

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
26. Oktober 2017 (26.10.2017)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2017/182145 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

B23K 20/04 (2006.01) **C22F 1/043** (2006.01)
C22C 21/00 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2017/050145

(22) Internationales Anmeldedatum:
04. Januar 2017 (04.01.2017)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
16166064.2 19. April 2016 (19.04.2016) EP

(71) Anmelder: **HYDRO ALUMINIUM ROLLED PRODUCTS GMBH** [DE/DE]; Aluminiumstraße 1, 41515 Grevenbroich (DE).

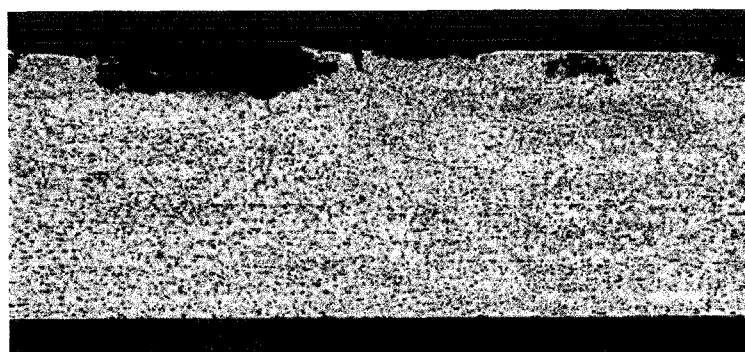
(72) Erfinder: **BERMIG, Gerhard**; Haferkamp 11, 21640 Horneburg (DE). **EIGEN, Nico**; Jüthornstraße 31, 22043 Hamburg (DE). **JANSSEN, Hartmut**; Verdistrasse 16, 40724 Hilden (DE). **MROTZEK, Manfred**; Lupinenkamp 4, 21614 Buxtehude (DE). **SASS, Volker**; Oberste Gasse 12, 53859 Niederkassel-Mondorf (DE). **SCHLÜTER, Stefan**; Oberkasseler Straße 23, 40545 Düsseldorf (DE).

(74) Anwalt: **ZIEBELL, Arnd**; Cohausz & Florack Partnerschaftsgesellschaft mbB, Bleichstraße 14, 40211 Düsseldorf (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME,

(54) Title: ALUMINUM COMPOSITE MATERIAL HAVING A CORROSION PROTECTION LAYER

(54) Bezeichnung: ALUMINIUMVERBUNDWERKSTOFF MIT KORROSIONSSCHUTZSCHICHT



200µm

Fig.2a

(57) **Abstract:** The invention relates to an aluminum composite material, comprising at least one core layer (4) having an aluminum core alloy and at least one corrosion protection layer (6) provided on the core layer (4). The aim of specifying an aluminum composite material having further improved corrosion resistance, in particular to avoid coarse separations under corrosive conditions, is achieved in that the corrosion protection layer (6) has an aluminum alloy having the following composition in % by weight: Si $\leq$ 0.10 %, Fe $\leq$ 0.6 %, Cu $\leq$ 0.2 %, 0.9 % $\leq$ Mn $\leq$ 1.2 %, Mg $\leq$ 0.10 %, Cr $\leq$ 0.3 %, Zn $\leq$ 0.1 %, Ti $\leq$ 0.1 %, remainder Al and unavoidable contaminants, individually at most 0.05 %, in total at most 0.15 %. The invention further relates to a method for producing an aluminum composite material (2), to a use, and to a heat exchanger, or to a component of a heat exchanger.

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft einen Aluminiumverbundwerkstoff, umfassend mindestens eine Kernschicht (4) aufweisend eine Aluminiumkernlegierung und mindestens eine auf der Kernschicht (4) vorgesehene Korrosionsschutzschicht (6). Die Aufgabe, einen Aluminiumverbundwerkstoff mit weiter verbesserter Korrosionsbeständigkeit anzugeben, insbesondere zur Vermeidung von groben Ablösungen unter korrosiven Bedingungen, wird dadurch gelöst, dass die Korrosionsschutzschicht (6) eine Aluminiumlegierung mit folgender Zusammensetzung in Gew.-% aufweist: Si $\leq$ 0,10 %, Fe $\leq$ 0,6 %, Cu $\leq$ 0,2 %, 0,9 % $\leq$ Mn $\leq$ 1,2 %, Mg $\leq$ 0,10 %, Cr $\leq$ 0,3 %, Zn $\leq$ 0,1 % Ti $\leq$ 0,1 %, Rest Al und unvermeidbare Verunreinigungen einzeln maximal 0,05 %, in Summe maximal 0,15 %. Die Erfindung betrifft weiter ein Verfahren zur Herstellung eines Aluminiumverbundwerkstoffs (2), eine Verwendung sowie

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2017/182145 A1

MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,
OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA,
SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN,
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) Bestimmungsstaaten** (*soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart*): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

Aluminiumverbundwerkstoff mit Korrosionsschutzschicht

Die Erfindung betrifft einen Aluminiumverbundwerkstoff, umfassend mindestens eine Kernschicht aufweisend eine Aluminiumkernlegierung und mindestens eine auf der Kernschicht vorgesehene Korrosionsschutzschicht. Die Erfindung betrifft weiter ein
5 Verfahren zur Herstellung eines Aluminiumverbundwerkstoffs, insbesondere eines erfindungsgemäßen Aluminiumverbundwerkstoffs, bei dem mindestens eine Kernschicht aufweisend eine Aluminiumkernlegierung bereitgestellt wird und mindestens eine Korrosionsschutzschicht einseitig oder beidseitig auf die Kernschicht aufgebracht wird. Weiter betrifft die Erfindung eine Verwendung eines
10 Aluminiumverbundwerkstoffs zur Herstellung eines Wärmetauschers sowie ein Bauteil.

Im Automobilbereich werden Wärmetauscher aus Aluminium bzw. Aluminiumlegierungen eingesetzt. Entsprechende Wärmetauscher sind zumeist
15 Bestandteile der Heiz- und Kühlsysteme in Kraftfahrzeugen. Wärmetauscher für Kraftfahrzeuge werden üblicherweise aus Bändern oder Blechen hergestellt, indem die einzelnen vorgefertigten Komponenten des Wärmetauschers, wie beispielsweise Lamellen, Rohre und Verteiler, durch thermisches Fügen miteinander verbunden werden. Das thermische Fügen wird in den meisten Fällen als Hartlöten unter
20 Schutzgasatmosphäre unter Verwendung von nichtkorrosivem Flussmittel ausgeführt, was als „Controlled Atmosphere Brazing“ (CAB) - Prozess bekannt ist.

Zu den verschiedenen Aufgaben solcher thermisch gefügter Wärmetauscher aus Aluminiumwerkstoffen, insbesondere bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren,
25 gehören die Kühlung von Kühlwasser oder von Öl, der Einsatz als Ladeluftkühler und die Verwendung in Klimaanlage. Eine Anforderung beim Betrieb der Wärmetauscher

ist ein ausreichender Schutz gegen Korrosion, um eine lange Lebensdauer der Systeme zu gewährleisten.

Ein umfassender Korrosionsschutz ist insbesondere bei Ladeluftkühlern von hoher Bedeutung. Ladeluftkühler kühlen die von einem Turbolader verdichtete Ansaugluft und erhöhen somit den Sauerstoffgehalt der Ladeluft, was zu einer beträchtlichen Leistungssteigerung der Verbrennungsmotoren führt. In modernen Dieselmotoren ist es mittlerweile gängig, der Ansaugluft über eine sogenannte Abgasrückführung in gewissen Lastbereichen definierte Mengen von Verbrennungsgasen beizumischen.

Dies senkt die Verbrennungstemperatur und verringert so die unerwünschte Bildung von Stickoxiden im Verbrennungsprozess. Bei der Abgasrückführung wird insbesondere zwischen der Hochdruckabgasrückführung und der Niederdruckabgasrückführung unterschieden. Bei der Niederdruckabgasrückführung werden die Abgase mit relativ niedriger Temperatur hinter einem Dieselpartikelfilter abgezweigt und der angesaugten Frischluft vor dem Turbolader beigemischt. Damit durchläuft das Frischluft-Abgasgemisch auch den Ladeluftkühler und steht in Kontakt zu dessen innerer Oberfläche.

Im Ladeluftkühler kann es damit zur Kondensation von Dampf aus den Abgasen kommen, wobei sich das Kondensat innerhalb des Wärmetauschers sammelt. Das Kondensat kann neben Wasser unterschiedliche Anteile von organischen und/oder anorganischen Säuren enthalten, welche stark korrosiv auf den Aluminiumwerkstoff des Ladeluftkühlers wirken. Dieser Effekt tritt verstärkt bei modernen Ladeluftkühlern mit sogenannter indirekter Kühlung auf, bei denen die Ladeluft über ein flüssiges Kühlmedium gekühlt wird, da hier besonders niedrige Oberflächentemperaturen erreicht werden und somit die Bildung des Kondensats gefördert wird.

