



(10) **DE 103 27 755 B9** 2013.03.14

(12) **Berichtigung der Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **103 27 755.2**
(22) Anmeldetag: **18.06.2003**
(43) Offenlegungstag: **22.01.2004**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **31.01.2013**
(15) Korrekturinformation:
Beschreibung ergänzt

(51) Int Cl.: **B23K 35/28** (2006.01)
F28F 21/08 (2006.01)
C22C 21/00 (2006.01)

(48) Veröffentlichungstag der Berichtigung: **14.03.2013**

(30) Unionspriorität:
2002-182521 **24.06.2002** **JP**
2003-109792 **15.04.2003** **JP**

(73) Patentinhaber:
**DENSO CORPORATION, Kariya-city, Aichi-pref.,
JP; Sumitomo Light Metal Industries, Ltd., Tokio/
Tokyo, JP**

(74) Vertreter:
Müller-Wolff, Thomas, Dipl.-Ing., 53115, Bonn, DE

(72) Erfinder:
**Taketoshi, Toyama, Anjo, Aichi, JP; Takashi,
Hatori, Kariya, Aichi, JP; Koji, Hirao, Nishio, Aichi,
JP; Yuji, Hisatomi, Kasugai, Aichi, JP; Yasunaga,
Itoh, Nagoya, Aichi, JP; Yoshifusa, Shoji, Nagoya,
Aichi, JP**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

EP	0 365 367	B1
WO	00/ 05 426	A1
WO	01/ 53 552	A1
JP	000056012395	B4
JP	000057013787	B4
JP	2000 202 681	A
JP	2002 155 332	A
JP	11 131 166	A

Patent Abstracts of Japan zur JP 11-131166 A

Patent Abstracts of Japan zur JP 2000-2002681

(54) Bezeichnung: **Wärmetauscher, umfassend ein Aluminiumrippenmaterial, und Herstellungsverfahren für diesen Wärmetauscher**

(57) Hauptanspruch: Wärmetauscher, umfassend ein mittels einer Al-Si-Lotlegierung hartgelötetes Aluminiumrippenmaterial, welches ein Rippengrundmaterial aus einer Aluminiumlegierung umfasst, wobei das Aluminiumrippenmaterial zuerst heißgewalzt oder zuerst heißgewalzt und direkt anschließend kaltgewalzt wurde, danach bei Temperaturen von 280°C oder weniger gegläht und anschließend mit einem Abwalzgrad von 5 bis 25% an Enddicke kaltgewalzt wurde, sodass der Kristallkorndurchmesser der Struktur des Rippengrundmaterials zwischen 50 bis 250 µm liegt und wobei das Aluminiumrippenmaterial eine Dicke von 80 µm oder weniger aufweist und das Rippengrundmaterial aus einer Aluminiumlegierung besteht, die die folgenden Bestandteile in Gew.-% aufweist: 0,8 bis 2,0% Mn, 0,05 bis 0,8% Fe, 1, 5% oder weniger Silizium, 0,2% oder weniger Kupfer und 0, 5 bis 4% Zn, Rest Aluminium und Verunreinigungen, wobei der Gehalt an Silizium über 0% liegt.

Die oben angegebenen bibliographischen Daten entsprechen dem aktuellen Stand zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Berichtigung.

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Wärmetauscher umfassend ein Aluminiumrippenmaterial mit einer Dicke von 80 µm oder weniger, der durch Hartlöten des Aluminiumrippenmaterials mittels einer Al-Si-Legierung hergestellt wurde, sowie dessen Herstellungsverfahren unter Verwendung des Rippenmaterials.

[0002] Insbesondere bezieht sich die vorliegende Erfindung auf einen Wärmetauscher umfassend Aluminiumrippenmaterial, hergestellt aus einer Aluminiumlegierung, der aus einer Verbindung der Rippe mit einem Rohrmaterial für eine Flüssigkeitsleitung durch einen Hartlötprozess besteht. Zu derartigen Wärmetauschern gehören Radiatoren, Heizgeräte, Ölkühler, Intercooler, Kondensatoren und Verdampfer insbesondere für Autoklimaanlagen. Bei der Verbindung zwischen dem Grundmaterial der Flüssigkeitsleitung und dem Aluminiumrippenmaterial kommt es auf die interkristalline Korrosion und die Qualität des Zusammenfügens an.

[0003] Aluminium-Wärmetauscher aus einer Aluminiumlegierung werden seit langem als Automobilwärmetauscher, z. B. Radiatoren, Heizgeräte, Ölkühler, Intercooler, Verdampfer und Kondensor für Autoklimaanlagen verwendet. Der aus einer Aluminiumlegierung hergestellte Wärmetauscher wird durch Kombination einer Aluminiumrippe mit einem extrudierten Flachrohr hergestellt, wobei das Flachrohr als Leitungsmaterial für die Kühl- oder Arbeitsflüssigkeit aus einer Aluminiumkupferlegierung, einer Aluminiummanganlegierung, einer Aluminiummangan Kupferlegierung oder ähnlichen Legierungen hergestellt wurde. Es ist auch möglich ein durch Plattierung mit einer der genannten Verbindungen hergestelltes Rohrmaterial zum Hartlöten zu verwenden, wobei das kombinierte (plattierte) Produkt hartgelötet wird durch Flussmittel-Löten unter Verwendung eines Chlorid-Flussmittels, durch Inertgas-Löten unter Verwendung eines Fluorid-Flussmittels oder durch Vakuumlöten unter Verwendung eines geeigneten Lötmaterials.

[0004] Als Lotmaterial wird ein Al-Si-Lot verwendet. Das Lotmaterial wird auf die Seite der Fluidleitung oder auf eine der beiden Seiten oder beiden Seiten des Rippenmaterials aufgebracht. Das Rippenmaterial für Wärmetauscher aus Aluminiumlegierungen wird als Opfer-Anode benötigt um die Fluidleitung gegen Korrosion zu schützen und um einen hohen Hochtemperaturbeul-Widerstand (Hochtemperaturdurchbiegungs-Widerstand) zu erreichen, um eine Deformation oder Erosion durch das Lotmaterial während der Hochtemperaturaufheizung für das Hartlöten zu vermeiden.

