche anstelle von Cr_2O_3 bilden und so die Nitridierung behindern. Zum anderen sind metallurgisch die Gehalte an Silizium limitiert. Daher wird zumeist keine dichte SiO_2 -Schicht gebildet, was die Schutzwirkung reduziert. Im Fall einer Stabilität des Cr_2O_3 kann sich SiO_2 an der inneren Phasengrenze bilden, was ebenso die Nitrierneigung reduziert. Aber auch hier ist die SiO_2 -Schicht zumeist nicht durchgängig bzw. es werden Mischoxide gebildet.

[0152] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung beträgt der Gehalt an Silizium mindestens 0,1 Gew.-%, bevorzugt mindestens 0,2 Gew.-%, bevorzugter mindestens 0,3 Gew.-%, noch bevorzugter mindestens 0,4 Gew.-%, am bevorzugtesten mindestens 0,5 Gew.-%, und insbesondere mindestens 0,6 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

230086P00LU

[0153] Es ist bekannt, dass Zusätze an Silizium die Beständigkeit bestimmter Metalllegierungen gegenüber Oxidation verbessern können. Experimentelle Erkenntnisse deuten jedoch darauf hin, dass Silizium allerdings offenbar nicht die Beständigkeit gegenüber Nitridierung erhöht. LU103141

[0154] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung beträgt der Gehalt an Silizium höchstens 4,0 Gew.-%, bevorzugt höchstens 3,5 Gew.-%, bevorzugter höchstens 3,0 Gew.-%, noch bevorzugter höchstens 2,5 Gew.-%, am bevorzugtesten höchstens 2,0 Gew.-%, und insbesondere höchstens 1,5 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0155] Bevorzugt enthält die erfindungsgemäße Metalllegierung Kohlenstoff.

[0156] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung beträgt der Gehalt an Kohlenstoff mindestens 0,010 Gew.-%, bevorzugt mindestens 0,020 Gew.-%, bevorzugter mindestens 0,030 Gew.-%, noch bevorzugter mindestens 0,040 Gew.-%, am bevorzugtesten mindestens 0,050 Gew.-%, und insbesondere mindestens 0,060 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0157] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung, liegt der Gehalt an Kohlenstoff im Bereich von 0,1 bis 0,5 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung. Dies ist bevorzugt insbesondere bei Gusslegierungen der Fall.

[0158] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung beträgt der Gehalt an Kohlenstoff höchstens 0,10 Gew.-%, bevorzugt höchstens 0,09 Gew.-%, bevorzugter höchstens 0,08 Gew.-%, noch bevorzugter höchstens 0,07 Gew.-%, am bevorzugtesten höchstens 0,06 Gew.-%, und insbesondere höchstens 0,05 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0159] In Eisenbasislegierungen kann atomarer Wasserstoff mit Karbiden wie dem Eisenkarbid zu Methan reagieren. Niedrig legierte Chrom- und Chrom-Molybdän-Stähle werden mit steigendem Cr-Gehalt zunehmend stabiler gegen diese Form der Hochtemperatur-Versprödung (HTHA), da Chromcarbide deutlich stabiler sind als Eisencarbid. Daher sind austenitische Stähle und Nickelbasislegierungen gut beständig gegenüber Hochtemperatur-Versprödung. Jedoch können Nickelbasislegierungen durch ein "*Trapping*" des Wasserstoffs an Chromcarbiden beim thermischen Altern verspröden.

[0160] Bevorzugt enthält die erfindungsgemäße Metalllegierung Molybdän.

[0161] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung beträgt der Gehalt an Molybdän mindestens 0,1 Gew.-%, bevorzugt mindestens 0,2 Gew.-%, bevorzugter mindestens 0,3 Gew.-%, noch bevorzugter mindestens 0,4 Gew.-%, am bevorzugtesten mindestens 0,5 Gew.-%, und insbesondere mindestens 0,6 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0162] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung beträgt der Gehalt an Molybdän höchstens 12 Gew.-%, bevorzugt höchstens 11 Gew.-%, bevorzugter höchstens 10 Gew.-%, noch bevorzugter höchstens 9,0 Gew.-%, am bevorzugtesten höchstens 8,0 Gew.-%, und insbesondere höchstens 7,0 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

230086P00LU

[0163] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung beträgt der Gehalt an Molybdän höchstens 4,0 Gew.-%, bevorzugt höchstens 3,5 Gew.-%, bevorzugter höchstens 3,0 Gew.-%, noch bevorzugter höchstens 2,5 Gew.-%, am bevorzugtesten höchstens 2,0 Gew.-%, und insbesondere höchstens 1,5 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung. LU103141

[0164] In anderen bevorzugten Ausführungsformen enthält die erfindungsgemäße Metalllegierung allenfalls sehr geringe Mengen an Molybdän, bevorzugt höchstens 1,0 Gew.-%, bevorzugter höchstens 0,5 Gew.-%, noch bevorzugter höchstens 0,1 Gew.-%, am bevorzugtesten ist Molybdän nominell nicht enthalten.

[0165] Bevorzugt enthält die erfindungsgemäße Metalllegierung Vanadium.

[0166] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung beträgt der Gehalt an Vanadium mindestens 0,1 Gew.-%, bevorzugt mindestens 0,2 Gew.-%, bevorzugter mindestens 0,3 Gew.-%, noch bevorzugter mindestens 0,4 Gew.-%, am bevorzugtesten mindestens 0,5 Gew.-%, und insbesondere mindestens 0,6 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0167] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung beträgt der Gehalt an Vanadium höchstens 4,0 Gew.-%, bevorzugt höchstens 3,5 Gew.-%, bevorzugter höchstens 3,0 Gew.-%, noch bevorzugter höchstens 2,5 Gew.-%, am bevorzugtesten höchstens 2,0 Gew.-%, und insbesondere höchstens 1,5 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0168] In anderen bevorzugten Ausführungsformen enthält die erfindungsgemäße Metalllegierung allenfalls sehr geringe Mengen an Vanadium, bevorzugt höchstens 1,0 Gew.-%, bevorzugter höchstens 0,5 Gew.-%, noch bevorzugter höchstens 0,1 Gew.-%, am bevorzugtesten ist Vanadium nominell nicht enthalten.

[0169] Bevorzugt enthält die erfindungsgemäße Metalllegierung Mangan.

[0170] Es wurde gefunden, dass Mangan bei Gegenwart von Chrom zur Bildung von Spinellen neigt (MnCr_2O_4), welche thermodynamisch stabiler als Cr_2O_3 sind und sich insbesondere bei niedrigen Sauerstoffpartialdrücken bilden. Die Wachstumsgeschwindigkeit der Spinelle ist höher als die Wachstumsgeschwindigkeit von Cr_2O_3 .

[0171] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung beträgt der Gehalt an Mangan mindestens 0,1 Gew.-%, bevorzugt mindestens 0,2 Gew.-%, bevorzugter mindestens 0,3 Gew.-%, noch bevorzugter mindestens 0,4 Gew.-%, am bevorzugtesten mindestens 0,5 Gew.-%, und insbesondere mindestens 0,6 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0172] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung beträgt der Gehalt an Mangan höchstens 4,0 Gew.-%, bevorzugt höchstens 3,5 Gew.-%, bevorzugter höchstens 3,0 Gew.-%, noch bevorzugter höchstens 2,5 Gew.-%, am bevorzugtesten höchstens 2,0 Gew.-%, und insbesondere höchstens 1,5 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

230086P00LU

[0173] In anderen bevorzugten Ausführungsformen enthält die erfindungsgemäße Metalllegierung allenfalls sehr geringe Mengen an Mangan, bevorzugt höchstens 1,0 Gew.-%, bevorzugter höchstens 0,5 Gew.-%, noch bevorzugter höchstens 0,2 Gew.-%, am bevorzugtesten ist Mangan nominell nicht enthalten.

[0174] Bevorzugt enthält die erfindungsgemäße Metalllegierung Zirkonium.