Weiter ist ein umfassender Korrosionsschutz insbesondere an Wasserkühlern und luftgeköhlten Kondensatoren von großer Bedeutung. Wasserkühler kühlen das Kühlwasser für den Motor und für wassergekühlte Wärmetauscher im Kraftfahrzeug,

beispielsweise in Form von Ladeluftkühlern oder Kondensatoren. Luftgekühlte Kondensatoren kühlen und kondensieren ein Kältemittel in einem Kältekreislauf, der in der Regel im Kraftfahrzeug der Klimatisierung der Fahrgastzelle dient.

Wasserkühler und luftgekühlte Kondensatoren nutzen während der Fahrt den

- 5 Fahrtwind und sind deshalb im Kraftfahrzeug so angeordnet, dass sie mit der Umgebungsluft ständig in Berührung kommen können. Daher sind Wasserkühler und luftgekühlte Kondensatoren im Wechsel sowohl trockener als auch feuchter Luft, Regen, salzhaltigen Medien, etc. ausgesetzt. Dies stellt hohe Anforderungen an den Korrosionsschutz und damit an die Korrosionsbeständigkeit des Rohrmaterials der
- 10 Wasserkühler und luftgekühlten Kondensatoren. Diese Anforderungen werden insbesondere aufgrund des Trends zu geringeren Wandstärken des Rohrmaterials, mit welcher die absolut zulässige Korrosionstiefe im Material immer geringer wird, weiter verschärft.

- 15 Aus der oben geschilderten Problematik ergibt sich die Notwendigkeit für besonders korrosionsbeständige Aluminiumwerkstoffe zur Verwendung in Wärmetauschern. Aluminiumverbundwerkstoffe mit einer Kernschicht und optional einer darauf vorgesehenen, äußeren Lotschicht können hinsichtlich der Korrosionsbeständigkeit dadurch verbessert werden, dass auf der Kernschicht bzw. zwischen Kernschicht und
- 20 der Lotschicht eine Korrosionsschutzschicht bzw. eine Zwischenschicht vorgesehen ist, welche sich durch eine besonders hohe Korrosionsbeständigkeit auszeichnet und gegenüber dem Material der Kernschicht als Opferanode wirkt.

- Die EP 0 823 305 A2 beschreibt einen vierschichtigen Aluminiumverbundwerkstoff
- 25 mit einer zwischen einer äußeren Lotschicht und einer Kernschicht angeordneten Zwischenschicht. Die Zwischenschicht soll hierbei dem Korrosionsschutz dienen und besteht aus einer im Vergleich zum Material der Kernschicht unedleren Legierung. Insbesondere weist die Aluminiumlegierung der Zwischenschicht einen Mn-Gehalt von 0,3 bis 1,5 Gew.-%, einen Mg-Gehalt von 0,05 bis 1,2 Gew.-% sowie einen Zn-
- 30 Gehalt von 1 bis 5 Gew.-% auf.

Es hat sich herausgestellt, dass bei herkömmlichen Aluminiumverbundwerkstoffen zwar unter korrosiven Bedingungen die Vorgaben hinsichtlich eines maximalen Masseverlusts eingehalten werden können. Bei dem unter Korrosion unvermeidlich stattfindenden Masseverlust können bei den herkömmlichen

5 Aluminiumverbundwerkstoffen jedoch Ablösungen auftreten, deren Größe die maximalen Vorgaben überschreitet. Die Größe der entstehenden Ablösungen kann sich im Betrieb als problematisch für die Lebensdauer und Zuverlässigkeit der Motoren herausstellen.

10 Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, einen Aluminiumverbundwerkstoff mit weiter verbesserter Korrosionsbeständigkeit anzugeben, insbesondere zur Vermeidung von groben Ablösungen unter korrosiven Bedingungen. Zudem soll ein Verfahren zur Herstellung eines Aluminiumverbundwerkstoffs, eine Verwendung des Aluminiumverbundwerkstoffs
15 sowie ein Bauteil angegeben werden.

Gemäß einer ersten Lehre wird die oben genannte Erfindung betreffend einen Aluminiumverbundwerkstoff dadurch gelöst, dass die mindestens eine Korrosionsschutzschicht eine Aluminiumlegierung mit folgender Zusammensetzung
20 in Gew.-% aufweist:

			Si	≤	0,10 %,
			Fe	≤	0,6 %,
			Cu	≤	0,2 %,
25	0,9 %	≤	Mn	≤	1,2 %,
			Mg	≤	0,10 %,
			Cr	≤	0,3 %,
			Zn	≤	0,1 %,
			Ti	≤	0,1 %,

Rest Al und unvermeidbare Verunreinigungen einzeln maximal 0,05 %, in Summe maximal 0,15 %.

Der Aluminiumverbundwerkstoff mit der spezifisch ausgewählten Zusammensetzung
5 der Aluminiumlegierung der Korrosionsschutzschicht zeigt neben einem äußerst geringen Materialverlust unter korrosiven Bedingungen eine deutlich verbesserte Bindungseigenschaft mit der Kernschicht. Dadurch treten auch unter extremen korrosiven Bedingungen bei Einwirkung von sauren oder alkalischen Medien, so wie diese insbesondere bei Ladeluftkühlern, Wasserkühlern oder Kondensatoren
10 auftreten, keine groben Ablösungen des Aluminiumverbundwerkstoffs auf.

Die verbesserten Korrosionsschutzeigenschaften der mindestens einen Korrosionsschutzschicht lassen sich insbesondere auf eine optimierte Gefügestruktur der Korrosionsschutzschicht zurückführen. Relevant ist hierbei insbesondere die
15 Ausbildung der rekristallisierten Kornstruktur im Bauteil nach dem thermischen Fügen, etwa durch einen Hartlötprozess bei typischen Löttemperaturen im Bereich von 590 °C bis 610 °C. Vorteilhaft sind eine möglichst geringe Größe und eine möglichst gleichachsig Kornform. Eigene Untersuchungen haben gezeigt, dass eine stark gestreckte Kornform, wie sie für sogenannte „Longlife“-
20 Wärmetauscherwerkstoffe typisch ist, unter den speziellen korrosiven Bedingungen, wie sie durch Einwirkung korrosiver Kondensate im Inneren von Ladeluftkühlern herrschen, eine ausgeprägte seitliche Ausbreitung des Korrosionsangriffes fördert. Hierdurch besteht die Gefahr, dass sich im Einsatz größere Ablösungen der Korrosionsschutzschicht, einer optional vorgesehenen Lotschicht oder ihrer
25 Korrosionsprodukte bilden. Durch die erfindungsgemäße Ausführung der Korrosionsschutzschicht hinsichtlich Zusammensetzung kann eine günstige feinkörnige Kornstruktur erreicht werden, welche die seitliche Ausbreitung der Korrosion limitiert und so die Bildung größerer Ablösungen im Betrieb vermeidet.

30 Der Aluminiumverbundwerkstoff kann als Band vorliegen. Verbundwerkstoffe in Form von Bändern werden durch Plattieren hergestellt, insbesondere durch ein

Walzplattieren. Mit der Zusammensetzung der Aluminiumlegierung der Korrosionsschutzschicht lassen sich beim Walzplattieren bereits mit geringen Walzkräften hohe Bandqualitäten mit guten Bindungseigenschaften zwischen den Schichten erreichen. Von großer Bedeutung beim Walzplattieren ist die Einstellung
5 des Umformwiderstandes der Korrosionsschutzschicht unter den Walzbedingungen, insbesondere beim Warmwalzen. Als günstig hat sich dabei herausgestellt, wenn der Umformwiderstand der Korrosionsschutzschicht zwischen den Werten des Kernmaterials mit höherer Festigkeit und den Werten einer äußeren Lotschicht mit zusammensetzungsbedingt geringer Warmfestigkeit liegt. Dies gilt besonders für den
10 Fall einer einseitigen Verwendung der Korrosionsschutzschicht. Ist die Festigkeit der Zwischenschicht zu gering, besteht die Gefahr, dass sich die Zwischenschicht beim Beginn des Walzens zu stark längt, was zu Problemen durch eine Biegung des Plattierpaketes sowie zu Prozessunsicherheit durch starke Schwankungen der Plattierschichtdicken führt. Im umgekehrten Fall einer zu hohen Festigkeit der
15 Korrosionsschutzschicht steigen die zum Einbringen einer Verformung in die Korrosionsschutzschicht erforderlichen Walzkräfte stark an und die Entstehung einer festen Bindung zwischen den Schichten des Verbundwerkstoffes wird gehemmt.

Denkbar ist weiter, dass der Aluminiumverbundwerkstoff in Form von Blechen
20 vorliegt, welche beispielsweise aus einem Band abgetrennt werden.

Insbesondere ist die mindestens eine Korrosionsschutzschicht einseitig oder beidseitig auf der Kernschicht aufgebracht.

25 Der Mangangehalt von 0,9 Gew.-% bis 1,2 Gew.-% der Korrosionsschutzschicht dient zur Einstellung der Festigkeit des Materials durch die verfestigende Wirkung des Mangans durch Mischkristallhärtung sowie des Korrosionspotentials (OCP).