[0005] Zur Lösung derartiger Probleme wurden bisher Aluminiummanganlegierungen gemäß JIS A3003 und JIS A3203 als Aluminiumrippenmaterial eingesetzt. In der japanischen Patentveröffentlichung Nr. 56-12395 wird die Verwendung als Opfer-Anode durch Zugabe von Zink, Zinn, Indium oder ähnliche Legierungselemente vorgeschlagen, wobei das Rippenmaterial der Aluminiummanganlegierung elektrochemisch anodisch (weniger edel) gemacht wird. Die japanische Patentveröffentlichung Nr. 57-13787 schlägt die Zugabe von Chrom, Titan und Zirkon zur Verbesserung des Durchbiegungswiderstandes vor.

[0006] In der japanischen Offenlegungsschrift Nr. 2002-155332 wird vorgeschlagen, die Struktur des Aluminiumrippenmaterials vor dem Löten faserig auszubilden um das Hartlöten durch bessere Formbarkeit des Rippenmaterials in eine wellenförmige Rippe zu verbessern. Das Verfahren ist effektiv zur Verbesserung der Formbarkeit, jedoch wird dadurch die Löt-Verbindungsrate herabgesetzt, da der Kristallkorndurchmesser nach dem Löten anwächst und ein Ausbeulen auftritt, wenn der Kristallkorndurchmesser zu gering ist.

[0007] Seit einigen Jahren wird eine Gewichtsreduktion der Automobilwärmetauscher gefordert, um das Gesamtgewicht der Fahrzeuge weiter zu reduzieren. Um mit dieser Forderung Schritt zu halten, wurde die Dicke des Wärmetauschermaterials reduziert, z. B. bei dem Rippenmaterial und der Fluidleitung (Rohrmaterial). Wenn jedoch das Rippenmaterial auf dem das Lotmaterial aufplattiert ist reduziert wird, wird auch die Menge des zur Lötstelle hin fließenden Lotmaterials reduziert, was zu einer Verknappung führt. Es kann auch zu einem Schmelzüberschuss des Lotmaterials an der Verbindungsstelle kommen.

[0008] Um bei Wärmetauschern aus Aluminiumlegierungen in dem Rippenmaterial einen Opfer-Anoden-Effekt zu erreichen, wurde überlegt, ein korrosionsanfälliges Rippenmaterial zu entwickeln. Dabei traten allerdings Probleme bei Materialien mit reduzierter Dicke auf, insbesondere bei Aluminiumrippenmaterialien mit einer Dicke von 0,08 mm oder weniger.

[0009] Bei Rippenmaterialien, bei denen das Lotmaterial aufplattiert ist, kann das geschmolzene Lot in die Korngrenzen eindringen, wobei der Gesamtbereich in der Richtung der Blechdicke betroffen ist. Dadurch dringen die anodischen (weniger edlen) Komponenten bis an die Korngrenzen vor, wodurch eine interkristalline Korrosion auftritt. Wenn eine interkristalline Korrosion in erheblichem Umfang im Rippenmaterial auftritt, wird

die Festigkeit des Wärmetauschkerns herabgesetzt. Bei der Verwendung von blankem Rippenmaterial, bei dem das Lotmaterial nicht aufplattiert ist, durchdringt das Lot auf der Röhrenseite, die mit dem Rippenmaterial verbunden ist, bis in die Lotzone zwischen dem Röhren und der Rippe das Material, wodurch eine interkristalline Korrosion begünstigt wird. Wenn eine interkristalline Korrosion in erheblichem Umfang am Rippenmaterial auftritt wird die Festigkeit des Wärmetauschkerns herabgesetzt. Deshalb sind Rippenmaterialien mit verbesserten Korrosionswiderständen erforderlich um das Röhrenmaterial gegen Korrosion zu schützen.

[0010] WO 2000/005426 A1 beschreibt ein verbessertes Aluminiumlegierungsmaterial für Kühlrippen, das sowohl eine hohe Festigkeit als auch eine hohe Wärmeleitfähigkeit aufweist. Das Aluminiumrippenmaterial, das (in Gew.-%) 1,2–1,8 Fe, 0,7 bis 0,95 Si, 0,3–0,5 Mn, Rest Al aufweist, wird durch kontinuierliches Gießen der Legierung mit einer Kühlrate von mehr als 10°C/s erzeugt, danach auf eine Zwischendicke gewalzt, wärmebehandelt und anschließend kaltgewalzt.

[0011] WO 2001/053552 A1 offenbart ein Verfahren zur Herstellung eines Aluminiumrippenmaterials aus einer Aluminiumlegierung, umfassend (in Gew.-%) Si 0,7 bis 1,1, Mn 0,3 bis 0,6, Fe 1,6 bis 2,4, Zn 0,3 bis 2,0, Ti 0,005 bis 0,040, mittels der Schritte kontinuierliches Bandgießen der Aluminium-Legierung, Heißwalzen oder direktes Kaltwalzen, Zwischenglühen und anschließendes Kaltwalzen.

[0012] JP 11-131166 A1 betrifft ein Rippenmaterial für Wärmetauscher aus Aluminium mit 0,5–2,0 Gew.-% Fe, einer Dicke < 0,1 mm und 1–8% Dehnung mit einer Matrix aus einer faserigen Struktur, einer gemischten Struktur aus Faserstruktur und einer rekristallisierten Struktur mit einer mittleren Kristallkorngröße von ≤ 200 µm. Eine bevorzugte Legierung enthält in Gewichtsprozent: 0,5–2,0 Fe, 0,05–0,3 Zr, 0,5–3,0 Zn, Rest Al mit Verunreinigungen. Die Druckschrift offenbart auch Wärmetauscher aus diesem Aluminiumrippenmaterial.

[0013] EP 0365367 A1 offenbart ein hartlötbares Aluminiumlegierungsblech, bestehend aus 0,8 bis 1,3 Gew.-% Mn, 0,2 bis 0,7% Gew.-% Si, ein oder zwei von 0,04 bis 0,1% Gew.-% In und 0,1 bis 2,0% Gew.-% Zn, mit dem Rest Aluminium und unvermeidbaren Verunreinigungen. Das hartlötbare Aluminiumlegierungsblech wird mittels Warmwalzen der Aluminiummasse bei einer Temperatur von 350°C bis 450°C ohne Durchführung einer Homogenisierungsbehandlung, ersten Kaltwalzen der warmgewalzten Aluminiumlegierung, Tempern der Aluminiumlegierung bei einer Temperatur von 350°C bis 420°C und zweiten Kaltwalzen der geglühten Aluminiumlegierung bei einem Abwalggrad von 20% bis 40% hergestellt.