[0175] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung beträgt der Gehalt an Zirkonium mindestens 0,1 Gew.-%, bevorzugt mindestens 0,2 Gew.-%, bevorzugter mindestens 0,3 Gew.-%, noch bevorzugter mindestens 0,4 Gew.-%, am bevorzugtesten mindestens 0,5 Gew.-%, und insbesondere mindestens 0,6 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0176] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung beträgt der Gehalt an Zirkonium höchstens 4,0 Gew.-%, bevorzugt höchstens 3,5 Gew.-%, bevorzugter höchstens 3,0 Gew.-%, noch bevorzugter höchstens 2,5 Gew.-%, am bevorzugtesten höchstens 2,0 Gew.-%, und insbesondere höchstens 1,5 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0177] In anderen bevorzugten Ausführungsformen enthält die erfindungsgemäße Metalllegierung allenfalls sehr geringe Mengen an Zirkonium, bevorzugt höchstens 1,0 Gew.-%, bevorzugter höchstens 0,5 Gew.-%, noch bevorzugter höchstens 0,1 Gew.-%, am bevorzugtesten ist Zirkonium nominell nicht enthalten.

[0178] Bevorzugt enthält die erfindungsgemäße Metalllegierung Kupfer.

[0179] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung beträgt der Gehalt an Kupfer mindestens 0,1 Gew.-%, bevorzugt mindestens 0,2 Gew.-%, bevorzugter mindestens 0,3 Gew.-%, noch bevorzugter mindestens 0,4 Gew.-%, am bevorzugtesten mindestens 0,5 Gew.-%, und insbesondere mindestens 0,6 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0180] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung beträgt der Gehalt an Kupfer höchstens 4,0 Gew.-%, bevorzugt höchstens 3,5 Gew.-%, bevorzugter höchstens 3,0 Gew.-%, noch bevorzugter höchstens 2,5 Gew.-%, am bevorzugtesten höchstens 2,0 Gew.-%, und insbesondere höchstens 1,5 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0181] In anderen bevorzugten Ausführungsformen enthält die erfindungsgemäße Metalllegierung allenfalls sehr geringe Mengen an Kupfer, bevorzugt höchstens 1,0 Gew.-%, bevorzugter höchstens 0,5 Gew.-%, noch bevorzugter höchstens 0,1 Gew.-%, am bevorzugtesten ist Kupfer nominell nicht enthalten.

[0182] Bevorzugt enthält die erfindungsgemäße Metalllegierung Niob.

[0183] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung beträgt der Gehalt an Niob mindestens 0,1 Gew.-%, bevorzugt mindestens 0,2 Gew.-%, bevorzugter mindestens 0,3 Gew.-%, noch bevorzugter

230086P00LU

mindestens 0,4 Gew.-%, am bevorzugtesten mindestens 0,5 Gew.-%, und insbesondere mindestens 0,6 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung. LU103141

[0184] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung beträgt der Gehalt an Niob höchstens 5,5 Gew.-%, bevorzugt höchstens 5,0 Gew.-%, bevorzugter höchstens 4,5 Gew.-%, noch bevorzugter höchstens 4,0 Gew.-%, am bevorzugtesten höchstens 3,5 Gew.-%, und insbesondere höchstens 3,0 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0185] In anderen bevorzugten Ausführungsformen enthält die erfindungsgemäße Metalllegierung allenfalls sehr geringe Mengen an Niob, bevorzugt höchstens 1,5 Gew.-%, bevorzugter höchstens 1,0 Gew.-%, noch bevorzugter 0,5 Gew.-%, noch bevorzugter höchstens 0,1 Gew.-%, am bevorzugtesten ist Niob nominell nicht enthalten.

[0186] Bevorzugt enthält die erfindungsgemäße Metalllegierung Wolfram.

[0187] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung beträgt der Gehalt an Wolfram mindestens 0,1 Gew.-%, bevorzugt mindestens 0,2 Gew.-%, bevorzugter mindestens 0,3 Gew.-%, noch bevorzugter mindestens 0,4 Gew.-%, am bevorzugtesten mindestens 0,5 Gew.-%, und insbesondere mindestens 0,6 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0188] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung beträgt der Gehalt an Wolfram höchstens 20 Gew.-%, bevorzugt höchstens 19 Gew.-%, bevorzugter höchstens 18 Gew.-%, noch bevorzugter höchstens 17 Gew.-%, am bevorzugtesten höchstens 16 Gew.-%, und insbesondere höchstens 15 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0189] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung beträgt der Gehalt an Wolfram höchstens 5,0 Gew.-%, bevorzugt höchstens 4,0 Gew.-%, bevorzugter höchstens 3,0 Gew.-%, noch bevorzugter höchstens 2,5 Gew.-%, am bevorzugtesten höchstens 2,0 Gew.-%, und insbesondere höchstens 1,5 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0190] In anderen bevorzugten Ausführungsformen enthält die erfindungsgemäße Metalllegierung allenfalls sehr geringe Mengen an Wolfram, bevorzugt höchstens 1,0 Gew.-%, bevorzugter höchstens 0,5 Gew.-%, noch bevorzugter höchstens 0,1 Gew.-%, am bevorzugtesten ist Wolfram nominell nicht enthalten.

[0191] Bevorzugt enthält die erfindungsgemäße Metalllegierung ein Metall der Selten Erden, vorzugsweise ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Scandium, Lanthan, Cer, Praseodym, Neodym, Promethium, Samarium, Europium, Yttrium, Gadolinium, Terbium, Dysprosium, Holmium, Erbium, Thulium, Ytterbium und Lutetium; bevorzugter Scandium, Lanthan, Cer, Neodym und Yttrium. Es wurde gefunden, dass seltene Erden (insbesondere Cer und Yttrium) bei einer äußeren Nitridierung (niedrigem Sauerstoffpartialdruck) die Haftung des Nitrids verbessern kann.

230086P00LU

[0192] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung beträgt der Gesamtgehalt an Metallen der Selten Erden mindestens 0,01 Gew.-%, bevorzugt mindestens 0,02 Gew.-%, bevorzugter mindestens 0,03 Gew.-%, noch bevorzugter mindestens 0,04 Gew.-%, am bevorzugtesten mindestens 0,05 Gew.-%, und insbesondere mindestens 0,06 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung. LU103141

[0193] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung beträgt der Gesamtgehalt an Metallen der Selten Erden höchstens 0,6 Gew.-%, bevorzugt höchstens 0,5 Gew.-%, bevorzugter höchstens 0,4 Gew.-%, noch bevorzugter höchstens 0,3 Gew.-%, am bevorzugtesten höchstens 0,2 Gew.-%, und insbesondere höchstens 0,1 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0194] In anderen bevorzugten Ausführungsformen enthält die erfindungsgemäße Metalllegierung allenfalls sehr geringe Mengen an Metallen der Selten Erden, bevorzugt höchstens 0,10 Gew.-%, bevorzugter höchstens 0,09 Gew.-%, noch bevorzugter höchstens 0,08 Gew.-%, am bevorzugtesten sind Metalle der Selten Erden nominell nicht enthalten.

[0195] Bevorzugt enthält die erfindungsgemäße Metalllegierung Cer.

[0196] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung beträgt der Gehalt an Cer mindestens 0,01 Gew.-%, bevorzugt mindestens 0,02 Gew.-%, bevorzugter mindestens 0,03 Gew.-%, noch bevorzugter mindestens 0,04 Gew.-%, am bevorzugtesten mindestens 0,05 Gew.-%, und insbesondere mindestens 0,06 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0197] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung beträgt der Gehalt an Cer höchstens 0,6 Gew.-%, bevorzugt höchstens 0,5 Gew.-%, bevorzugter höchstens 0,4 Gew.-%, noch bevorzugter höchstens 0,3 Gew.-%, am bevorzugtesten höchstens 0,2 Gew.-%, und insbesondere höchstens 0,1 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0198] In anderen bevorzugten Ausführungsformen enthält die erfindungsgemäße Metalllegierung allenfalls sehr geringe Mengen an Cer, bevorzugt höchstens 1,0 Gew.-%, bevorzugter höchstens 0,5 Gew.-%, noch bevorzugter höchstens 0,1 Gew.-%, am bevorzugtesten ist Cer nominell nicht enthalten.

[0199] Bevorzugt enthält die erfindungsgemäße Metalllegierung Yttrium.