Kupfer trägt ebenfalls zur Festigkeitssteigerung bei. Der Gehalt des
30 Legierungselementes Kupfer in der Legierung der mindestens einen

Korrosionsschutzschicht wird jedoch auf 0,2 Gew.-% begrenzt, um eine zu starke Verschiebung des Korrosionspotentials hin zu positiven Werten zu vermeiden.

Silizium neigt in Verbindung mit Mangan zur Bildung feindisperser

- 5 Ausscheidungsteilchen der sog. Alpha-Phase ($\text{Al}_{12}\text{Mn}_3\text{Si}$). Diese steigern einerseits die Warmfestigkeit des Werkstoffes und bewirken andererseits im Hartlötprozess die Ausbildung einer grobkörnigen und stark in Walzrichtung gestreckten rekristallisierten Kornstruktur. Beides ist wegen der Herstellbarkeit des Verbundwerkstoffes durch Warmwalzplattieren bzw. wegen der vorteilhaften
- 10 feinkörnigen Kornstruktur im Endprodukt unerwünscht, weshalb der Gehalt von Silizium in der Legierung der mindestens einen Korrosionsschutzschicht auf 0,1 Gew.-%, vorzugsweise auf 0,05 Gew.-% begrenzt wird.

Magnesium trägt als Legierungselement zur Festigkeitssteigerung bei. Bei einem

- 15 Lötprozess beeinträchtigt Magnesium jedoch die Lötbarkeit durch eine Reaktion mit dem Flussmittel unter Bildung hochschmelzender Phasen. Der Gehalt an Magnesium in der Legierung der mindestens einen Korrosionsschutzschicht wird deshalb auf 0,1 Gew.-% begrenzt.

- 20 Das Legierungselement Eisen ist in Primäraluminium sowie in Aluminiumschrotten enthalten. Ein zu niedriger Eisengehalt würde daher die Produktionskosten unnötig erhöhen. Positiv ist die Eigenschaft des Eisens, grobe intermetallische Ausscheidungsphasen zu bilden, welche bei Rekristallisationsvorgängen als Keimbildner wirken und somit zu einem erwünschten feinkörnigen Gefüge führen.

- 25 Nachteilig ist dagegen eine Beeinträchtigung des Korrosionsverhaltens bei höheren Gehalten. Der Eisengehalt wird daher in der Legierung der mindestens einen Korrosionsschutzschicht auf höchstens 0,6 Gew.-% beschränkt. Bevorzugt liegt der Eisengehalt bei mindestens 0,20 Gew.-% bis höchstens 0,6 Gew.-%.

Ferner wird die Recyclingfähigkeit des Aluminiumverbundwerkstoffs und der daraus hergestellten Erzeugnisse durch die niedrigen Kupfer-, Silizium- und Zinkanteile sowie durch die Begrenzung des Chrom-Gehalts an der Legierung positiv beeinflusst.

- 5 In einer Ausgestaltung des Aluminiumverbundwerkstoffs weist die Korrosionsschutzschicht eine Aluminiumlegierung mit einem Mg-Gehalt von maximal 0,05 Gew.-% auf. Mit einer weiteren Begrenzung des Mg-Gehalts kann die Lötbarkeit des Aluminiumverbundwerkstoffs weiter erhöht werden. Auch wird die Formbarkeit weiter verbessert, was die Bindung zum Kernwerkstoff fördert.

10

In einer Ausgestaltung des Aluminiumverbundwerkstoffs weist die Korrosionsschutzschicht eine Aluminiumlegierung mit einem Cu-Gehalt von maximal 0,10 Gew.-% auf. Dies kann ebenfalls zu einer verbesserten Formbarkeit des Aluminiumverbundwerkstoffs beitragen sowie die Bildung von Lokalelementen
15 weiter unterbinden.

In einer weiteren Ausgestaltung des Aluminiumverbundwerkstoffs weist die Korrosionsschutzschicht eine Aluminiumlegierung mit einem Cr-Gehalt von maximal 0,10 Gew.-% auf. Hierbei wird das Gefüge der Korrosionsschutzschicht positiv
20 beeinflusst sowie die Bildung von Lokalelementen weiter unterbunden.

In einer weiteren Ausgestaltung des Aluminiumverbundwerkstoffs besteht die Aluminiumkernlegierung aus einer Aluminiumlegierung des Typs AA 3xxx. Vorteilhafte Varianten der AA3xxx-Legierung sind die Typen AA3005, AA3003 oder
25 AA3017. Diese Legierungstypen und darauf basierende Varianten sind für den Einsatz in thermischen Fügeverfahren sowie zur Verwendung in Wärmetauschern besonders geeignet.

Zusätzlich kann der Cu-Gehalt von AA 3xxx-Legierungen, insbesondere der genannten
30 Legierungstypen, auf maximal 0,7 Gew.-% erhöht werden. Mögliche minimale Cu-

gehalte der Aluminiumkernlegierung liegen bei mindestens 0,3 Gew.-% oder mindestens 0,4 Gew.-%.

Die Aluminiumkernlegierung kann insbesondere aus einer Aluminiumlegierung mit
5 folgender Zusammensetzung in Gew.-% bestehen:

			Si	≤	0,5 %,
			Fe	≤	0,4 %,
			Cu	≤	0,7 %,
10	1,0 %	≤	Mn	≤	1,5 %,
			Mg	≤	0,3 %,
			Cr	≤	0,3 %,
			Zn	≤	0,1 %,
			Ti	≤	0,25 %,

15

Rest Al und unvermeidbare Verunreinigungen einzeln maximal 0,05 %, in Summe maximal 0,15 %.

Die genannten Aluminiumlegierungen weisen aufgrund erhöhter Cu-Gehalte im
20 Vergleich zu gewöhnlichen AA 3xxx-Legierungen verbesserte Festigkeiten bei
verbesserter Korrosionsbeständigkeit aufgrund eines erhöhten elektrochemischen
Potentials auf. Sie werden bevorzugt ebenfalls für die Herstellung von Teilen von
Wärmetauschern eingesetzt. Insbesondere hat sich die Kombination der genannten
Aluminiumlegierungen mit erhöhten Cu-Gehalten als vorteilhaft mit der spezifischen
25 Zusammensetzung der für die Korrosionsschutzschicht vorgesehenen
Aluminiumlegierung erwiesen, da das Korrosionspotential zwischen den Schichten
optimiert und die Bindung im Aluminiumverbundwerkstoff verbessert wird.

Vorzugsweise ist der Aluminiumverbundwerkstoff derart ausgestaltet, dass das
30 Korrosionspotential der Korrosionsschutzschicht mindestens 15 mV, insbesondere 20
mV niedriger als das Korrosionspotential der Kernschicht liegt. In einer

Ausführungsform liegt das Korrosionspotential der Korrosionsschutzschicht von 20 mV bis 30 mV oder 20 mV bis 40mV niedriger, besonders bevorzugt 25 mV bis 35 mV niedriger als das Korrosionspotential der Kernschicht. Bei einer Korrosionspotentialdifferenz von weniger als 15 mV besteht das Problem, dass die Wirkung der Korrosionsschutzschicht, einen Korrosionsangriff in Richtung der Ebene der Korrosionsschutzschicht abzulenken und damit die Ausbreitung in der Kernschicht zu verringern, verschlechtert wird. Bei einer zu hohen Potentialdifferenz von mehr als 40 mV besteht das Problem, dass die Korrosionsschutzschicht selbst zu stark angegriffen wird. Zudem besteht die Gefahr, dass bei zu großer Korrosionspotentialdifferenz die Lotschicht edler als die Korrosionsschutzschicht wird und damit das Korrosionsverhalten des Verbundmaterials deutlich verschlechtert wird. Die genannten Korrosionspotential werden in der Regel, wie in den Ausführungsbeispielen gezeigt, gemäß ASTM G69 gegen eine gesättigte Kalomelelektrode (*Saturated Calomel Electrode*, SCE) gemessen.

15

In einer weiteren Ausgestaltung des Aluminiumverbundwerkstoffs weist die Aluminiumkernlegierung einen Si-Gehalt von maximal 0,20 Gew.-% auf. Damit wird das Gefüge der Kernschicht positiv beeinflusst.

20 In einer weiteren Ausgestaltung des Aluminiumverbundwerkstoffs weist die Aluminiumkernlegierung einen Cr-Gehalt von maximal 0,15 Gew.-% auf. Dadurch wird insbesondere die Recyclingfähigkeit des Aluminiumverbundwerkstoffs erhöht.

In einer weiteren Ausgestaltung des Aluminiumverbundwerkstoffs weist die Korrosionsschutzschicht eine Dicke von mindestens 20 μm auf. Dadurch wird ein hinreichender Korrosionsschutz gewährleistet. Beträgt die Dicke der Korrosionsschutzschicht von 30 μm bis 80 μm , wird ein verbesserter Korrosionsschutz bei gleichzeitiger Materialeinsparung erreicht.

30 Als relative Dicke kommt insbesondere für die Korrosionsschutzschicht eine Dicke von 10 % bis 20 % der gesamten Dicke des Aluminiumverbundwerkstoffs in Frage.