[0014] Die vorliegende Erfindung ist das Ergebnis von intensiven Studien über die Beziehungen zwischen der Verbindungsfähigkeit zweier Stoffe beim Lötten und dem Korrosionswiderstand, insbesondere der interkristallinen Korrosion und den Legierungsbestandteilen, der internen Struktur und den strukturellen Gesetzmäßigkeiten, um ein Aluminiumrippenmaterial zu entwickeln, das die eingangs genannten Probleme bei gleichzeitig reduzierter Dicke des Aluminiumrippenmaterials in der Anwendung auf Wärmetauschern lösen kann und das der Nachfrage nach weiteren Verbesserungen (Gewichtsreduzierungen, Festigkeiten, Verformbarkeiten) genügt.

[0015] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher einen Wärmetauscher umfassend ein Aluminiumrippenmaterial mit verbesserten Verbindungseigenschaften zu entwickeln, um es an einem Rohrmaterial zu befestigen und mit einem verbesserten interkristallinen Korrosionswiderstand, so dass ein Wärmetauscher hergestellt aus einer Aluminiumlegierung unter Verwendung eines Aluminiumrippenmaterials mit überlegenen Eigenschaften erhalten wird.

[0016] Diese Aufgabe wird mit einem Wärmetauscher gemäß Anspruch 1 und einem Verfahren gemäß Anspruch 8 gelöst

[0017] Das Aluminiumrippenmaterial für Wärmetauscher nach der vorliegenden Erfindung weist die nachfolgend aufgeführten Merkmale zur Lösung des eingangs gestellten Problems auf:

1. Aluminiumrippenmaterial für Wärmetauscher mit einer Dicke von 80 µm oder weniger, das Bestandteil eines Wärmetauschers aus einer Aluminiumlegierung ist, der durch Hartlöten mittels einer Al-Si-Lotlegierung hergestellt wurde, wobei die Struktur des Rippenmaterials vor dem Hartlöten aus einer Faserstruktur besteht und der Kristallkorndurchmesser der Struktur des Rippenmaterials nach dem Hartlöten 50 bis 250 µm beträgt.
2. Aluminiumrippenmaterial für Wärmetauscher nach Nummer 1, wobei das Rippenmaterial als Kernmaterial verwendet wird und eine Al-Si-Lotlegierung auf beiden Seiten des Kernmaterials aufplattiert ist.
3. Aluminiumrippenmaterial für Wärmetauscher nach Nummer 1, wobei die Siliziumkonzentration in einer Siliziumlösungszone im Zentrum eines gelöteten Abschnittes des Rippenmaterials 0,7 Gew.-% oder weniger beträgt.

4. Aluminiumrippenmaterial für Wärmetauscher nach Nummer 2, wobei die Siliziumkonzentration in der Lösungszone an der Rippenoberfläche nach dem Löten 0,8 Gew.-% oder mehr und im Zentrum des Rippenmaterials 0,7% oder weniger beträgt.
5. Aluminiumrippenmaterial für Wärmetauscher nach einem der Nummern 1 bis 4, wobei das Rippenmaterial aus einer Aluminiumlegierung besteht die die folgenden Bestandteile in Gew.-% aufweist: 0,8 bis 2,0% Mn, 0,05 bis 0,8% Fe, 1,5 oder weniger Silizium, 0,2% oder weniger Kupfer und 0,5 bis 4% Zm, Rest Aluminium und Verunreinigungen, wobei die Gehalte an Silizium und Kupfer über 0% liegen.
6. Aluminiumrippenmaterial für Wärmetauscher nach einem der Nummern 2 oder 4, wobei das Rippenmaterial aus einer Aluminiumlegierung besteht, das folgende Legierungselemente in Gew.-% aufweist: 0,8 bis 2,0% Mn, 0,05 bis 0,8% Fe, 1,5% oder weniger Si und 0,5 bis 4% Zn, Rest Aluminium und Verunreinigungen und ferner gekennzeichnet durch ein Lotmaterial enthaltend 6 bis 13 Gew.-% Silizium, Restaluminium und Verunreinigungen, wobei das Lotmaterial als Plattierung auf jeder Seite des Kernmaterials eine Dicke von 3 bis 20% der Gesamtdicke gebildet durch das Rippenmaterial und das Lotmaterial aufweist.
7. Aluminiumrippenmaterial für Wärmetauscher nach Nummer 5, wobei der Kupfergehalt des Rippenmaterials 0,03 Gew.-% oder weniger beträgt.
8. Aluminiumrippenmaterial für Wärmetauscher nach Nummer 6, wobei das Kernmaterial 0,03 Gew.-% oder weniger Kupfer und das Lotmaterial 0,1 Gew.-% oder weniger Kupfer enthält.
9. Aluminiumrippenmaterial für Wärmetauscher nach einem der Nummern 5 oder 7, wobei das Rippenmaterial weiterhin entweder 0,05 bis 0,3 Gew.-% Zirkon, 0,05 bis 0,3 Gew.-% Chrom oder beide Elemente gemeinsam enthält.
10. Aluminiumrippenmaterial für Wärmetauscher nach einem der Nummern 6 oder 8, wobei das Kernmaterial weiterhin entweder 0,05 bis 0,3 Gew.-% Zirkon, 0,05 bis 0,3 Gew.-% Chrom oder beide Bestandteile gemeinsam enthält.
11. Aluminiumrippenmaterial für Wärmetauscher nach einem der Nummern 6, 8 oder 10, wobei das Lotmaterial weiterhin 0,5 bis 6 Gew.-% Zink enthält.
12. Wärmetauscher, hergestellt durch Verbindung mit einem Aluminiumrippenmaterial nach einem der Nummern 1 bis 11 in einem Hartlötprozess.