[0200] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung beträgt der Gehalt an Yttrium mindestens 0,01 Gew.-%, bevorzugt mindestens 0,02 Gew.-%, bevorzugter mindestens 0,03 Gew.-%, noch bevorzugter mindestens 0,04 Gew.-%, am bevorzugtesten mindestens 0,05 Gew.-%, und insbesondere mindestens 0,06 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0201] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung beträgt der Gehalt an Yttrium höchstens 0,6 Gew.-%, bevorzugt höchstens 0,5 Gew.-%, bevorzugter höchstens 0,4 Gew.-%, noch bevorzugter höchstens 0,3 Gew.-%, am bevorzugtesten höchstens 0,2 Gew.-%, und insbesondere höchstens 0,1 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

230086P00LU

[0202] In anderen bevorzugten Ausführungsformen enthält die erfindungsgemäße Metalllegierung allenfalls sehr geringe Mengen an Yttrium, bevorzugt höchstens 0,10 Gew.-%, bevorzugter höchstens 0,09 Gew.-%, noch bevorzugter höchstens 0,08 Gew.-%, am bevorzugtesten ist Yttrium nominell nicht enthalten. LU103141

[0203] Bevorzugt enthält die erfindungsgemäße Metalllegierung Lanthan.

[0204] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung beträgt der Gehalt an Lanthan mindestens 0,01 Gew.-%, bevorzugt mindestens 0,02 Gew.-%, bevorzugter mindestens 0,03 Gew.-%, noch bevorzugter mindestens 0,04 Gew.-%, am bevorzugtesten mindestens 0,05 Gew.-%, und insbesondere mindestens 0,06 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0205] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung beträgt der Gehalt an Lanthan höchstens 0,6 Gew.-%, bevorzugt höchstens 0,5 Gew.-%, bevorzugter höchstens 0,4 Gew.-%, noch bevorzugter höchstens 0,3 Gew.-%, am bevorzugtesten höchstens 0,2 Gew.-%, und insbesondere höchstens 0,15 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0206] In anderen bevorzugten Ausführungsformen enthält die erfindungsgemäße Metalllegierung allenfalls sehr geringe Mengen an Lanthan, bevorzugt höchstens 0,10 Gew.-%, bevorzugter höchstens 0,09 Gew.-%, noch bevorzugter höchstens 0,08 Gew.-%, am bevorzugtesten ist Lanthan nominell nicht enthalten.

[0207] Bevorzugt enthält die erfindungsgemäße Metalllegierung Bor.

[0208] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung beträgt der Gehalt an Bor mindestens 0,1 Gew.-%, bevorzugt mindestens 0,2 Gew.-%, bevorzugter mindestens 0,3 Gew.-%, noch bevorzugter mindestens 0,4 Gew.-%, am bevorzugtesten mindestens 0,5 Gew.-%, und insbesondere mindestens 0,6 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0209] In bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung beträgt der Gehalt an Bor höchstens 4,0 Gew.-%, bevorzugt höchstens 3,5 Gew.-%, bevorzugter höchstens 3,0 Gew.-%, noch bevorzugter höchstens 2,5 Gew.-%, am bevorzugtesten höchstens 2,0 Gew.-%, und insbesondere höchstens 1,5 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0210] In anderen bevorzugten Ausführungsformen enthält die erfindungsgemäße Metalllegierung allenfalls sehr geringe Mengen an Bor, bevorzugt höchstens 0,1 Gew.-%, bevorzugter höchstens 0,01 Gew.-%, noch bevorzugter höchstens 0,001 Gew.-%, am bevorzugtesten ist Bor nominell nicht enthalten.

[0211] Bevorzugt beträgt

- der Gesamtgehalt an Nickel und ggf. Kobalt mindestens 54 Gew.-%,
- der Gehalt an Chrom höchstens 24 Gew.-%, und
- der Gesamtgehalt an Aluminium und/oder Titan höchstens 2,1 Gew.-%,

jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0212] Bevorzugt beträgt

- der Gesamtgehalt an Nickel und ggf. Kobalt mindestens 57 Gew.-%, und
- der Gehalt an Chrom mindestens 26 Gew.-%,

jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

[0213] Bevorzugt ist die Metalllegierung ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Metalllegierungen A1 bis A12, B1 bis B17, C1 bis C17, D1 bis D17, oder E1 bis E17, welche jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung folgenden Gehalt an Chrom und Nickel in Gew.-% enthalten, wobei jeweils weitere, nicht in den Tabellen aufgeführte Bestandteile enthalten sein können:

	Cr	Ni		Cr	Ni		Cr	Ni
A1	15,5±4,5	74,8±15,6	B1	15,5±3,8	74,8±13,0	C1	15,5±3,0	74,8±10,4
A2	22±3,0	64,5±19,5	B2	22±2,5	64,5±16,3	C2	22±2,0	64,5±13,0
A3	25±3,0	63±9,0	B3	25±2,5	63±7,5	C3	25±2,0	63±6,0
A4	23±6,0	60,5±7,5	B4	23±5,0	60,5±6,3	C4	23±4,0	60,5±5,0
A5	22±3,0	57±3,0	B5	22±2,5	57±2,5	C5	22±2,0	57±2,0
A6	16±3,0	57±18,0	B6	16±2,5	57±15,0	C6	16±2,0	57±12,0
A7	22±6,0	44,5±3,0	B7	22±5,0	44,5±2,5	C7	22±4,0	44,5±2,0
A8	21,5±6,0	42±12,0	B8	21,5±5,0	42±10,0	C8	21,5±4,0	42±8,0
A9	28±3,0	40,1±14,7	B9	28±2,5	40,1±12,3	C9	28±2,0	40,1±9,8
A10	25±3,0	35±3,0	B10	25±2,5	35±2,5	C10	25±2,0	35±2,0
A11	16±3,0	35±6,0	B11	16±2,5	35±5,0	C11	16±2,0	35±4,0
A12	20,5±4,5	31,5±4,5	B12	20,5±3,8	31,5±3,8	C12	20,5±3,0	31,5±3,0
A13	23±3,0	31±3,0	B13	23±2,5	31±2,5	C13	23±2,0	31±2,0
A14	25±3,0	20,5±4,5	B14	25±2,5	20,5±3,8	C14	25±2,0	20,5±3,0
A15	25±3,0	20,5±4,5	B15	25±2,5	20,5±3,8	C15	25±2,0	20,5±3,0
A16	16±3,0	13±3,0	B16	16±2,5	13±2,5	C16	16±2,0	13±2,0
A17	21±3,0	11±3,0	B17	21±2,5	11±2,5	C17	21±2,0	11±2,0

	Cr	Ni		Cr	Ni
D1	15,5±2,3	74,8±7,8	E1	15,5±1,5	74,8±5,2
D2	22±1,5	64,5±9,8	E2	22±1,0	64,5±6,5
D3	25±1,5	63±4,5	E3	25±1,0	63±3,0
D4	23±3,0	60,5±3,8	E4	23±2,0	60,5±2,5
D5	22±1,5	57±1,5	E5	22±1,0	57±1,0
D6	16±1,5	57±9,0	E6	16±1,0	57±6,0
D7	22±3,0	44,5±1,5	E7	22±2,0	44,5±1,0
D8	21,5±3,0	42±6,0	E8	21,5±2,0	42±4,0
D9	28±1,5	40,1±7,4	E9	28±1,0	40,1±4,9
D10	25±1,5	35±1,5	E10	25±1,0	35±1,0
D11	16±1,5	35±3,0	E11	16±1,0	35±2,0
D12	20,5±2,3	31,5±2,3	E12	20,5±1,5	31,5±1,5
D13	23±1,5	31±1,5	E13	23±1,0	31±1,0
D14	25±1,5	20,5±2,3	E14	25±1,0	20,5±1,5
D15	25±1,5	20,5±2,3	E15	25±1,0	20,5±1,5
D16	16±1,5	13±1,5	E16	16±1,0	13±1,0
D17	21±1,5	11±1,5	E17	21±1,0	11±1,0

230086P00LU

[0214] Bevorzugt ist die Metalllegierung ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Metalllegierungen LU103141 F1 bis F12, G1 bis G17, H1 bis H17, I1 bis I17, oder J1 bis J17, welche jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung folgenden Gehalt an ggf. Eisen, Chrom und Nickel in Gew.-% enthalten, wobei jeweils weitere, nicht in den Tabellen aufgeführte Bestandteile enthalten sein können:

	Fe	Cr	Ni
F1	8,0±6,0	15,5±4,5	74,8±15,6
F2	7,5±7,5	22±3,0	64,5±19,5
F3	9,5±4,5	25±3,0	63±9,0
F4	27,0±27,0	23±6,0	60,5±7,5
F5	4,5±4,5	22±3,0	57±3,0
F6	5,5±4,5	16±3,0	57±18,0
F7	4,5±4,5	22±6,0	44,5±3,0
F8	29±27,0	21,5±6,0	42±12,0
F9	3,0±3,0	28±3,0	40,1±14,7
F10	39,2±8,4	25±3,0	35±3,0
F11	48±12,0	16±3,0	35±6,0
F12	47±12,0	20,5±4,5	31,5±4,5
F13	45,2±8,4	23±3,0	31±3,0
F14	52,5±7,5	25±3,0	20,5±4,5
F15	51,7±6,9	25±3,0	20,5±4,5
F16	70,7±6,9	16±3,0	13±3,0
F17	66,7±9,9	21±3,0	11±3,0

	Fe	Cr	Ni
G1	8,0±5,0	15,5±3,8	74,8±13,0
G2	6,3±6,3	22±2,5	64,5±16,3
G3	9,5±3,8	25±2,5	63±7,5
G4	22,5±22,5	23±5,0	60,5±6,3
G5	3,8±3,8	22±2,5	57±2,5
G6	5,5±3,8	16±2,5	57±15,0
G7	3,8±3,8	22±5,0	44,5±2,5
G8	29±22,5	21,5±5,0	42±10,0
G9	2,5±2,5	28±2,5	40,1±12,3
G10	39,2±7,0	25±2,5	35±2,5
G11	48±10,0	16±2,5	35±5,0
G12	47±10,0	20,5±3,8	31,5±3,8
G13	45,2±7,0	23±2,5	31±2,5
G14	52,5±6,3	25±2,5	20,5±3,8
G15	51,7±5,8	25±2,5	20,5±3,8
G16	70,7±5,8	16±2,5	13±2,5
G17	66,7±8,3	21±2,5	11±2,5

	Fe	Cr	Ni
H1	8,0±4,0	15,5±3,0	74,8±10,4
H2	5,0±5,0	22±2,0	64,5±13,0
H3	9,5±3,0	25±2,0	63±6,0
H4	18,0±18,0	23±4,0	60,5±5,0
H5	3,0±3,0	22±2,0	57±2,0
H6	5,5±3,0	16±2,0	57±12,0
H7	3,0±3,0	22±4,0	44,5±2,0
H8	29±18,0	21,5±4,0	42±8,0
H9	2,0±2,0	28±2,0	40,1±9,8
H10	39,2±5,6	25±2,0	35±2,0
H11	48±8,0	16±2,0	35±4,0
H12	47±8,0	20,5±3,0	31,5±3,0
H13	45,2±5,6	23±2,0	31±2,0
H14	52,5±5,0	25±2,0	20,5±3,0
H15	51,7±4,6	25±2,0	20,5±3,0
H16	70,7±4,6	16±2,0	13±2,0
H17	66,7±6,6	21±2,0	11±2,0

	Fe	Cr	Ni
I1	8,0±3,0	15,5±2,3	74,8±7,8
I2	3,8±3,8	22±1,5	64,5±9,8
I3	9,5±2,3	25±1,5	63±4,5
I4	13,5±13,5	23±3,0	60,5±3,8
I5	2,3±2,3	22±1,5	57±1,5
I6	5,5±2,3	16±1,5	57±9,0
I7	2,3±2,3	22±3,0	44,5±1,5
I8	29±13,5	21,5±3,0	42±6,0
I9	1,5±1,5	28±1,5	40,1±7,4
I10	39,2±4,2	25±1,5	35±1,5
I11	48±6,0	16±1,5	35±3,0
I12	47±6,0	20,5±2,3	31,5±2,3
I13	45,2±4,2	23±1,5	31±1,5
I14	52,5±3,8	25±1,5	20,5±2,3
I15	51,7±3,5	25±1,5	20,5±2,3
I16	70,7±3,5	16±1,5	13±1,5
I17	66,7±5,0	21±1,5	11±1,5

	Fe	Cr	Ni
J1	8,0±2,0	15,5±1,5	74,8±5,2
J2	2,5±2,5	22±1,0	64,5±6,5
J3	9,5±1,5	25±1,0	63±3,0
J4	9,0±9,0	23±2,0	60,5±2,5
J5	1,5±1,5	22±1,0	57±1,0
J6	5,5±1,5	16±1,0	57±6,0
J7	1,5±1,5	22±2,0	44,5±1,0
J8	29±9,0	21,5±2,0	42±4,0

J9	1,0±1,0	28±1,0	40,1±4,9
J10	39,2±2,8	25±1,0	35±1,0
J11	48±4,0	16±1,0	35±2,0
J12	47±4,0	20,5±1,5	31,5±1,5
J13	45,2±2,8	23±1,0	31±1,0
J14	52,5±2,5	25±1,0	20,5±1,5
J15	51,7±2,3	25±1,0	20,5±1,5
J16	70,7±2,3	16±1,0	13±1,0
J17	66,7±3,3	21±1,0	11±1,0

[0215] Bevorzugt ist die Metalllegierung ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Metalllegierungen K1 bis K12, L1 bis L17, M1 bis M17, N1 bis N17, oder O1 bis O17, welche jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung folgenden Gehalt an Chrom, Nickel und ggf. Kobalt in Gew.-% enthalten, wobei jeweils weitere, nicht in den Tabellen aufgeführte Bestandteile enthalten sein können:

	Cr	Ni	Co
K1	15,5±4,5	74,8±15,6	3,0±3,0
K2	22±3,0	64,5±19,5	1,5±1,5
K3	25±3,0	63±9,0	0,4±0,4
K4	23±6,0	60,5±7,5	0,4±0,4
K5	22±3,0	57±3,0	7,5±7,5
K6	16±3,0	57±18,0	4,5±4,5
K7	22±6,0	44,5±3,0	12,5±7,5
K8	21,5±6,0	42±12,0	1,5±1,5
K9	28±3,0	40,1±14,7	29±3,0
K10	25±3,0	35±3,0	0,4±0,4
K11	16±3,0	35±6,0	0,4±0,4
K12	20,5±4,5	31,5±4,5	0,4±0,4
K13	23±3,0	31±3,0	0,4±0,4
K14	25±3,0	20,5±4,5	0,4±0,4
K15	25±3,0	20,5±4,5	0,4±0,4
K16	16±3,0	13±3,0	0,4±0,4
K17	21±3,0	11±3,0	0,4±0,4

	Cr	Ni	Co
L1	15,5±3,8	74,8±13,0	2,5±2,5
L2	22±2,5	64,5±16,3	1,3±1,3
L3	25±2,5	63±7,5	0,3±0,3
L4	23±5,0	60,5±6,3	0,3±0,3
L5	22±2,5	57±2,5	6,3±6,3
L6	16±2,5	57±15,0	3,8±3,8
L7	22±5,0	44,5±2,5	12,5±6,3
L8	21,5±5,0	42±10,0	1,3±1,3
L9	28±2,5	40,1±12,3	29±2,5
L10	25±2,5	35±2,5	0,3±0,3
L11	16±2,5	35±5,0	0,3±0,3
L12	20,5±3,8	31,5±3,8	0,3±0,3
L13	23±2,5	31±2,5	0,3±0,3
L14	25±2,5	20,5±3,8	0,3±0,3
L15	25±2,5	20,5±3,8	0,3±0,3
L16	16±2,5	13±2,5	0,3±0,3
L17	21±2,5	11±2,5	0,3±0,3

	Cr	Ni	Co
M1	15,5±3,0	74,8±10,4	2,0±2,0
M2	22±2,0	64,5±13,0	1,0±1,0
M3	25±2,0	63±6,0	0,2±0,2
M4	23±4,0	60,5±5,0	0,2±0,2
M5	22±2,0	57±2,0	5,0±5,0
M6	16±2,0	57±12,0	3,0±3,0
M7	22±4,0	44,5±2,0	12,5±5,0
M8	21,5±4,0	42±8,0	1,0±1,0
M9	28±2,0	40,1±9,8	29±2,0
M10	25±2,0	35±2,0	0,2±0,2
M11	16±2,0	35±4,0	0,2±0,2
M12	20,5±3,0	31,5±3,0	0,2±0,2
M13	23±2,0	31±2,0	0,2±0,2
M14	25±2,0	20,5±3,0	0,2±0,2
M15	25±2,0	20,5±3,0	0,2±0,2
M16	16±2,0	13±2,0	0,2±0,2
M17	21±2,0	11±2,0	0,2±0,2