Bei mehreren Korrosionsschutzschichten, etwa einer beidseitigen Ausführung, kann jeweils eine Dicke von 10 % bis 20 % der gesamten Dicke des Aluminiumverbundwerkstoffs verwendet werden.

- 5 Der Aluminiumverbundwerkstoff weist vorzugsweise gemäß einer weiteren Ausgestaltung eine mittlere Dicke von 0,1 bis 5 mm und weiter bevorzugt von 0,2 bis 3 mm oder 0,5 mm bis 1,5 mm auf. Mit diesen Dickenbereichen kann ein weites Spektrum an Anwendungen, insbesondere auch im Bereich von Wärmetauschern, abgedeckt werden.

10

In einer weiteren Ausgestaltung des Aluminiumverbundwerkstoffs ist mindestens eine weitere äußere Schicht vorgesehen. Die mindestens eine weitere äußere Schicht kann dabei eine Lotschicht aus einer Aluminiumlotlegierung umfassen. Die Aluminiumlotlegierung kann den Spezifikationen des Typs AA 4xxx, insbesondere
15 AA 4004, AA 4343 und AA 4045 entsprechen, welche hervorragende Löteigenschaften bei der Verwendung in Wärmetauschern zeigen.

20

Mit einer Lotschicht kann auf einfache Weise die Bereitstellung des Lots für ein thermisches Fügen mit dem oben beschriebenen Korrosionsschutz verbunden werden. Vorteilhaft für den Korrosionsschutz ist eine Anordnung der

Korrosionsschutzschicht zwischen der Kernschicht und der Lotschicht, wobei die Korrosionsschutzschicht insbesondere direkt an der Kernschicht und/oder der Lotschicht anliegt. In einer besonders einfachen Ausgestaltung des

25

Aluminiumverbundwerkstoffs sind drei Schichten vorgesehen, wobei die Korrosionsschutzschicht zwischen der Kernschicht und der Lotschicht angeordnet ist.

In einer vierschichtigen Variante ist zusätzlich auf der Seite der Kernschicht, welche von der Korrosionsschutzschicht und der Lotschicht abgewandt ist, eine weitere Korrosionsschutzschicht oder eine weitere Lotschicht vorgesehen. Weiter kann eine fünfschichtige Variante vorgesehen sein, wobei jeweils eine Korrosionsschutzschicht
30 beidseitig auf der Kernschicht und zwischen Kernschicht und jeweils einer äußeren Lotschicht liegt.

Zusätzlich oder alternativ kann mindestens eine weitere Schutzschicht vorgesehen sein. Diese kann aus neben der in Anspruch 1 angegebenen Legierung auch die Legierungen des Typs AA 7xxx, insbesondere AA 7072 und des Typs AA 1xxx, insbesondere AA 1050 aufweisen. Mit einer weiteren Schutzschicht kann die Korrosionsbeständigkeit weiter erhöht werden. Die weitere Schutzschicht ist insbesondere auf der Seite der Kernschicht angeordnet, welche von der Seite, auf welcher die Korrosionsschutzschicht angeordnet ist, abgewandt ist.

- 10 Als relative Dicke für die weitere äußere Schicht, insbesondere einer Lotschicht, kann eine Dicke von 5 % bis 10 % der gesamten Dicke des Aluminiumverbundwerkstoffs gegeben sein.

- 15 Gemäß einer weiteren Lehre wird die oben genannte Aufgabe betreffend ein Verfahren zur Herstellung eines Aluminiumverbundwerkstoffs, insbesondere eines oben beschriebenen Aluminiumverbundwerkstoffs, bei dem mindestens eine Kernschicht aufweisend eine Aluminiumkernlegierung bereitgestellt wird und mindestens eine Korrosionsschutzschicht einseitig oder beidseitig auf die Kernschicht aufgebracht wird, dadurch gelöst, dass für die Korrosionsschutzschicht eine
- 20 Aluminiumlegierung mit folgender Zusammensetzung in Gew.-% verwendet wird:

			Si	≤	0,10 %,
			Fe	≤	0,6 %,
			Cu	≤	0,2 %,
25	0,9 %	≤	Mn	≤	1,2 %,
			Mg	≤	0,10 %,
			Cr	≤	0,3 %,
			Zn	≤	0,1 %,
			Ti	≤	0,1 %,

Rest Al und unvermeidbare Verunreinigungen einzeln maximal 0,05 %, in Summe maximal 0,15 %.

Wie bereits zum Aluminiumverbundwerkstoff ausgeführt, zeigt dieser mit der
5 spezifisch ausgewählten Zusammensetzung der Aluminiumlegierung der
Korrosionsschutzschicht neben einem äußerst geringen Materialverlust unter
korrosiven Bedingungen eine deutlich verbesserte Herstellbarkeit durch eine
optimierte Bindungseigenschaft mit der Kernschicht. Dies ist insbesondere auf die
mechanischen Eigenschaften der Legierung der Korrosionsschutzschicht
10 zurückführen, womit sich die Korrosionsschutzschicht besonders prozesssicher auf
der Kernschicht aufbringen lässt.

Wird der Aluminiumverbundwerkstoff durch Walzplattieren eines Plattierpakets
hergestellt, lassen sich mit der Zusammensetzung der Aluminiumlegierung der
15 Korrosionsschutzschicht hohe Bandqualitäten mit guten Bindungseigenschaften
bereits durch geringe Walzkräfte erreichen. Zudem wird dadurch ein in wirtschaftlich
großem Maßstab herstellbarer Verbundwerkstoff bereitgestellt. Mit einem
Plattierpaket werden mehrere Werkstoffe, hier ein Barren für die Kernschicht sowie
mindestens einem Plattierblech für die Korrosionsschutzschicht, aufeinander
20 gebracht. Anschließend werden die Materialien in einem Walzvorgang unter Druck
miteinander verbunden.

Weitere Möglichkeiten zur Herstellung des Aluminiumverbundwerkstoffs sind durch
ein simultanes Gießen oder die Aufbringung der Korrosionsschutzschicht und ggf.
25 weiterer Schichten durch thermisches Spritzen gegeben. Walzplattieren und
simultanes Gießen sind allerdings die derzeit in großem industriellem Umfang
genutzten Verfahren zur Herstellung eines Aluminiumverbundwerkstoffs, wobei sich
der gegossene Werkstoff durch seine deutlichen Konzentrationsgradienten zwischen
den verschiedenen Aluminiumlegierungsschichten von den diskreten
30 Schichtzusammensetzungen des walzplattierten Werkstoffs unterscheiden. Beim
Walzplattieren finden nur geringe Diffusionsprozesse zwischen den Schichten statt.

Das Verfahren kann, insbesondere bei einem Walzplattieren, weitere Walzstiche umfassen. In einer Ausgestaltung wird der Aluminiumverbundwerkstoff warmgewalzt und optional auf eine Enddicke kaltgewalzt. Hierbei kann optional eine

5 Zwischenglühung des Aluminiumverbundwerkstoffs erfolgen.

In einer Ausgestaltung des Verfahrens wird das Plattierpaket vor dem Walzplattieren auf eine Temperatur von mindestens 450 °C vorgewärmt. Das Plattierpaket wird mit einer entsprechenden Temperatur dem Walzplattiergerüst zugeführt. Damit wird ein

10 Warmwalzen zum Plattieren durchgeführt, womit eine besonders effektive Bindung zwischen den Schichten entsteht. Eine Vorwärmung auf eine Temperatur von 460 °C bis 500 °C optimiert hierbei die Prozesssicherheit des Walzplattierens.

Anschließend kann das warmgewalzte Verbundmaterial durch weiteres Kaltwalzen

15 auf die benötigte Enddicke gebracht werden. Dabei kann optional eine Zwischenglühung durchgeführt werden, um das Material zu entfestigen und die weitere Kaltumformung zu erleichtern.

Der Aluminiumverbundwerkstoff kann abschließend durch ein Glühen in einen

20 bestimmten Zustand gebracht werden, insbesondere um die mechanischen Eigenschaften des Aluminiumverbundwerkstoffs entsprechend der vorgesehenen Verwendung, beispielsweise in einem Wärmetauscher, einzustellen.

Wird bei dem Verfahren der Aluminiumverbundwerkstoff einer Schlussglühung bei

25 einer Materialtemperatur von maximal 350 °C bis 400 °C unterworfen, kann ein weichgeglühter Zustand des Aluminiumverbundwerkstoffs erreicht werden.

Insbesondere beträgt hierfür die maximale Haltezeit bei den genannten maximalen Temperaturen von 2 h bis 4 h. Der erreichte Zustand wird als Temper 0 bezeichnet.

30 Wird der Aluminiumverbundwerkstoff einer Schlussglühung bei einer Materialtemperatur von maximal 250 °C bis 320 °C unterworfen, wird ein

rückgeglühter Zustand des Aluminiumverbundwerkstoffs erreicht. Insbesondere beträgt hierfür die maximale Haltezeit bei den entsprechenden maximalen Temperaturen von 2 h bis 4 h. Der erreichte Zustand wird als Temper H24 bezeichnet.