[0018] Im folgenden wird die Erfindung anhand mehrerer Ausführungsbeispiele näher erläutert. Dabei erhalten die Absätze folgende Nummerierung: 1. Erläuterung der internen Struktur, 2. Beschreibung des Kristallkorndurchmessers, 3. Bedeutung der Si-Konzentration und 4. Einfluss der Legierungskomponenten des Aluminiumrippenmaterials bei der Herstellung von Wärmetauschern nach der vorliegenden Erfindung.

1. Beschreibung der internen Struktur

[0019] Bei der Anwendung von blankem Rippenmaterial oder bei lötbarem Rippenmaterial mit einer Dicke von 80 µm (0,08 mm) oder weniger kann das Kernmaterial (im weiteren „Rippengrundmaterial“ genannt) eine rekristallisierte Struktur aufweisen. Die Festigkeitswerte werden beeinflusst durch die Unterschiede zwischen den Korngrenzen, die eine Vielzahl von Leerstellen aufweisen, und dem inneren der Körner. Dieses bewirkt eine Veränderung der R-förmigen Abschnitte bei der Wellung des Rippenmaterials. Der Zwischenraum zwischen der Rippe und der Kühlmitteleitung vergrößert sich beim Zusammenbau des Kerns (der Rippen mit den Rohren), wobei die Abweichung in der Höhe der Rippen/Kämme ansteigt und dadurch die Anzahl der Verbindungspunkte (Verbindungsrate) während des Hartlötens abfällt. Die Abweichung in der Form während der Wellung und die Abweichung in der Höhe der Rippenkämme wird durch den Innenaufbau (interne Struktur) einer faserigen Rippengrundstruktur vermindert und die Abweichungen in den Festigkeitswerten ebenfalls reduziert, wodurch die Verbindungsrate (Anzahl der Verbindungspunkte) angehoben wird.

2. Kristallkorndurchmesser

[0020] Nach der bisherigen Auffassung wurde die Vergrößerung des Korndurchmessers des Rippenmaterials nach der Aufheizung auf Löttemperatur (Rekristallisation) als vorteilhaft angesehen um die Eigenschaften des Rippenmaterials zu verbessern, solange nicht eine signifikante Erosion an den Subkorngrenzen auftrat. Diese Erosion trat auf, wenn die Kristallisation unterhalb der Schmelztemperatur des Lotmaterials nicht vollständig ablief. Nach der vorliegenden Erfindung ist es wichtig, den Innenaufbau der Rippengrundstruktur faserförmig zu gestalten und den Kristallkorndurchmesser in der Rippenstruktur nach dem Löten auf 50 bis 250 µm zu begrenzen. Diese Maßnahme begünstigt die Verbindungsrate der Rippen nach dem Löten sehr wesentlich. Wenn der Kristallkorndurchmesser der Rippengrundstruktur nach dem Löten geringer als 50 µm ist, wächst die Menge an geschmolzenem Lotmaterial an, das in die Korngrenzen eindringt wodurch die Rippen aufgebogen werden. Wenn der Kristallkorndurchmesser über 250 µm liegt, wird ein Zustand der inneren Spannung vor der Lötung erreicht wurde, der bei hohen Temperaturen beibehalten wird. Dieses bedeutet, dass der Deformati-

onsgrad der Rippen anwächst und dadurch die Höhe der Rippen herabgesetzt wird. Dieses wiederum bewirkt eine Verringerung der Verbindungsrate zwischen den Rippen und den rohrförmigen Kühlmittleitungen. Der Kristallkorndurchmesser der Struktur des Kernmaterials nach dem Löten sollte vorzugsweise zwischen 100 bis 200 µm liegen.

3. Einfluss der Siliziumkonzentration

[0021] Der interkristalline Korrosionswiderstand des Wärmetauscherkerns nach dem Löten wird erheblich verbessert durch Begrenzung der Siliziumkonzentration in der Siliziumlösungszone auf der Oberfläche des Rippenmaterials und im Zentrum des Rippenquerschnittes nach dem Löten, solange die Siliziumgehalte im Bereich der durch die Erfindung gegebenen Grenzen liegen. Beim Gebrauch eines Löttrippenmaterials bestehend aus einem Kernmaterial und einer Lötplattierschicht auf dem Kernmaterial wird das Silizium vom Lötmetall während der Aufheizung zum Löten in den Kern diffundieren entlang der Kristallkorngrenzen des Kernmaterials. Wenn die Materialstärke der Rippe so dünn wie 0,08 mm oder geringer ist und die Aufheizphase für das Löten verlängert wird, beginnt die Konzentration an Silizium, das vom Lotmetall in den Kern diffundiert, soweit anzusteigen, dass die Löslichkeitsgrenze bei der Aufheiztemperatur für das Löten erreicht wird. Dann wächst die Si-Konzentration entlang der Korngrenzen des Kernmaterials, wodurch ein Bereich mit niedriger Si-Konzentration gebildet wird. Da dieser Bereich mit niedriger Si-Konzentration anodisch (weniger edel) ausgebildet ist verläuft eine interkristalline Korrosion vorzugsweise entlang dieser Korngrenzen in dem Rippenmaterial. Im Fall eines blanken Rippenmaterials tritt dasselbe Phänomen auf wie bei einem plattierten Rippenmaterial, da das Lötmetall auf einer Seite des Rohres an der Verbindungsstelle zwischen dem blanken Rippenmaterial und dem Röhrchen angeordnet ist.

[0022] Im Falle eines plattierten Löt-Rippenmaterials wird das Silizium das im Zentrum der Rippendicke angeordnet ist, nur sehr selten entlang der Korngrenzen ausgeschieden, da die Siliziumkonzentration in der Siliziumlösungszone an der Oberfläche des Rippenmaterials nach dem Löten auf 0,8% oder weniger begrenzt ist und die Siliziumkonzentration in der Siliziumlösungszone im Zentrum des Rippenmaterials (Querschnittsdicke) nach dem Löten begrenzt ist auf 0,7% oder weniger. Deshalb korrodieren die Korngrenzen an der Oberfläche des Rippenmaterial bevorzugt und die Korrosion in das Innere des Rippenmaterials verläuft in einheitlicher Form, wodurch das Auftreten von interkristalliner Korrosion im Rippenmaterial gesteuert wird. Im Falle einer Rippenmaterialdicke von über 0,08 mm kann eine interkristalline Korrosion nicht auftreten, da Silizium im Lotmaterial nicht in das Innere des Rippenmaterials eindringt.