	Cr	Ni	Co
N1	15,5±2,3	74,8±7,8	1,5±1,5
N2	22±1,5	64,5±9,8	0,8±0,8
N3	25±1,5	63±4,5	0,2±0,2
N4	23±3,0	60,5±3,8	0,2±0,2
N5	22±1,5	57±1,5	3,8±3,8
N6	16±1,5	57±9,0	2,3±2,3
N7	22±3,0	44,5±1,5	12,5±3,8
N8	21,5±3,0	42±6,0	0,8±0,8
N9	28±1,5	40,1±7,4	29±1,5
N10	25±1,5	35±1,5	0,2±0,2
N11	16±1,5	35±3,0	0,2±0,2
N12	20,5±2,3	31,5±2,3	0,2±0,2
N13	23±1,5	31±1,5	0,2±0,2
N14	25±1,5	20,5±2,3	0,2±0,2
N15	25±1,5	20,5±2,3	0,2±0,2
N16	16±1,5	13±1,5	0,2±0,2
N17	21±1,5	11±1,5	0,2±0,2

	Cr	Ni	Co
O1	15,5±1,5	74,8±5,2	1,0±1,0
O2	22±1,0	64,5±6,5	0,5±0,5
O3	25±1,0	63±3,0	0,1±0,1
O4	23±2,0	60,5±2,5	0,1±0,1
O5	22±1,0	57±1,0	2,5±2,5
O6	16±1,0	57±6,0	1,5±1,5
O7	22±2,0	44,5±1,0	12,5±2,5
O8	21,5±2,0	42±4,0	0,5±0,5
O9	28±1,0	40,1±4,9	29±1,0
O10	25±1,0	35±1,0	0,1±0,1
O11	16±1,0	35±2,0	0,1±0,1
O12	20,5±1,5	31,5±1,5	0,1±0,1
O13	23±1,0	31±1,0	0,1±0,1
O14	25±1,0	20,5±1,5	0,1±0,1
O15	25±1,0	20,5±1,5	0,1±0,1
O16	16±1,0	13±1,0	0,1±0,1
O17	21±1,0	11±1,0	0,1±0,1

[0216] Bevorzugt ist die Metalllegierung ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Metalllegierungen P1 bis P12, Q1 bis Q17, R1 bis R17, S1 bis S17, oder T1 bis T17, welche jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung folgenden Gehalt an ggf. Eisen, Chrom, Nickel und ggf. Kobalt in Gew.-% enthalten, wobei jeweils weitere, nicht in den Tabellen aufgeführte Bestandteile enthalten sein können:

	Fe	Cr	Ni	Co
P1	8,0±6,0	15,5±4,5	74,8±15,6	3,0±3,0
P2	7,5±7,5	22±3,0	64,5±19,5	1,5±1,5
P3	9,5±4,5	25±3,0	63±9,0	0,4±0,4
P4	27,0±27,0	23±6,0	60,5±7,5	0,4±0,4
P5	4,5±4,5	22±3,0	57±3,0	7,5±7,5
P6	5,5±4,5	16±3,0	57±18,0	4,5±4,5
P7	4,5±4,5	22±6,0	44,5±3,0	12,5±7,5
P8	29±27,0	21,5±6,0	42±12,0	1,5±1,5
P9	3,0±3,0	28±3,0	40,1±14,7	29±3,0
P10	39,2±8,4	25±3,0	35±3,0	0,4±0,4
P11	48±12,0	16±3,0	35±6,0	0,4±0,4
P12	47±12,0	20,5±4,5	31,5±4,5	0,4±0,4
P13	45,2±8,4	23±3,0	31±3,0	0,4±0,4
P14	52,5±7,5	25±3,0	20,5±4,5	0,4±0,4
P15	51,7±6,9	25±3,0	20,5±4,5	0,4±0,4
P16	70,7±6,9	16±3,0	13±3,0	0,4±0,4
P17	66,7±9,9	21±3,0	11±3,0	0,4±0,4

	Fe	Cr	Ni	Co
Q1	8,0±5,0	15,5±3,8	74,8±13,0	2,5±2,5
Q2	6,3±6,3	22±2,5	64,5±16,3	1,3±1,3
Q3	9,5±3,8	25±2,5	63±7,5	0,3±0,3
Q4	22,5±22,5	23±5,0	60,5±6,3	0,3±0,3
Q5	3,8±3,8	22±2,5	57±2,5	6,3±6,3

Q6	5,5±3,8	16±2,5	57±15,0	3,8±3,8
Q7	3,8±3,8	22±5,0	44,5±2,5	12,5±6,3
Q8	29±22,5	21,5±5,0	42±10,0	1,3±1,3
Q9	2,5±2,5	28±2,5	40,1±12,3	29±2,5
Q10	39,2±7,0	25±2,5	35±2,5	0,3±0,3
Q11	48±10,0	16±2,5	35±5,0	0,3±0,3
Q12	47±10,0	20,5±3,8	31,5±3,8	0,3±0,3
Q13	45,2±7,0	23±2,5	31±2,5	0,3±0,3
Q14	52,5±6,3	25±2,5	20,5±3,8	0,3±0,3
Q15	51,7±5,8	25±2,5	20,5±3,8	0,3±0,3
Q16	70,7±5,8	16±2,5	13±2,5	0,3±0,3
Q17	66,7±8,3	21±2,5	112,5	0,3±0,3

	Fe	Cr	Ni	Co
R1	8,0±4,0	15,5±3,0	74,8±10,4	2,0±2,0
R2	5,0±5,0	22±2,0	64,5±13,0	1,0±1,0
R3	9,5±3,0	25±2,0	63±6,0	0,2±0,2
R4	18,0±18,0	23±4,0	60,5±5,0	0,2±0,2
R5	3,0±3,0	22±2,0	57±2,0	5,0±5,0
R6	5,5±3,0	16±2,0	57±12,0	3,0±3,0
R7	3,0±3,0	22±4,0	44,5±2,0	12,5±5,0
R8	29±18,0	21,5±4,0	42±8,0	1,0±1,0
R9	2,0±2,0	28±2,0	40,1±9,8	29±2,0
R10	39,2±5,6	25±2,0	35±2,0	0,2±0,2
R11	48±8,0	16±2,0	35±4,0	0,2±0,2
R12	47±8,0	20,5±3,0	31,5±3,0	0,2±0,2
R13	45,2±5,6	23±2,0	31±2,0	0,2±0,2
R14	52,5±5,0	25±2,0	20,5±3,0	0,2±0,2
R15	51,7±4,6	25±2,0	20,5±3,0	0,2±0,2
R16	70,7±4,6	16±2,0	13±2,0	0,2±0,2
R17	66,7±6,6	21±2,0	11±2,0	0,2±0,2

	Fe	Cr	Ni	Co
S1	8,0±3,0	15,5±2,3	74,8±7,8	1,5±1,5
S2	3,8±3,8	22±1,5	64,5±9,8	0,8±0,8
S3	9,5±2,3	25±1,5	63±4,5	0,2±0,2
S4	13,5±13,5	23±3,0	60,5±3,8	0,2±0,2
S5	2,3±2,3	22±1,5	57±1,5	3,8±3,8
S6	5,5±2,3	16±1,5	57±9,0	2,3±2,3
S7	2,3±2,3	22±3,0	44,5±1,5	12,5±3,8
S8	29±13,5	21,5±3,0	42±6,0	0,8±0,8
S9	1,5±1,5	28±1,5	40,1±7,4	29±1,5
S10	39,2±4,2	25±1,5	35±1,5	0,2±0,2
S11	48±6,0	16±1,5	35±3,0	0,2±0,2
S12	47±6,0	20,5±2,3	31,5±2,3	0,2±0,2
S13	45,2±4,2	23±1,5	31±1,5	0,2±0,2
S14	52,5±3,8	25±1,5	20,5±2,3	0,2±0,2
S15	51,7±3,5	25±1,5	20,5±2,3	0,2±0,2
S16	70,7±3,5	16±1,5	13±1,5	0,2±0,2
S17	66,7±5,0	21±1,5	11±1,5	0,2±0,2