- 5 Gemäß einer weiteren Lehre wird die oben genannte Aufgabe über eine Verwendung eines oben beschriebenen Aluminiumverbundwerkstoffs zur Herstellung eines Wärmetauschers oder Bauteilen eines Wärmetauschers gelöst.

- 10 Wie bereits einleitend beschrieben, ergeben sich bei Wärmetauschern und deren Bauteilen besondere Anforderungen hinsichtlich des Korrosionsschutzes. Mit dem beschriebenen Aluminiumverbundwerkstoff können diese Anforderungen besonders umfassend erfüllt werden.

- 15 In einer Ausgestaltung der Verwendung wird mit dem beschriebenen Aluminiumverbundwerkstoff ein Ladeluftkühler bzw. ein Bauteil eines Ladeluftkühlers, ein Wasserkühler oder luftgekühlter Kondensator hergestellt. Ladeluftkühler unterliegen aufgrund der möglichen Kondensatbildung von korrosionsfördernden Stoffen einem besonders aggressiven Korrosionsangriff, was mit den hervorragenden Eigenschaften des beschriebenen
- 20 Aluminiumverbundwerkstoffs begegnet werden kann. Besonders vorteilhaft ist die Verwendung zur Herstellung eines Ladeluftkühlers für eine Verwendung in Fahrzeugen mit Niederdruckabgasrückführung, bei denen der angesaugten Verbrennungsluft variable Mengen von Abgasen zugemischt werden. Insbesondere umfasst die Verwendung ein thermisches Fügen, beispielsweise ein Hartlöten in
- 25 einem CAB-Verfahren, womit eine vorteilhafte Gefügestruktur des Aluminiumverbundwerkstoffs eingestellt wird.

- 30 In einer weiteren Ausgestaltung der Verwendung weist der Wärmetauscher Hohlräume auf, insbesondere innerhalb von Rohren, wobei die Korrosionsschutzschicht auf der Innenseite der Hohlräume angeordnet ist. Wie bereits beschrieben, bildet sich insbesondere bei Ladeluftkühlern ein korrosives

Kondensat innerhalb der Hohlräume des Wärmetauschers, so dass mit einer entsprechenden Anordnung der Korrosionsschutzschicht der besonders effektive Korrosionsschutz optimal angewandt wird.

- 5 Schließlich wird die oben genannte Aufgabe durch ein Bauteil umfassend einen oben beschriebenen Aluminiumverbundwerkstoff gelöst. Umfasst das Bauteil eine thermisch gefügte Konstruktion, wird eine Ausbildung einer vorteilhaften rekristallisierten Kornstruktur im Bauteil nach dem thermischen Fügen gewährleistet. Durch die erfindungsgemäße Ausführung der Korrosionsschutzschicht hinsichtlich
- 10 Zusammensetzung kann eine günstige feinkörnige Kornstruktur erreicht werden, welche die seitliche Ausbreitung der Korrosion limitiert und so die Bildung größerer Ablösungen im Betrieb vermeidet.

- Das Bauteil kann als Wärmetauscher, insbesondere als Ladeluftkühler bzw. als Bauteil
- 15 eines Ladeluftkühlers, als Wasserkühler oder luftgekühlter Kondensator ausgestaltet sein. Weist der Wärmetauscher Hohlräume auf, insbesondere innerhalb von Rohren, ist die Korrosionsschutzschicht bevorzugt auf der Innenseite der Hohlräume angeordnet.

- 20 Hinsichtlich weiterer Ausgestaltungen und Vorteile des Verfahrens, der Verwendung und des Bauteils wird auf die Ausführungen zum Aluminiumverbundwerkstoff verwiesen sowie auf die nachfolgende Beschreibung von Ausführungsbeispielen in Verbindung mit der Zeichnung. In der Zeichnung zeigt

- 25 Fig. 1 ein Ausführungsbeispiel eines Aluminiumverbundwerkstoffs,
- Fig. 2a, b metallographische Schliffe durch Streifenproben eines Ausführungsbeispiels eines Aluminiumverbundwerkstoffs sowie einer Vergleichsprobe nach sechs Wochen Kondensatkorrosionstest,

Fig. 3 ein Ausführungsbeispiel eines Verfahrens zur Herstellung eines Aluminiumverbundwerkstoffs und

Fig. 4 ein Ausführungsbeispiel eines Wärmetauscherbauteils.

5

Fig. 1 zeigt ein Ausführungsbeispiel eines Aluminiumverbundwerkstoffs 2 zur Verwendung in der Herstellung von Wärmetauschern. Eine Kernschicht 4 aufweisend eine Aluminiumkernlegierung des Typs AA 3xxx mit einem zusätzlichen maximalen Cu-Gehalt von 0,7 Gew.-% ist vorgesehen. Auf der Kernschicht 4 ist eine

10 Korrosionsschutzschicht 6 aufgebracht, welche eine Aluminiumlegierung mit folgender Zusammensetzung in Gew.-% aufweist:

		Si	≤	0,10 %,
		Fe	≤	0,6 %,
15		Cu	≤	0,2 %,
	0,9 %	≤	Mn	≤ 1,2 %,
		Mg	≤	0,10 %,
		Cr	≤	0,3 %,
		Zn	≤	0,1 %,
20		Ti	≤	0,1 %,

Rest Al und unvermeidbare Verunreinigungen einzeln maximal 0,05 %, in Summe maximal 0,15 %. Die Korrosionsschutzschicht 6 weist eine Dicke von 30 µm bis 80 µm auf.

25

Die dargestellte Korrosionsschutzschicht bevorzugt einen Mg-Gehalt von maximal 0,05 Gew.-%, einen Cu-Gehalt von maximal 0,1 Gew.-% und einen Cr-Gehalt von maximal 0,10 Gew.-%, um verbesserte Eigenschaften bereitzustellen. Zudem ist eine Begrenzung des Si-Gehaltes auf maximal 0,05 Gew.-% möglich, um die Ausbildung von

30 Alpha-Phasen (Al₁₂Mn₃Si) zu verringern.

Eine weitere äußere Schicht ist vorgesehen, welche als Lotschicht 8 ausgestaltet ist und aus einer Aluminiumlotlegierung des Typs AA 4xxx besteht. Zusätzlich ist eine weitere Lotschicht 9 aus einer Aluminiumlotlegierung des Typs AA 4xxx auf der Seite der Kernschicht 2 vorgesehen, welche von der Korrosionsschutzschicht 6 abgewandt ist.

Der Aluminiumverbundwerkstoff 2 liegt als Band vor, welches durch Walzplattieren hergestellt wurde. Aufgrund der spezifischen Zusammensetzung der Aluminiumlegierung der Korrosionsschutzschicht, insbesondere in Verbindung mit der Zusammensetzung der Kernschicht, werden die Bindungseigenschaften der Schichten verbessert, was durch ein Walzplattieren optimal ausgenutzt wird. Im Ergebnis weist der Aluminiumverbundwerkstoff 2 hervorragende Korrosionsbeständigkeit auf.

Zur Analyse der Korrosionsbeständigkeit des Aluminiumverbundwerkstoffs auch unter einer Kondensatbildung korrosiver Medien, wie diese in Ladeluftkühlern entsteht, wurden verschiedene Proben von Aluminiumverbundwerkstoffen einem hierfür entwickelten Kondensatkorrosionstest ausgesetzt.

Drei verschiedene Zusammensetzungen von Aluminiumverbundwerkstoffen wurden getestet. Probe A bestand aus drei Schichten mit einer zwischenliegenden erfindungsgemäßen Legierung für die Korrosionsschutzschicht. Probe B bestand ebenfalls aus drei Schichten, jedoch mit einer zwischenliegenden herkömmlichen Legierung für die Korrosionsschutzschicht. Probe C war als zweischichtiger Verbundwerkstoff mit einer Lotschicht ohne eine Korrosionsschutzschicht ausgestaltet. Die genauen Legierungsbestandteile sind in den Tab. 1a – c festgehalten.

Tabelle 1 a

Probe A (erfindungsg.)	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
Kernschicht	0,04	0,17	0,44	1,14	0,22	0,08	<0,01	0,01

Korrosions- schuttschicht	0,04	0,48	0,06	1,06	0,01	<0,01	<0,01	0,01
Lotschicht	10,0	0,09	0,00	0,00	0,00	<0,01	<0,01	0,01

Tabelle 1 b

Probe B (Vergleich)	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
Kernschicht	0,11	0,36	0,45	1,2	0,00	<0,01	<0,01	0,13
Korrosions- schuttschicht	0,61	0,31	0,00	1,4	0,08	0,12	<0,01	0,01
Lotschicht	10,0	0,09	0,00	0,00	0,00	<0,01	<0,01	0,01

5

Tabelle 1 c

Probe C (Vergleich)	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
Kernschicht	0,06	0,19	0,19	1,14	0,21	<0,01	<0,01	0,15
Lotschicht	10,0	0,09	0,00	0,00	0,00	<0,01	<0,01	0,01

Zunächst wurden jeweils drei Walzbarren mit einem Querschnitt von 125 mm x 350 mm mit einer Masse von 60 kg für die Kernschicht, Korrosionsschutzschichten und Lotschichten gegossen. Die Walzbarren für die Lotschichten und die Korrosionsschutzschichten wurden anschließend auf die benötigten Plattierschichtdicken warmgewalzt. Plattierpakete wurden aus jeweils einem Barren für die Kernschicht und den gewalzten Plattierblechen hergestellt. Nach einer Vorwärmung auf 470 °C bei einer Haltezeit von mindestens 3 h wurden die Plattierpakete in mehreren Walzstichen auf eine Dicke von 7 mm ausgewalzt. Über mehrere anschließende Kaltwalzstiche wurde eine Enddicke von 0,40 mm erreicht. Über eine Schlussglühung bei einer Temperatur von 300 °C mit einer Haltezeit von 2 h wurde der rückgeglühte Temper H24 eingestellt. Bei den Proben betrug die Dicke der

Lotschicht 7,5 % der gesamten Dicke des Aluminiumverbundwerkstoffs. Die Dicke der Korrosionsschutzschicht betrug 15 % der gesamten Dicke des Aluminiumverbundwerkstoffs.