[0023] Bei der Anwendung von blankem Rippenmaterial wird Silizium, das im Zentrum der Rippenmaterialdicke anwesend ist, nur im geringen Maße an den Korngrenzen ausgeschieden, weil die Siliziumkonzentration in der Siliziumlösungszone im Zentrum der Rippenmaterialdicke nach dem Löten auf 0,7% oder weniger begrenzt ist. Deshalb korrodieren die Korngrenzen auf der Oberfläche des Rippenmaterials bevorzugt und die Korrosion bis ins Innere des Rippenmaterials erfolgt als einheitliche Korrosion, wodurch die Erscheinung von interkristalliner Korrosion im Rippenmaterial gesteuert wird. Für den Fall, dass die Rippenmaterialdicke über 0,08 mm liegt, wird Silizium im Lötmaterial nicht bis in das Innere des Rippenmaterials diffundiert und eine interkristalline Korrosion kann deshalb nicht auftreten.

4. Einfluss der Legierungskomponenten

[0024] Im folgenden wird die Bedeutung und die Begründung für die Begrenzung der Legierungskomponenten in der vorliegenden Erfindung detailliert dargestellt.

(Rippengrundstruktur)

[0025] Mangan in der Rippengrundstruktur verbessert die Festigkeit des Kernmaterials, wodurch der Widerstand gegen Hochtemperaturbeulung angehoben wird. Der Mangangehalt beträgt vorzugsweise 0,8 bis 2,0%. Wenn Mangan unterhalb von 0,8% liegt, ist der Effekt ungenügend. Wenn der Mangangehalt über 2,0% liegt, wird ein grobkristallines Produkt während des Gießens erzeugt, so dass die Walzbarkeit beeinträchtigt wird. Somit ist die Herstellung eines flächigen Materials (Folie, Band) schwierig. Der Mangangehalt sollte immer bevorzugt zwischen 1,0 bis 1,7% liegen.

[0026] Eisen in der Rippengrundstruktur tritt immer zusammen mit Mangan auf und verbessert die Festigkeit des Rippenmaterials vor und nach dem Löten. Der Eisengehalt liegt vorzugsweise zwischen 0,05 bis 0,8%. Bei Eisengehalten unter 0,05% ist der Effekt ungenügend. Bei Eisengehalten über 0,8% werden die Kristallkörner verfeinert so dass das geschmolzene Lotmaterial dazu tendiert im Kernmaterial zu erodieren. In der Folge

wird die Hochtemperaturbeulbeständigkeit herabgesetzt und die Selbstkorrosion erhöht. Der Eisengehalt liegt bevorzugt im Bereich von 0,05 bis 0,3%.

[0027] Silizium im Rippengrundmaterial steht in Verbindung mit Mangan und produziert feine Aluminium-Mangan-Silizium-Verbindungen wodurch die Festigkeit des Rippenmaterials angehoben wird. Darüber hinaus senkt Silizium die Menge an gelöstem Mangan und verbessert die thermische Leitfähigkeit und die elektrische Leitfähigkeit. Der Siliziumgehalt liegt vorzugsweise im Bereich von 0,01 bis 1,6%. Wenn der Siliziumgehalt unter 0,01% liegt, ist der Effekt ungenügend. Wenn der Siliziumgehalt 1,6% übersteigt, befindet sich ein großer Anteil des Siliziums in den Korngrenzen und bewirkt die Bildung eines Konzentrationsbereiches an niedrigem Silizium in der Nähe der Korngrenzen, wodurch das Auftreten an interkristalliner Korrosion begünstigt wird. Der Siliziumgehalt liegt daher bevorzugt in den Grenzen von 0,1 bis 0,9%.

[0028] Kupfer in dem Rippengrundmaterial verstärkt die Festigkeit des Rippenmaterials vor und nach der Lötung. Kupfer führt jedoch auch zu einer Abnahme des interkristallinen Korrosionswiderstandes. Der Kupfergehalt beträgt vorzugsweise 0,2% oder weniger. Wenn der Kupfergehalt über 0,2% ansteigt wird das Potential des Rippenmaterials kathodisch, das heißt edler, so dass der Opfer-Anoden-Effekt der Rippe absinkt. Parallel zum Absinken des Opfer-Anoden-Effektes nimmt auch der interkristalline Korrosionswiderstand ab. Deshalb ist der Kupfergehalt vorzugsweise 0,03% oder weniger und besonders bevorzugt bei 0,01% oder weniger.

[0029] Durch Zink im Rippengrundmaterial wird das Potential des Kernmaterials weiter anodisch, das heißt weniger edel ausgerichtet, so dass der Opfer-Anoden-Effekt verstärkt wird. Bevorzugt liegt der Zinkgehalt bei 0,5 bis 4,0%. Wenn der Zinkgehalt unter 0,5% liegt ist der Opfer-Anoden-Effekt ungenügend. Wenn der Zinkgehalt 4,0% übersteigt, senkt sich der Selbstkorrosionswiderstand des Kernmaterials und die Empfindlichkeit für interkristalline Korrosion wächst an. Besonders bevorzugt ist ein Zinkgehalt von 1,0 bis 3,0%.

[0030] Zirkon und Chrom im Rippengrundmaterial verstärken die Festigkeit des Rippenmaterials vor und nach dem Löten und verbessert die Hochtemperaturbeulfestigkeit. Der Zirkon und der Chromgehalt liegen vorzugsweise bei 0,05 bis 0,3%. Wenn der Gehalt weniger als 0,05% beträgt, ist der günstige Effekt auf die Festigkeit und die Widerstandsfähigkeit ungenügend. Wenn der Gehalt über 0,3% liegt, werden grobe kristalline Produkte während des Gießens erzeugt, wodurch die Walzbarkeit beeinträchtigt ist. Deshalb ist es unter diesen Bedingungen schwierig gutes Walzmaterial herzustellen.