	Fe	Cr	Ni	Co
T1	8,0±2,0	15,5±1,5	74,8±5,2	1,0±1,0

T2	2,5±2,5	22±1,0	64,5±6,5	0,5±0,5
T3	9,5±1,5	25±1,0	63±3,0	0,1±0,1
T4	9,0±9,0	23±2,0	60,5±2,5	0,1±0,1
T5	1,5±1,5	22±1,0	57±1,0	2,5±2,5
T6	5,5±1,5	16±1,0	57±6,0	1,5±1,5
T7	1,5±1,5	22±2,0	44,5±1,0	12,5±2,5
T8	29±9,0	21,5±2,0	42±4,0	0,5±0,5
T9	1,0±1,0	28±1,0	40,1±4,9	29±1,0
T10	39,2±2,8	25±1,0	35±1,0	0,1±0,1
T11	48±4,0	16±1,0	35±2,0	0,1±0,1
T12	47±4,0	20,5±1,5	31,5±1,5	0,1±0,1
T13	45,2±2,8	23±1,0	31±1,0	0,1±0,1
T14	52,5±2,5	25±1,0	20,5±1,5	0,1±0,1
T15	51,7±2,3	25±1,0	20,5±1,5	0,1±0,1
T16	70,7±2,3	16±1,0	13±1,0	0,1±0,1
T17	66,7±3,3	21±1,0	11±1,0	0,1±0,1

[0217] Bevorzugt ist die Metalllegierung ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Metalllegierungen U1 bis U12, V1 bis V17, W1 bis W17, X1 bis X17, oder Y1 bis Y17, welche jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung folgenden Gehalt an ggf. Eisen, Chrom, Nickel, ggf. Kobalt, ggf. Aluminium und ggf. Titan in Gew.-% enthalten, wobei jeweils weitere, nicht in den Tabellen aufgeführte Bestandteile enthalten sein können:

[Gew.-%]	Fe	Cr	Ni	Co	Al	Ti
U1	8,0±6,0	15,5±4,5	74,8±15,6	3,0±3,0	0,6±0,6	0,6±0,6
U2	7,5±7,5	22±3,0	64,5±19,5	1,5±1,5	0,6±0,6	0,6±0,6
U3	9,5±4,5	25±3,0	63±9,0	0,4±0,4	3,6±3,6	0,3±0,3
U4	27,0±27,0	23±6,0	60,5±7,5	0,4±0,4	2,7±2,7	0,9±0,9
U5	4,5±4,5	22±3,0	57±3,0	7,5±7,5	0,6±0,6	0,6±0,6
U6	5,5±4,5	16±3,0	57±18,0	4,5±4,5	0,4±0,4	0,4±0,4
U7	4,5±4,5	22±6,0	44,5±3,0	12,5±7,5	2,4±2,4	0,9±0,9
U8	29±27,0	21,5±6,0	42±12,0	1,5±1,5	0,3±0,3	1,8±1,8
U9	3,0±3,0	28±3,0	40,1±14,7	29±3,0	0,6±0,6	0,9±0,9
U10	39,2±8,4	25±3,0	35±3,0	0,4±0,4	0,4±0,4	0,4±0,4
U11	48±12,0	16±3,0	35±6,0	0,4±0,4	0,4±0,4	0,4±0,4
U12	47±12,0	20,5±4,5	31,5±4,5	0,4±0,4	0,9±0,9	0,9±0,9
U13	45,2±8,4	23±3,0	31±3,0	0,4±0,4	0,6±0,6	1,5±1,5
U14	52,5±7,5	25±3,0	20,5±4,5	0,4±0,4	0,4±0,4	0,4±0,4
U15	51,7±6,9	25±3,0	20,5±4,5	0,4±0,4	0,4±0,4	0,4±0,4
U16	70,7±6,9	16±3,0	13±3,0	0,4±0,4	0,4±0,4	0,4±0,4
U17	66,7±9,9	21±3,0	11±3,0	0,4±0,4	0,4±0,4	0,4±0,4

[Gew.-%]	Fe	Cr	Ni	Co	Al	Ti
V1	8,0±5,0	15,5±3,8	74,8±13,0	2,5±2,5	0,5±0,5	0,5±0,5
V2	6,3±6,3	22±2,5	64,5±16,3	1,3±1,3	0,5±0,5	0,5±0,5
V3	9,5±3,8	25±2,5	63±7,5	0,3±0,3	3,0±3,0	0,3±0,3
V4	22,5±22,5	23±5,0	60,5±6,3	0,3±0,3	2,3±2,3	0,8±0,8
V5	3,8±3,8	22±2,5	57±2,5	6,3±6,3	0,5±0,5	0,5±0,5
V6	5,5±3,8	16±2,5	57±15,0	3,8±3,8	0,3±0,3	0,3±0,3
V7	3,8±3,8	22±5,0	44,5±2,5	12,5±6,3	2,0±2,0	0,8±0,8
V8	29±22,5	21,5±5,0	42±10,0	1,3±1,3	0,3±0,3	1,5±1,5

V9	2,5±2,5	28±2,5	40,1±12,3	29±2,5	0,5±0,5	0,8±0,8
V10	39,2±7,0	25±2,5	35±2,5	0,3±0,3	0,3±0,3	0,3±0,3
V11	48±10,0	16±2,5	35±5,0	0,3±0,3	0,3±0,3	0,3±0,3
V12	47±10,0	20,5±3,8	31,5±3,8	0,3±0,3	0,8±0,8	0,8±0,8
V13	45,2±7,0	23±2,5	31±2,5	0,3±0,3	0,5±0,5	1,3±1,3
V14	52,5±6,3	25±2,5	20,5±3,8	0,3±0,3	0,3±0,3	0,3±0,3
V15	51,7±5,8	25±2,5	20,5±3,8	0,3±0,3	0,3±0,3	0,3±0,3
V16	70,7±5,8	16±2,5	13±2,5	0,3±0,3	0,3±0,3	0,3±0,3
V17	66,7±8,3	21±2,5	112,5	0,3±0,3	0,3±0,3	0,3±0,3

[Gew.-%]	Fe	Cr	Ni	Co	Al	Ti
W1	8,0±4,0	15,5±3,0	74,8±10,4	2,0±2,0	0,4±0,4	0,4±0,4
W2	5,0±5,0	22±2,0	64,5±13,0	1,0±1,0	0,4±0,4	0,4±0,4
W3	9,5±3,0	25±2,0	63±6,0	0,2±0,2	2,4±2,4	0,2±0,2
W4	18,0±18,0	23±4,0	60,5±5,0	0,2±0,2	1,8±1,8	0,6±0,6
W5	3,0±3,0	22±2,0	57±2,0	5,0±5,0	0,4±0,4	0,4±0,4
W6	5,5±3,0	16±2,0	57±12,0	3,0±3,0	0,2±0,2	0,2±0,2
W7	3,0±3,0	22±4,0	44,5±2,0	12,5±5,0	1,6±1,6	0,6±0,6
W8	29±18,0	21,5±4,0	42±8,0	1,0±1,0	0,2±0,2	1,2±1,2
W9	2,0±2,0	28±2,0	40,1±9,8	29±2,0	0,4±0,4	0,6±0,6
W10	39,2±5,6	25±2,0	35±2,0	0,2±0,2	0,2±0,2	0,2±0,2
W11	48±8,0	16±2,0	35±4,0	0,2±0,2	0,2±0,2	0,2±0,2
W12	47±8,0	20,5±3,0	31,5±3,0	0,2±0,2	0,6±0,6	0,6±0,6
W13	45,2±5,6	23±2,0	31±2,0	0,2±0,2	0,4±0,4	1,0±1,0
W14	52,5±5,0	25±2,0	20,5±3,0	0,2±0,2	0,2±0,2	0,2±0,2
W15	51,7±4,6	25±2,0	20,5±3,0	0,2±0,2	0,2±0,2	0,2±0,2
W16	70,7±4,6	16±2,0	13±2,0	0,2±0,2	0,2±0,2	0,2±0,2
W17	66,7±6,6	21±2,0	11±2,0	0,2±0,2	0,2±0,2	0,2±0,2