- 5 Zur Prüfung der Korrosionsbeständigkeit gegen aggressive Abgaskondensate wurden Tests in Anlehnung an das VDA Prüfblatt 230-214 durchgeführt. Dabei wurden Probestreifen der Abmessung 30 mm x 120 mm zunächst einer Glühung mit einer Haltezeit von 3 min bei 600 °C unterzogen. Diese Glühung diente zur Einstellung eines Werkstoffzustands, wie dieser im Anwendungsfall nach einem Löten entsteht.
- 10 Anschließend wurde die Seite der Proben, auf denen keine Korrosionsschutzschicht angeordnet war, mit einem Klebeband abgedeckt. Mit den so vorbereiteten Proben wurde ein zyklischer Test über eine Gesamtdauer von maximal sechs Wochen durchgeführt.
- 15 Der Test bestand aus drei aufeinanderfolgenden Phasen:
- Eintauchen der Probe in die Prüflösung bis zur Hälfte der Probenlänge über eine Dauer von 6 h
 - Trocknen der Probe an Umgebungsluft für eine Dauer von 2 h
 - Auslagern der Probe in der Dampfphase über der Prüflösung für eine Dauer
- 20 von 16 h

Die Prüflösung wurde auf Basis von Wasser durch Zugabe folgender Stoffe hergestellt:

- Sulfat (Zugabe als Schwefelsäure): 100 mg/l
- Nitrat (Zugabe als Natriumnitrat): 1000 mg/l
- 25 • Formiat (Zugabe als Ameisensäure): 650 mg/l
- Acetat (Zugabe als Essigsäure): 500 mg/l
- Chlorid (Zugabe als NaCl): 1000 mg/l

Der pH-Wert der Prüflösung betrug ca. 2,6. Die Prüftemperatur betrug 50°C.

Die Ergebnisse des Massenverlusts bei den Proben in Abhängigkeit der Dauer sind in Tab. 2 angegeben.

Tabelle 2

Massenverlust (g)	2 Wochen	4 Wochen	6 Wochen
Probe A (erfindungsgem.)	0,02	0,03	0,05
Probe B (Vergleich)	0,04	0,06	0,08
Probe C (Vergleich)	0,04	0,07	0,19

5

Die erfindungsgemäße Probe A zeigte hierbei deutlich die beste Korrosionsbeständigkeit mit dem geringsten Massenverlust. Der Massenverlust konnte gegenüber einem Aluminiumverbundmaterial ohne Korrosionsschutzschicht (Probe C) und einem Aluminiumverbundmaterial mit herkömmlicher Korrosionsschutzschicht (Probe B) auch unter aggressiven korrosiven Bedingungen deutlich eingedämmt werden.

10

Zusätzlich wurden an Streifenproben nach sechs Wochen Prüfdauer metallographische Untersuchungen in den korrosiv am stärksten angegriffenen Bereichen durchgeführt. Wie in Fig. 2a dargestellt, beschränkt sich die Korrosion bei der erfindungsgemäßen Probe A auf eine lokale Korrosion der Korrosionsschutzschicht, wobei diese auch nicht unterbrochen wird. Eine ausgedehnte laterale Ausbreitung des Korrosionsangriffs wie bei der Vergleichsprobe B in Fig. 2b tritt nicht auf. Daher ist davon auszugehen, dass sich die Größe abgelöster Korrosionspartikel bei Probe A gegenüber Probe B deutlich reduziert.

15

20

- Weiter wurden die Korrosionspotentiale der in Tab. 1 a –c genannten Materialien untersucht. Die Korrosionspotentiale werden üblicherweise an monolithischen Materialproben mit identischen Legierungszusammensetzungen gemessen, um eine höhere Messgenauigkeit zu erreichen. Gemessen wurde das Korrosionspotential
- 5 jeweils gemäß der Norm ASTM G69 gegen eine gesättigte Kalomelelektrode (*Saturated Calomel Electrode, SCE*). Die Korrosionspotentiale sind in Tab. 3 aufgeführt.

Tabelle 3

Korrosionspotential	Kernschicht	Korrosionsschutzschicht
Probe A (erfindungsgem.)	-687 mV	-717 mV
Probe B (Vergleich)	-698 mV	-745 mV
Probe C (Vergleich)	-699 mV	-

- 10 Das Korrosionspotential der Korrosionsschutzschicht in der erfindungsgemäßen Probe A liegt hierbei in einem bevorzugten Bereich von 20 mV bis 30 mV bzw. 20 mV bis 40 mV, insbesondere 25 mV bis 35 mV niedriger als in der Kernschicht. Die Vergleichsprobe B weist eine deutlich Differenz in den Korrosionspotentialen auf. Die Aluminiumlegierungen der Probe A zeigen im Verbundwerkstoff ein verbessertes
- 15 Korrosionsverhalten gegenüber dem Vergleichsverbundwerkstoff, welcher Aluminiumlegierungen mit der Zusammensetzung der Probe B aufweist.

- Fig. 3 zeigt ein Ausführungsbeispiel eines Verfahrens zur Herstellung eines Aluminiumverbundwerkstoffs. In Schritt A wird ein Plattierpaket bereitgestellt, wobei
- 20 mindestens ein Plattierblech auf einem Barren für die Kernschicht mit entsprechenden Zusammensetzungen aufeinander angeordnet wird. In Schritt B wird das Plattierpaket auf eine Temperatur von mindestens 450 °C vorgewärmt, insbesondere auf eine Temperatur von 460 °C bis 500 °C. In Schritt C wird das vorgewärmte Plattierpaket über ein Walzgerüst zu einem
- 25 Aluminiumverbundwerkstoff in Form eines Bands gewalzt.

Auf das Walzplattieren in Schritt C folgt im optionalen Schritt D mindestens ein zusätzlicher Warmwalzschrift. Die ersten Walzstiche, insbesondere der Walzstich in Schritt C kann so ausgeführt werden, beispielsweise hinsichtlich der Stichabnahme, dass eine optimale Anbindung der Plattierbleche an die Kernschicht erreicht wird.

- 5 Anschließend wird die Stichabnahme erhöht und das Verbundmaterial wie ein homogenes Material auf eine Warmbandenddicke gewalzt. Mit dem mindestens einen zusätzlichen Warmstich in Schritt D kann dann ein Warmwalzen mit beispielsweise höheren Stichabnahmen als im Schritt C erfolgen, um die Produktivität zu steigern. Schritt C und D können auf dem gleichen Walzgerüst, beispielsweise einem
- 10 Reversiergerüst, oder auf verschiedenen Walzgerüsten erfolgen.

Mit Schritt C und optional mit dem zusätzlichen Schritt D wird eine Zwischendicke von 2 mm bis 10 mm erreicht. In Schritt E wird ein Kaltwalzen des Aluminiumverbundwerkstoffs auf eine mittlere Dicke von 0,1 bis 5 mm durchgeführt.

15 Dabei kann optional eine Zwischenglühung durchgeführt werden, um das Material zu entfestigen und die weitere Kaltumformung zu erleichtern.

- In Schritt F bzw. F' erfolgt eine Schlussglüfung des kaltgewalzten Aluminiumverbundwerkstoffs. In Alternative F wird der Aluminiumverbundwerkstoff
- 20 einer Schlussglüfung bei einer Materialtemperatur von maximal 350 °C bis 400 °C bei einer maximalen Haltezeit von 2 h bis 4 h unterworfen, um einen weichgeglühten Zustand mit Temper O zu erreichen. Nach Alternative F' wird der
- Aluminiumverbundwerkstoff einer Schlussglüfung bei einer Materialtemperatur von maximal 250 °C bis 320 °C bei einer maximalen Haltezeit von 2 h bis 4 h unterworfen,
- 25 um einen rückgeglühten Zustand mit Temper H24 zu erreichen.