[0031] Indium, Antimon und Gallium können zum Rippengrundmaterial in einer Menge von 0,3% oder weniger jeweils hinzugegeben werden. Diese Elemente bewirken, dass das Potential des Rippenmaterials anodisch das heißt weniger edel wird ohne dass die Temperaturleitfähigkeit des Rippenmaterials wesentlich herabgesetzt wird. Dabei soll der Opfer-Anoden-Effekt beibehalten werden. Die Wirkungen der vorliegenden Erfindung werden nicht beeinträchtigt wenn das Rippengrundmaterial Blei, Lithium, Strontium, Kalzium und Natrium jeweils in einer Menge von 0,1% oder weniger enthält. Vanadin, Molybdän und Nickel können jeweils zum Rippengrundmaterial hinzugefügt werden in einer Menge von 0,3% oder weniger um die Festigkeit anzuheben. Titan kann in das Rippengrundmaterial in einer Menge von 0,3% oder weniger zugegeben werden für eine Kornfeinung der Gussstruktur. Bor kann ebenfalls in das Rippengrundmaterial in einer Menge von 0,1% oder weniger zugegeben werden um das Auftreten einer Oxidation zu verhindern. Wenn man als Lötverfahren das Vakuumlöten einsetzt, kann Magnesium mit 0,5% oder weniger hinzugefügt werden in das Rippengrundmaterial um die Festigkeit des Kernmaterial zu steigern.

(Lotmetall)

[0032] Silizium im Lot senkt den Schmelzpunkt des Lotmaterials ab und verbessert die Fließfähigkeit des geschmolzenen Lotmaterials. Der Siliziumgehalt liegt vorzugsweise zwischen 6 und 13%. Wenn Silizium in einem Gehalt von weniger als 6% angewendet wird, liegen die beschriebenen Effekte in ungenügender Form vor. Bei einem Siliziumgehalt über 13% steigt der Schmelzpunkt des Lotes stark an und die Verarbeitbarkeit während der Herstellung sinkt. Besonders bevorzugt liegt der Siliziumgehalt zwischen 7 und 11%.

[0033] Ein Zinkgehalt im Lot lässt die Opfer-Anoden-Eigenschaften anwachsen. Der Zinkgehalt liegt vorzugsweise bei 0,5 bis 6%. Wenn der Zinkgehalt unter 0,5% liegt, ist der beschriebene Effekt ungenügend. Bei Zinkgehalten über 6% nimmt die Verarbeitbarkeit während der Herstellung ab. Darüber hinaus wird das spontane Potential weiter anodisch (weniger edel) so dass eine Verstärkung des Selbstkorrosionswiderstandes erfolgt.

[0034] Die beschriebenen Effekte der vorliegenden Erfindung werden nicht beeinträchtigt wenn das Lotmaterial Chrom, Kupfer und Mangan jeweils in einem Gehalt von 0,3% oder weniger enthält. Blei, Lithium und Kal-

zium sollten jeweils unter 0,1% liegen um den Effekt der Erfindung nicht zu beeinträchtigen. 0,3% oder weniger ist die Grenze für Titan und 0,1% oder weniger für Bor Gehalte, die hinzugegeben werden können um das Lotmaterial in seiner Gussstruktur einer Kornfeinung zu unterwerfen. Strontium und Natrium können ebenfalls hinzugegeben werden zum Lotmaterial jeweils in einer Menge von 0,1% oder weniger um die Siliziumpartikel im Lot zu feinen. Die Zugabe von Indium, Antimon und Gallium kann für das Lotmaterial vorteilhaft sein in einer Menge bis zu 0,1% oder weniger um das Potential für die Verwendung als Opfer-Anode herabzusetzen. Eine Menge von 0,1% oder weniger an Beryllium kann hinzugefügt werden zum Lotmaterial um das Aufwachsen eines oberflächlichen Oxidfilms zu verhindern. Eine Menge von 0,4% oder weniger an Wismut kann ebenfalls zum Lotmaterial hinzugefügt werden um die Fließeigenschaften des Lotes zu verbessern.

[0035] Bei hohen Gehalten an Eisen im Lotmaterial kann eine Selbstkorrosion auftreten. Deshalb wird der Eisengehalt vorzugsweise begrenzt auf 0,8% oder weniger. Im Falle der Anwendung von Vakuumlöten sollte Magnesium in das Lotmaterial in einer Menge von 2,0% oder weniger zugegeben werden. Bei der Anwendung des Lötens in inerte Atmosphäre unter Verwendung eines fluoridhaltigen Flussmittels wird der Magnesiumgehalt vorzugsweise begrenzt auf 0,5% oder weniger da Magnesium die Lötbarkeit behindert.

[0036] Der Anteil der Plattierschichtdicke des Lotes auf dem Lotrippenmaterial beträgt vorzugsweise 3 bis 20% im Durchschnitt auf einer Seite, wobei das Rippenmaterial eine Dicke von 80 µm (0,08 mm) oder weniger aufweist. Wenn die durchschnittliche Plattierschicht auf einer Seite weniger als 3% des Lotrippenmaterials beträgt, wird die Plattierschichtdicke des Lotmaterials auf dem Kernmaterial zu gering, so dass ein einheitliches Plattiervhältnis nicht erreicht werden kann. Unter diesen Umständen ist es schwierig ein Rippenmaterial herzustellen, auf dem das Lotmetall aufplattiert ist. Wenn die durchschnittliche Plattierschichtdicke über 20% liegt, bedeutet dies, dass die Menge an geschmolzenem Lotmetall überproportional ansteigt, so dass die Gefahr des Aufschmelzens des Kernmaterials besteht und dieses erodieren kann. Die Plattierung (das Verhältnis von Plattierschicht zu Gesamtdicke der Rippe) beträgt vorzugsweise 5 bis 15%.

[0037] Nachfolgend wird die Herstellung des Aluminiumrippenmaterials für Wärmetauscher nach der vorliegenden Erfindung ausführlich beschrieben. Im Falle einer Herstellung von blankem Rippenmaterial wird eine Aluminiumlegierung für das Rippengrundmaterial mit einer speziellen Zusammensetzung gegossen durch ein halbkontinuierliches Gießverfahren mit anschließender Homogenisierung nach konventioneller Methode. Das homogenisierte Produkt wird dann einem Heißwalzen, einer Zwischenerwärmung und einem Kaltwalzen oder einem Heißwalzen mit direkt anschließendem Kaltwalzen, einer Zwischenerwärmung und einem Kaltwalzen an Enddicke unterworfen um ein Walzmaterial herzustellen mit einer Dicke von 0,08 mm (80 µm) oder weniger. Das Walzband wird auf eine bestimmte Breite geschnitten und gewellt. Das gewellte Produkt wird mit einem Rohr zusammengefügt wobei das Rohr aus einem Lötblech geformt wird enthaltend eine Aluminium-Mangan-Legierung wie z. B. JIS3003-Legierung als Kernmaterial, auf das eine Aluminium-Silizium-Legierung als Lot (Außenseite) und eine JIS7072-Legierung (Innenseite) als Plattierschicht auf jede Seite des Kernmaterials aufgebracht wird und dies in eine Rohrform gebracht wird. Das gewellte Produkt und das Rohr werden durch Hartlöten miteinander verbunden um einen Wärmetauscherkern herzustellen.