[Gew.-%]	Fe	Cr	Ni	Co	Al	Ti
X1	8,0±3,0	15,5±2,3	74,8±7,8	1,5±1,5	0,3±0,3	0,3±0,3
X2	3,8±3,8	22±1,5	64,5±9,8	0,8±0,8	0,3±0,3	0,3±0,3
X3	9,5±2,3	25±1,5	63±4,5	0,2±0,2	1,8±1,8	0,2±0,2
X4	13,5±13,5	23±3,0	60,5±3,8	0,2±0,2	1,4±1,4	0,5±0,5
X5	2,3±2,3	22±1,5	57±1,5	3,8±3,8	0,3±0,3	0,3±0,3
X6	5,5±2,3	16±1,5	57±9,0	2,3±2,3	0,2±0,2	0,2±0,2
X7	2,3±2,3	22±3,0	44,5±1,5	12,5±3,8	1,2±1,2	0,5±0,5
X8	29±13,5	21,5±3,0	42±6,0	0,8±0,8	0,2±0,2	0,9±0,9
X9	1,5±1,5	28±1,5	40,1±7,4	29±1,5	0,3±0,3	0,5±0,5
X10	39,2±4,2	25±1,5	35±1,5	0,2±0,2	0,2±0,2	0,2±0,2
X11	48±6,0	16±1,5	35±3,0	0,2±0,2	0,2±0,2	0,2±0,2
X12	47±6,0	20,5±2,3	31,5±2,3	0,2±0,2	0,5±0,5	0,5±0,5
X13	45,2±4,2	23±1,5	31±1,5	0,2±0,2	0,3±0,3	0,8±0,8
X14	52,5±3,8	25±1,5	20,5±2,3	0,2±0,2	0,2±0,2	0,2±0,2
X15	51,7±3,5	25±1,5	20,5±2,3	0,2±0,2	0,2±0,2	0,2±0,2
X16	70,7±3,5	16±1,5	13±1,5	0,2±0,2	0,2±0,2	0,2±0,2
X17	66,7±5,0	21±1,5	11±1,5	0,2±0,2	0,2±0,2	0,2±0,2

[Gew.-%]	Fe	Cr	Ni	Co	Al	Ti
Y1	8,0±2,0	15,5±1,5	74,8±5,2	1,0±1,0	0,2±0,2	0,2±0,2
Y2	2,5±2,5	22±1,0	64,5±6,5	0,5±0,5	0,2±0,2	0,2±0,2
Y3	9,5±1,5	25±1,0	63±3,0	0,1±0,1	1,2±1,2	0,1±0,1
Y4	9,0±9,0	23±2,0	60,5±2,5	0,1±0,1	0,9±0,9	0,3±0,3

Y5	1,5±1,5	22±1,0	57±1,0	2,5±2,5	0,2±0,2	0,2±0,2
Y6	5,5±1,5	16±1,0	57±6,0	1,5±1,5	0,1±0,1	0,1±0,1
Y7	1,5±1,5	22±2,0	44,5±1,0	12,5±2,5	0,8±0,8	0,3±0,3
Y8	29±9,0	21,5±2,0	42±4,0	0,5±0,5	0,1±0,1	0,6±0,6
Y9	1,0±1,0	28±1,0	40,1±4,9	29±1,0	0,2±0,2	0,3±0,3
Y10	39,2±2,8	25±1,0	35±1,0	0,1±0,1	0,1±0,1	0,1±0,1
Y11	48±4,0	16±1,0	35±2,0	0,1±0,1	0,1±0,1	0,1±0,1
Y12	47±4,0	20,5±1,5	31,5±1,5	0,1±0,1	0,3±0,3	0,3±0,3
Y13	45,2±2,8	23±1,0	31±1,0	0,1±0,1	0,2±0,2	0,5±0,5
Y14	52,5±2,5	25±1,0	20,5±1,5	0,1±0,1	0,1±0,1	0,1±0,1
Y15	51,7±2,3	25±1,0	20,5±1,5	0,1±0,1	0,1±0,1	0,1±0,1
Y16	70,7±2,3	16±1,0	13±1,0	0,1±0,1	0,1±0,1	0,1±0,1
Y17	66,7±3,3	21±1,0	11±1,0	0,1±0,1	0,1±0,1	0,1±0,1

[0218] Bevorzugt ist die erfindungsgemäße Metalllegierung ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Werkstoffen gemäß DIN/EN X9CrNiSiNCe21-11-2, X8CrNiNb16-13, X12CrNi25-21, X10NiCrAlTi32-20, X5NiCrAlTi31-20, X12NiCrSi35-16, 35Ni25Cr1.5SiCeN, NiFe30Cr21Mo3, NiCr23Co12Mo, NiMo16Cr15Fe6W4, NiCr22W14Mo, NiCr23Fe15Al, NiCr25FeAlY, NiCr22Mo9Nb, und NiCr15Fe.

[0219] Bevorzugt ist die erfindungsgemäße Metalllegierung ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Werkstoffen gemäß Werkstoffklasse DIN-Nr. 1.4820, 1.4821, 1.4822, 1.4823, 1.4824, 1.4825, 1.4826, 1.4827, 1.4828, 1.4829, 1.4830, 1.4831, 1.4832, 1.4833, 1.4834, 1.4835, 1.4836, 1.4837, 1.4838, 1.4839, 1.4840, 1.4841, 1.4842, 1.4843, 1.4844, 1.4845, 1.4846, 1.4847, 1.4848, 1.4849, 1.4850, 1.4851, 1.4852, 1.4853, 1.4854, 1.4855, 1.4856, 1.4857, 1.4858, 1.4859, 1.4860, 1.4861, 1.4862, 1.4863, 1.4864, 1.4865, 1.4866, 1.4867, 1.4868, 1.4869, 1.4870, 1.4871, 1.4872, 1.4873, 1.4874, 1.4875, 1.4876, 1.4877, 1.4878, 1.4879, 1.4880, 1.4881, 1.4882, 1.4883, 1.4884, 1.4885, und 1.4886.

[0220] Bevorzugt ist die erfindungsgemäße Metalllegierung ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Werkstoffen gemäß Werkstoffklasse DIN-Nr. 1.4948, 1.4949, 1.4950, 1.4951, 1.4952, 1.4953, 1.4954, 1.4955, 1.4956, 1.4957, 1.4958, 1.4959, 1.4960, 1.4961, 1.4962, 1.4963, 1.4964, 1.4965, 1.4966, 1.4967, 1.4968, 1.4969, 1.4970, und 1.4971.

[0221] Bevorzugt ist die erfindungsgemäße Metalllegierung ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Werkstoffen gemäß Werkstoffklasse DIN-Nr. 2.4630, 2.4633, 2.4650, 2.4653, 2.4654, 2.4655, 2.4656, 2.4657, 2.4658, 2.4659, 2.4660, 2.4661, 2.4662, 2.4663, 2.4664, 2.4665, 2.4666, 2.4667, 2.4668, 2.4669, 2.4670, 2.4671, 2.4672, und 2.4673.

[0222] Bevorzugt ist die erfindungsgemäße Metalllegierung ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Werkstoffen gemäß Werkstoffklasse DIN-Nr. 2.4723, 2.4724, 2.4725, 2.4726, 2.4727, 2.4728, 2.4729, 2.4730, 2.4731, 2.4732, 2.4733, 2.4734, 2.4735, 2.4736, 2.4737, 2.4738, 2.4739, 2.4740, 2.4741, 2.4742, und 2.4743.

[0223] Bevorzugt ist die erfindungsgemäße Metalllegierung ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Werkstoffen gemäß Werkstoffklasse DIN-Nr. 2.4806, 2.4807, 2.4808, 2.4809, 2.4810, 2.4811, 2.4812,

230086P00LU

2.4813, 2.4814, 2.4815, 2.4816, 2.4817, 2.4818, 2.4819, 2.4820, 2.4821, 2.4822, 2.4823, 2.4824, LU103141
 2.4825, 2.4826, 2.4827, 2.4828, 2.4829, 2.4830, 2.4831, 2.4832, 2.4833, 2.4834, 2.4835, 2.4836,
 2.4837, 2.4838, 2.4839, 2.4840, 2.4841, 2.4842, 2.4843, 2.4844, 2.4845, 2.4846, 2.4847, 2.4848,
 2.4849, 2.4850, 2.4851, 2.4852, 2.4853, 2.4854, 2.4855, 2.4856, 2.4857, 2.4858, 2.4859, 2.4860,
 2.4861, 2.4862, 2.4863, 2.4864, 2.4865, 2.4866, 2.4867, 2.4868, und 2.4879.

[0224] Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft ein Verfahren zur katalytischen Zersetzung von NH_3 zu N_2 und H_2 in einer vorstehend beschriebenen, erfindungsgemäßen Anlage, wobei das NH_3 in den Reaktor mit einer Temperatur von mindestens 500°C , bevorzugter mindestens 530°C , noch bevorzugter mindestens 560°C , am bevorzugtesten mindestens 590°C , und insbesondere mindestens 620°C einge-
 leitet wird.