- In Fig. 4 ist in einer Draufsicht ein Ausführungsbeispiel eines Wärmetauschers
- 10 dargestellt. Die Bauteile des Wärmetauschers, beispielsweise die Lamellen 11 des Wärmetauschers 10, bestehen aus einem blanken oder beidseitig mit einem
- 30 Aluminiumlot beschichteten, oben beschriebenen Aluminiumverbundwerkstoff. Die Lamellen 11 werden mäanderförmig gebogen an Rohre 12 gelötet, so dass eine

Vielzahl an Lötverbindungen benötigt wird. Anstatt der Rohre 12 können auch umgeformte Platten verwendet werden, welche Hohlräume zur Führung von Medien ausbilden. Die Rohre 12 können ebenfalls aus dem Aluminiumverbundwerkstoff hergestellt werden, da diese das Medium führen und damit vor Korrosion geschützt sein müssen. Bei dem Einsatz des Wärmetauschers kann sich auf der Oberfläche des Wärmetauschers 10 ein Kondensat aus korrosiven Stoffen bilden, so dass eine Verwendung des erfindungsgemäßen Aluminiumverbundwerkstoffs besonders vorteilhaft ist

- 10 Bei einer Ausgestaltung des Wärmetauschers 10 als Ladeluftkühler gibt es insbesondere zwei Ausführungsformen. In der konventionellen Bauart werden die Rohre 12 mit der Ladeluft durchströmt. Die Rohre 12 sind mit äußeren Lamellen 11 verlötet, welche durch den Fahrtwind gekühlt werden. Bei der indirekt gekühlten Bauart werden die Rohre 12 mit der Ladeluft durchströmt und von Kühlflüssigkeit umströmt, wobei eine indirekte Kühlung über die Kühlflüssigkeit bewirkt wird.
- 15

In beiden Ausgestaltungen bilden sich die korrosiven Kondensate im Inneren der Rohre 12 bzw. im Inneren der Hohlräume. Die Korrosionsschutzschicht wird daher vorteilhafterweise auf der Ladeluftseite angeordnet, also im Inneren der Rohre 12 bzw. des Ladeluftkühlers.

20

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Aluminiumverbundwerkstoff, umfassend
- mindestens eine Kernschicht (4) aufweisend eine Aluminiumkernlegierung und
 - mindestens eine auf der Kernschicht (4) vorgesehene
- 5 Korrosionsschutzschicht (6),
dadurch gekennzeichnet, dass
- die mindestens eine Korrosionsschutzschicht (6) eine Aluminiumlegierung mit folgender Zusammensetzung in Gew.-% aufweist:

10		Si	≤	0,10 %,
		Fe	≤	0,6 %,
		Cu	≤	0,2 %,
	0,9 %	≤ Mn	≤	1,2 %,
		Mg	≤	0,10 %,
15		Cr	≤	0,3 %,
		Zn	≤	0,1 %,
		Ti	≤	0,1 %,

20 Rest Al und unvermeidbare Verunreinigungen einzeln maximal 0,05 %, in Summe maximal 0,15 %.

2. Aluminiumverbundwerkstoff nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass
- 25 die mindestens eine Korrosionsschutzschicht (6) eine Aluminiumlegierung mit einem Mg-Gehalt von maximal 0,05 Gew.-% aufweist.

3. Aluminiumverbundwerkstoff nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, dass
die mindestens eine Korrosionsschutzschicht (6) eine Aluminiumlegierung mit
einem Cu-Gehalt von maximal 0,10 Gew.-% aufweist.

5

4. Aluminiumverbundwerkstoff nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet, dass
die mindestens eine Korrosionsschutzschicht (6) eine Aluminiumlegierung mit
einem Cr-Gehalt von maximal 0,10 Gew.-% aufweist.

10

5. Aluminiumverbundwerkstoff nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Aluminiumkernlegierung aus einer Aluminiumlegierung des Typs AA 3xxx
besteht, optional aufweisend einen Cu-Gehalt von maximal 0,7 Gew.-%.

15

6. Aluminiumverbundwerkstoff nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Aluminiumkernlegierung aus einer Aluminiumlegierung mit folgender
Zusammensetzung in Gew.-% besteht:

20

	Si	≤	0,5 %,
	Fe	≤	0,4 %,
	Cu	≤	0,7 %,
1,0 %	≤	Mn	≤ 1,5 %,
	Mg	≤	0,3 %,
	Cr	≤	0,3 %,
	Zn	≤	0,1 %,
	Ti	≤	0,25 %,

25

- 30 Rest Al und unvermeidbare Verunreinigungen einzeln maximal 0,05 %, in Summe
maximal 0,15 %.

7. Aluminiumverbundwerkstoff nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Korrosionspotential der Korrosionsschutzschicht (6) mindestens 15 mV,
insbesondere 20 mV, bevorzugt zwischen 20 mV und 40 mV oder 20 mV bis 30
mV oder besonders bevorzugt zwischen 25 mV und 35 mV niedriger als das
Korrosionspotential der Kernschicht (4) liegt.
8. Aluminiumverbundwerkstoff nach einem der Ansprüche 1 bis 7,
dadurch gekennzeichnet, dass
mindestens eine weitere äußere Schicht vorgesehen ist, insbesondere
mindestens eine Lotschicht (8) aus einer Aluminiumlotlegierung und/oder
mindestens eine weitere Schutzschicht.
9. Verfahren zur Herstellung eines Aluminiumverbundwerkstoffs (2), insbesondere
eines Aluminiumverbundwerkstoffs (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei
dem
- mindestens eine Kernschicht (4) aufweisend eine Aluminiumkernlegierung
bereitgestellt wird und
 - mindestens eine Korrosionsschutzschicht (6) einseitig oder beidseitig auf die
Kernschicht (4) aufgebracht wird,
dadurch gekennzeichnet, dass
 - für die mindestens eine Korrosionsschutzschicht (6) eine Aluminiumlegierung
mit folgender Zusammensetzung in Gew.-% verwendet wird:

	Si	≤	0,10 %,
	Fe	≤	0,6 %,
	Cu	≤	0,2 %,
0,9 %	≤	Mn	≤ 1,2 %,
	Mg	≤	0,10 %,

Cr	≤	0,3 %,
Zn	≤	0,1 %,
Ti	≤	0,1 %,

- 5 Rest Al und unvermeidbare Verunreinigungen einzeln maximal 0,05 %, in Summe maximal 0,15 %.
10. Verfahren nach Anspruch 9,
 dadurch gekennzeichnet, dass
- 10 der Aluminiumverbundwerkstoff durch Walzplattieren eines Plattierpakets hergestellt wird.
11. Verfahren nach Anspruch 10,
 dadurch gekennzeichnet, dass
- 15 das Plattierpaket vor dem Walzplattieren auf eine Temperatur von mindestens 450 °C vorgewärmt wird, insbesondere auf eine Temperatur von 460 °C bis 500 °C.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 11,
 dadurch gekennzeichnet, dass
- 20 der Aluminiumverbundwerkstoff einer Schlussglühung unterworfen wird.
13. Verwendung eines Aluminiumverbundwerkstoffs (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 8 zur Herstellung eines Wärmetauschers (10) oder Bauteilen (11,12) eines
- 25 Wärmetauschers.
14. Wärmetauscher oder Bauteil eines Wärmetauschers umfassend einen Aluminiumverbundwerkstoff (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 8.
- 30 15. Wärmetauscher oder Bauteil eines Wärmetauschers nach Anspruch 14,
 dadurch gekennzeichnet, dass

mindestens eine thermisch gefügte Verbindung von Teilen des Wärmetauschers oder Bauteils vorgesehen ist.

16. Wärmetauscher nach Anspruch 14 oder 15,
5 dadurch gekennzeichnet, dass
der Wärmetauscher als Ladeluftkühler ausgestaltet ist.

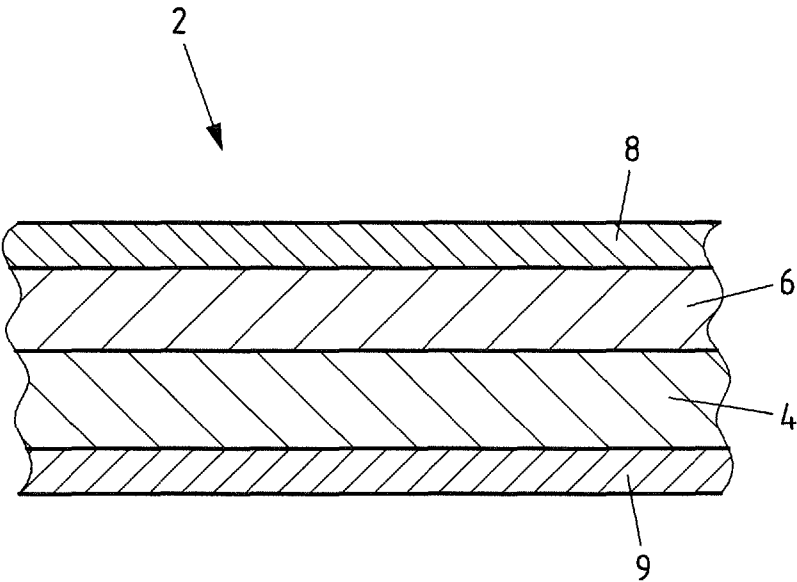
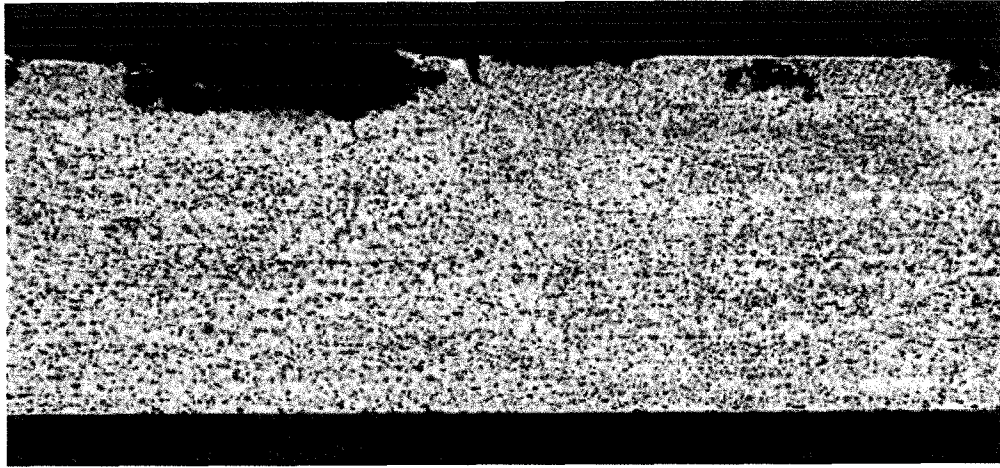