[0038] Im Falle der Herstellung eines lötbaren Rippenmaterials wird eine Aluminium-Legierung für das Rippengrundmaterial (Kernmaterial) und eine Aluminium-Legierung für das Lotmaterial zusammengefügt wobei das Lotmaterial eine spezielle Zusammensetzung für die Herstellung einer guten Natlötverbindung mit dem Rippenmaterial aufweist.

[0039] Beide Legierungen (Kernmaterial und Lotmaterial) werden durch ein halbkontinuierliches Gießverfahren mit anschließender Homogenisierung nach konventioneller Methode hergestellt. Das Lötmaterial wird anschließend heißgewalzt und auf das homogenisierte Kernmaterial aufplattiert.

[0040] Das resultierende Verbundmaterial wird einem Heißwalzen, einer Zwischenerwärmung und einem Kaltwalzen unterworfen oder einem Heißwalzen direkt gefolgt von einem Kaltwalzen, einer Zwischenerwärmung mit anschließendem Kaltwalzen an Enddicke um ein Walzmaterial mit einer Dicke von 0,08 mm (80 µm) oder weniger herzustellen. Das Walzmaterial wird besäumt und auf eine spezielle Breite gebracht und dann gewellt.

[0041] Die gewellten Produkte und die Fluid-Leitungs-Materialien (inneres Rohrmaterial) werden in Form einer abgeflachten Rohrleitung aus Aluminium-Mangan-Legierungen wie z. B. einer JIS3003-Legierung in abwechselnden Lagen übereinander geschichtet und durch einen Hartlötprozess verbunden um einen Wärmetauscherkern herzustellen.

[0042] Nach der vorliegenden Erfindung hat das Aluminiumrippenmaterial vor dem Löten eine Faserstruktur und der Kristallkorndurchmesser der Struktur des Rippengrundmaterials nach dem Löten ist begrenzt auf 50 bis 250 µm, vorzugsweise 100 bis 200 µm. Diese strukturellen Eigenschaften können erhalten werden durch Steuerung der Herstellungsbedingungen bei den Produktionsschritten des Rippenmaterials. Beispielsweise wird die Faserstruktur des Rippengrundmaterials durch eine bestimmte Einstellungsmethode für die Glühtemperatur während des Herstellungsverfahrens des Rippenmaterials erreicht, wobei eine Glühtemperatur, die niedriger als die Kristallisationstemperatur der Aluminium-Legierung für das Rippengrundmaterial ist, eingestellt wird und wobei der Abwalzgrad beim Kaltwalzen innerhalb bestimmter Grenzen gehalten wird. Der Kristallkorndurchmesser der Struktur des Rippengrundmaterials wird begrenzt auf 50 bis 250 µm nach dem Löten, in dem ein besonderes Verfahren zur Einstellung der Verfahrensbedingungen beim Glühen und Kaltwalzen an Enddicke durchgeführt wird. Beispielsweise wird der Walzrohling bei Temperaturen von 450 bis 600°C für 3 Stunden oder mehr homogenisiert und danach heißgewalzt bei Temperaturen von 300 bis 500°C. Das Heißwalzprodukt wird mit einem Abwalzgrad von 90% oder mehr kaltgewalzt, bei Temperaturen von 280°C oder weniger geglüht und anschließend kaltgewalzt mit einem Abwalzgrad von 5 bis 25%. Die Siliziumkonzentration in der Siliziumlösungszone auf der Oberfläche des Rippenmaterials und in der Mitte der Rippendicke wird nach dem Löten gesteuert durch ein Verfahren zur Einstellung der Heizzyklen für das Löten oder durch ähnliche Maßnahmen. Beispielsweise kann ein Verfahren zur Begrenzung der Zeit der Lötzyklen angewendet werden bestehend aus einem Aufheizen von 450°C oder mehr auf die Löttemperatur von über 600°C und einem Abkühlen auf die Verfestigungstemperatur des Lotmaterials während 15 Minuten oder weniger, vorzugsweise für 10 Minuten oder weniger.

Beispiele

[0043] Zum Verständnis der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend mehrere Beispiele und Vergleichsbeispiele angegeben. Diese Beispiele sollen den Gegenstand der vorliegenden Erfindung erläutern und stellen zwar bevorzugte Anwendungsfälle dar, sollen aber nicht als Beschränkung des Erfindungsgedanken verstanden werden.

Beispiel 1

[0044] Eine Aluminium-Legierung für ein Kernmaterial und eine Aluminium-Legierung für ein Lotmaterial mit einer Zusammensetzung wie in Tabelle 1 (Kombinationsnummern A bis Q) werden durch ein kontinuierliches Gießverfahren gegossen und homogenisiert nach den üblichen Bedingungen. Die Walzrohlinge der Aluminium-Legierungen für das Lotmaterial werden heißgewalzt und auf jede der Seiten des Walzausgangsmaterials bestehend aus Aluminium-Legierungen des Kernmaterials aufplattiert. Die resultierenden Produkte werden heißgewalzt, kaltgewalzt, geglüht und kalt an Enddicke gewalzt um eine Rippenplattierung (Temper H14) mit einer Dicke von 0,07 mm und einem Plattierverhältnis wie in Tabelle 1 dargestellt zu erhalten. Die Struktur des Kernmaterials und die Kristallkorngröße der rekristallisierten Struktur des Kernmaterials nach dem Aufheizen auf Löttemperatur werden durch die Einstellungen der Verfahrensbedingungen während des Glühens und des Kaltwalzens an Enddicke variiert.