[0225] Bevorzugt wird das Bauteil einer Temperatur von mindestens 500°C , bevorzugter mindestens 530°C , noch bevorzugter mindestens 560°C , am bevorzugtesten mindestens 590°C , und insbesondere mindestens 620°C ausgesetzt. Bevorzugt wird das Bauteil einer Temperatur von mindestens 650°C , bevorzugter mindestens 680°C , noch bevorzugter mindestens 710°C , am bevorzugtesten mindestens 740°C , und insbesondere mindestens 770°C ausgesetzt. Bevorzugt wird das Bauteil einer Temperatur von mindestens 800°C , bevorzugter mindestens 830°C , noch bevorzugter mindestens 860°C , am bevorzugtesten mindestens 890°C , und insbesondere mindestens 920°C ausgesetzt.

[0226] Abbildung 1 illustriert schematisch eine bevorzugte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Reaktors 1, der beispielhaft vier röhrenförmige Reaktionskammern 2 umfasst, welche jeweils NH_3 -Zersetzungskatalysator enthalten. Der Reaktor 1 bildet in seinem Innern eine Brennkammer 3, in der die vier röhrenförmigen Reaktionskammern 2 parallel als Bündel angeordnet sind. Über ein Zuleitungssystem 4 wird NH_3 (Eduktgas) in den Reaktor 1 und in jede der Reaktionskammern 2 geleitet, um dort an dem NH_3 -Zersetzungskatalysator zu Produktgas zu reagieren. Das Produktgas, welches N_2 und H_2 umfasst, wird über Ableitungssystem 5 aus den Reaktionskammern 2 und dem Reaktor 1 abgeleitet. In paralleler Strömungsrichtung zum NH_3 wird Verbrennungsgas über Zuleitung 6 in die Brennkammer 3 geleitet, wo es unter Bildung von Flamme 7 verbrannt wird. Bei der Verbrennung gebildete Verbrennungswärme strömt vom Innern der Brennkammer 3 in durch die Wandung der Reaktionskammern 2 hindurch zum NH_3 -Zersetzungskatalysator. Das bei der Verbrennung gebildete Rauchgas wird über Ableitung 8 aus der Brennkammer 3 und dem Reaktor 1 abgeleitet.

Bezugszeichenliste:

- 1 - Reaktor
- 2 - Reaktionskammer
- 3 - Brennkammer
- 4 - Zuleitungssystem für NH_3
- 5 - Ableitungssystem für Produktgas
- 6 - Zuleitung für Verbrennungsgas

230086P00LU

7 - Flamme

LU103141

8 - Ableitung für Rauchgas

Patentansprüche:

1. Eine Anlage zur Herstellung von H_2 durch katalytische Zersetzung von NH_3 zu N_2 und H_2 ;
wobei die Anlage einen Reaktor umfasst, welcher einen NH_3 -Zersetzungskatalysator enthält;
wobei der Reaktor mindestens ein Bauteil umfasst, welches wenigstens teilweise aus einer Metalllegierung aufgebaut ist;
wobei die Metalllegierung bei Betrieb des Reaktors zumindest in einem Bereich ihrer Oberfläche mit dem NH_3 und/oder N_2 in direkten Kontakt kommt; und
wobei die Metalllegierung Nickel und Chrom mit einem Gesamtgehalt an Nickel und Chrom von mindestens 15 Gew.-% enthält, bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.
2. Die Anlage nach Anspruch 1, wobei die Metalllegierung optional zusätzlich Kobalt enthält, wobei der Gesamtgehalt an Nickel und ggf. Kobalt mindestens 20 Gew.-%, bevorzugt mindestens 25 Gew.-%, bevorzugter mindestens 30 Gew.-%, noch bevorzugter mindestens 35 Gew.-%, am bevorzugtesten mindestens 40 Gew.-%, und insbesondere mindestens 45 Gew.-% beträgt, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.
3. Die Anlage nach Anspruch 2, wobei der Gesamtgehalt an Nickel und ggf. Kobalt mindestens 50 Gew.-% beträgt, bevorzugt mindestens 54 Gew.-%, bevorzugter mindestens 58 Gew.-%, noch bevorzugter mindestens 62 Gew.-%, am bevorzugtesten mindestens 66 Gew.-%, und insbesondere mindestens 70 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.
4. Die Anlage nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Gehalt an Nickel mindestens 5,0 Gew.-% beträgt, bevorzugt mindestens 10 Gew.-%, bevorzugter mindestens 15 Gew.-%, noch bevorzugter mindestens 20 Gew.-%, am bevorzugtesten mindestens 30 Gew.-%, und insbesondere mindestens 35 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.
5. Die Anlage nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Metalllegierung Kobalt enthält und wobei der Gehalt an Kobalt mindestens 4,0 Gew.-% beträgt, bevorzugt mindestens 8,0 Gew.-%, bevorzugter mindestens 12 Gew.-%, noch bevorzugter mindestens 16 Gew.-%, am bevorzugtesten mindestens 20 Gew.-%, und insbesondere mindestens 24 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.
6. Die Anlage nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Gehalt an Chrom mindestens 12 Gew.-% beträgt, bevorzugt mindestens 15 Gew.-%, bevorzugter mindestens 18 Gew.-%, noch

bevorzugter mindestens 21 Gew.-%, am bevorzugtesten mindestens 24 Gew.-%, und insbesondere mindestens 27 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.

7. Die Anlage nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Gehalt an Chrom höchstens 30 Gew.-% beträgt, bevorzugt höchstens 28 Gew.-%, bevorzugter höchstens 26 Gew.-%, noch bevorzugter höchstens 24 Gew.-%, am bevorzugtesten höchstens 22 Gew.-%, und insbesondere höchstens 20 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.
8. Die Anlage nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei
 - die Metalllegierung optional zusätzlich Kobalt enthält, wobei der Gesamtgehalt an Nickel und ggf. Kobalt mindestens 40 Gew.-% beträgt, und
 - der Gehalt an Chrom mindestens 20 Gew.-% beträgt, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.
9. Die Anlage nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Metalllegierung Aluminium und/oder Titan enthält und wobei der Gesamtgehalt an Aluminium und/oder Titan höchstens 4,5 Gew.-% beträgt, bevorzugt höchstens 4,0 Gew.-%, bevorzugter höchstens 3,5 Gew.-%, noch bevorzugter höchstens 3,0 Gew.-%, am bevorzugtesten höchstens 2,5 Gew.-%, und insbesondere höchstens 2,0 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.
10. Die Anlage nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei
 - der Gesamtgehalt an Nickel und ggf. Kobalt mindestens 54 Gew.-% beträgt,
 - der Gehalt an Chrom höchstens 24 Gew.-% beträgt, und
 - der Gesamtgehalt an Aluminium und/oder Titan höchstens 2,1 Gew.-% beträgt,jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.
11. Die Anlage nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei
 - der Gesamtgehalt an Nickel und ggf. Kobalt mindestens 57 Gew.-% beträgt, und
 - der Gehalt an Chrom mindestens 26 Gew.-% beträgt,jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Metalllegierung.
12. Die Anlage nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der NH_3 -Zersetzungskatalysator Nickel-basiert ist.

13. Die Anlage nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der NH_3 -Zersetzungskatalysator im Hinblick auf die Zersetzung von NH_3 eine scheinbare Aktivierungsenergie E_{app} von mindestens $50 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ aufweist.
14. Die Anlage nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Anlage eine oder mehrere der folgende Vorrichtungen umfasst, welche miteinander in Fluidverbindung stehen:
- (i) eine Vorrichtung zur Lagerung von flüssigem NH_3 ;
 - (ii) eine Vorrichtung zur Erwärmung und Verdampfung des flüssigen NH_3 ;
 - (iii) den Reaktor;
 - (iv) eine Vorrichtung zur Aufreinigung von H_2 aus dem Produktgas; und
 - (v) eine Vorrichtung zur Rückgewinnung von Prozesswärme.
15. Ein Verfahren zur katalytischen Zersetzung von NH_3 zu N_2 und H_2 in einer Anlage nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das NH_3 in den Reaktor mit einer Temperatur von mindestens 500°C , bevorzugter mindestens 530°C , noch bevorzugter mindestens 560°C , am bevorzugtesten mindestens 590°C , und insbesondere mindestens 620°C eingeleitet wird.

Abbildung 1

LU103141