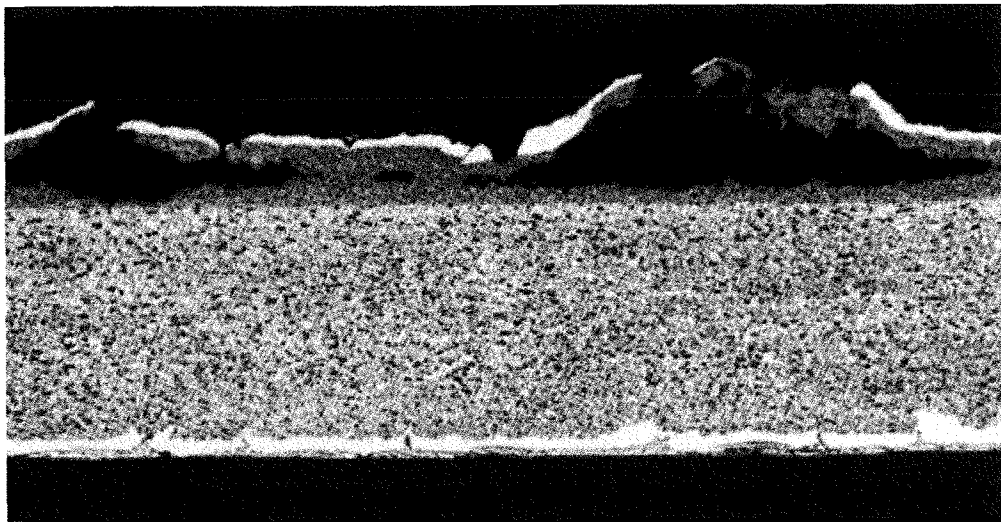
Fig.1

2/4



200µm

Fig.2a



200µm

Fig.2b

3/4

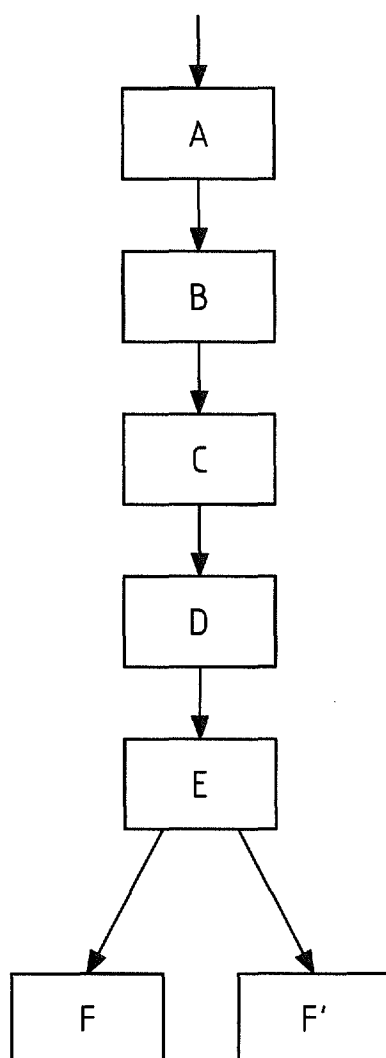


Fig.3

4/4

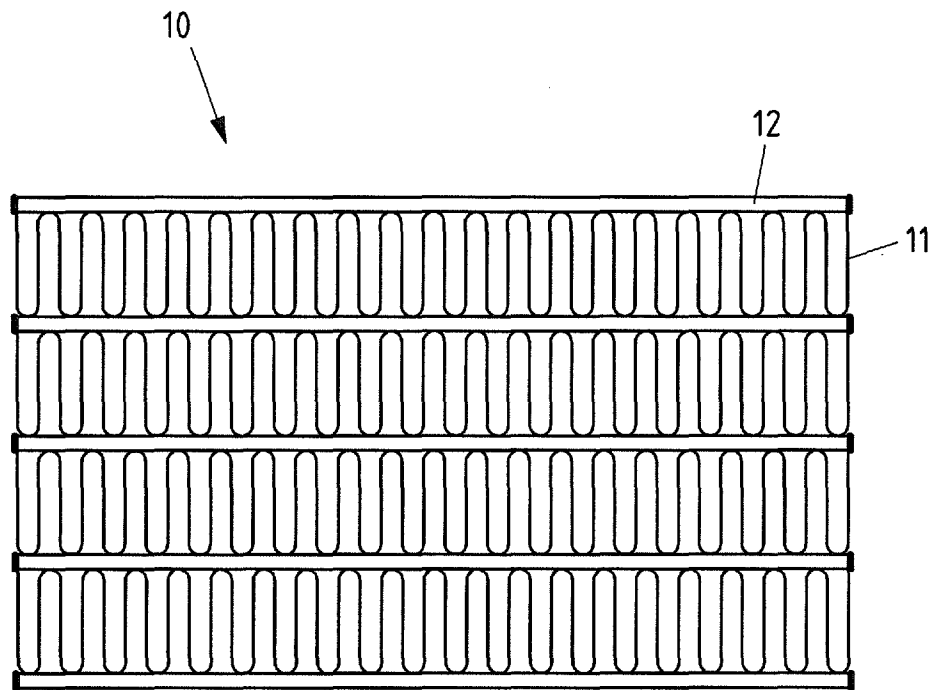


Fig.4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2017/050145

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. B23K20/04 C22C21/00 C22F1/043
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

B23K C22C C22F B21B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 2 090 425 A1 (HYDRO ALUMINIUM DEUTSCHLAND [DE]) 19 August 2009 (2009-08-19) the whole document -----	1-16
A	EP 2 039 790 A1 (HYDRO ALUMINIUM DEUTSCHLAND [DE]) 25 March 2009 (2009-03-25) the whole document -----	1-16



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

2 March 2017

Date of mailing of the international search report

24/03/2017

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Brown, Andrew

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2017/050145

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 2090425	A1	19-08-2009	BR PI0906876 A2 07-07-2015
			CN 101918208 A 15-12-2010
			EP 2090425 A1 19-08-2009
			EP 2692524 A1 05-02-2014
			ES 2441259 T3 03-02-2014
			ES 2527206 T3 21-01-2015
			JP 2011510172 A 31-03-2011
			JP 2014111839 A 19-06-2014
			KR 20100129275 A 08-12-2010
			US 2011042050 A1 24-02-2011
			WO 2009090186 A1 23-07-2009

EP 2039790	A1	25-03-2009	EP 2039790 A1 25-03-2009
			WO 2009037263 A1 26-03-2009

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. B23K20/04 C22C21/00 C22F1/043
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 B23K C22C C22F B21B

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	EP 2 090 425 A1 (HYDRO ALUMINIUM DEUTSCHLAND [DE]) 19. August 2009 (2009-08-19) das ganze Dokument	1-16
A	EP 2 039 790 A1 (HYDRO ALUMINIUM DEUTSCHLAND [DE]) 25. März 2009 (2009-03-25) das ganze Dokument	1-16



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

2. März 2017

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

24/03/2017

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Brown, Andrew

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/050145

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 2090425	A1	19-08-2009	BR PI0906876 A2 07-07-2015
			CN 101918208 A 15-12-2010
			EP 2090425 A1 19-08-2009
			EP 2692524 A1 05-02-2014
			ES 2441259 T3 03-02-2014
			ES 2527206 T3 21-01-2015
			JP 2011510172 A 31-03-2011
			JP 2014111839 A 19-06-2014
			KR 20100129275 A 08-12-2010
			US 2011042050 A1 24-02-2011
			WO 2009090186 A1 23-07-2009

EP 2039790	A1	25-03-2009	EP 2039790 A1 25-03-2009
			WO 2009037263 A1 26-03-2009