[0045] Das erhaltene Rippenmaterial wird gewellt und auf ein Rohrmaterial aufgebracht, das aus einer porösen abgeflachten Rohrform (50 Abschnitte) besteht und aus einem reinen Aluminium mit einer zinkbehandelten Oberfläche gebildet wurde. Die entstandenen Produkte werden mit einem Ausgleichsbehälter verbunden und einer Seitenplatte, die mit vorbereiteten Abschnitten zusammengesteckt wird. Nach dem Aufsprühen eines Fluorid-Flussmittels werden die Produkte in einer inerten Atmosphäre bei Temperaturen von 600°C (Maximaltemperatur) gelötet. Die Siliziumkonzentration im Siliziumlösungsbereich an der Oberfläche des Rippenmaterials und im Zentrum der Rippenmaterialdicke wird nach dem Löten variiert durch Einstellen der Aufheizzyklen während des Lötens.

[0046] Die Testmaterialien mit der Kombinationsnummer A bis Q wurden untersucht für die Eignung als Struktur des Kernmaterials zum Löten, hinsichtlich des Korndurchmessers der Struktur des Kernmaterials nach dem Löten, hinsichtlich der Siliziumkonzentration in der Siliziumlösungszone der Oberfläche des Rippenmaterials und im Zentrum der Materialdicke des Rippenmaterials nach dem Löten, hinsichtlich der Verbindungsrate und der Verbindungsqualität durch das Lötverfahren, hinsichtlich des Vorliegens einer Beulung in Folge eines Aufschmelzens an der Verbindungsstelle, hinsichtlich der interkristallinen Korrosion und des Lochfraßkorrosionswiderstandes des Röhrchenmaterials, das gemäß dem nachfolgenden Verfahren mit dem Rippenmaterial verbunden wurde. Die Ergebnisse der Beurteilung sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Struktur des Kernmaterials vor dem Löten:

[0047] Die Beurteilung hinsichtlich der Struktur des Kernmaterials hinsichtlich einer Rekristallisation wurde anhand einer Oberflächenpolarisationsaufnahme des Kernbereichs des Rippenmaterials vorgenommen. Zur Bestimmung des Kristallkorndurchmessers der Struktur des Kernmaterials nach dem Löten:

Eine Oberflächenpolarisationsaufnahme des Kernmaterials wurde zur Bestimmung der Anzahl der Kristallkörner angefertigt und die Körner anhand des Diagramms (Micrograph) gezählt. Daraus wurde ein Wert gebildet durch Umwandlung der Anzahl der Kristallkörner in einen äquivalenten Kreisdurchmesser, der als Kristallkorn-durchmesser verwendet wurde.

[0048] Die Si-Konzentration im Si-Auflösungsbereich an der Oberfläche des Rippenmaterials und im Zentrum der Materialdicke der Rippen nach dem Löten wurde wie folgt bestimmt:

Es wurde eine Fläche ausgewählt in der keine Ausscheidungen durch Ausfällung oder Kristallisation vorlagen. Diese Auswahl erfolgte durch ein Elektronenanalysegerät (Electron-Probe-Microanalyser). Die Siliziumkonzentration wurde mit einem Elektronenstrahldurchmesser von 1 µm gemessen und eine Durchschnittskonzentration an fünf Stellen kalkuliert.

Verbindungsverhältnis:

[0049] Nach dem Aufheizen auf Löttemperatur wurde ein Anschlag gegen die gewellten Rippen gepresst und so ein Bruch der Rippen herbeigeführt (nicht verbundene Bereiche wurden entfernt). Die Oberfläche des Röhrchens und die Verbindungsstelle an den Rippen wurde beurteilt. Die Anzahl der Rippen-Kanten, die nicht mit dem Röhrchen verbunden waren, wurden gezählt und daraus eine Verbindungsrate errechnet (Anzahl der nicht verbundenen Rippen-Ecken oder -Kanten/durch Gesamtanzahl der Rippen \times 100 (%)).

Feststellung des Vorliegens oder Nichtvorliegens von Beulungen
an der Verbindungsstelle, hervorgerufen durch Aufschmelzung:

[0050] Eine repräsentative Fläche im Verbindungsbereich wurde ausgewählt und mit Harz eingeschlossen. Dann wurde untersucht ob an der Verbindungsstelle eine Beulung aufgrund von Aufschmelzung vorlag oder nicht.

Interkristalliner Korrosionswiderstand:

[0051] Ein Wärmetauscherkern, gebildet durch Verbindung der Rippe und der Röhrchen wurde einem SWAAT-Korrosionstest nach ASTM G85-85 für vier Wochen unterworfen. Es wurde dann die Bruchfestigkeit anhand eines Festigkeitstests beurteilt indem die Röhrchen am oberen und unteren Ende der Rippe eingespannt wurden. Die Durchschnittsfestigkeit wurde als Index für die Beurteilung des interkristallinen Korrosionswiderstandes des Rippenmaterials herangezogen.

Lochfraßkorrosionswiderstand des Röhrchenmaterials:

[0052] Der Lochfraßkorrosionswiderstand des Röhrchenmaterials wurde dadurch beurteilt, dass die maximale Tiefe der Lochkorrosion festgestellt wurde, die im Röhrchen während des Korrosionstests auftrat.

[0053] Wie aus Tabelle 2 zu ersehen, zeigen die erfindungsgemäßen Testmaterialien mit den Nummern 1 bis 17 hervorragende Verbindungseigenschaften beim Löten, wobei die Verbindungsrate an den Rippen 98% oder mehr betrug. Sie zeigten auch keine Beulung an den Rippenverbindungsstellen. Darüber hinaus betrug die Durchschnittsfestigkeit der Rippe mehr als 50 MPa nach dem Korrosionstest. Schließlich wurde bei den erfindungsgemäßen Testmaterialien Nummer 1 bis 17 ein außergewöhnlich guter Lochfraßkorrosionswiderstand gemessen, bei dem die maximale Tiefe der Lochkorrosion im Röhrchen weniger als 0,1 mm betrug.

Vergleichsbeispiel 1

[0054] Aluminium-Legierungen des Kernmaterials und Aluminium-Legierungen des Lotmaterials, jeweils mit einer Zusammensetzung wie in Tabelle 3 (Kombinationsnummern a bis o) wurden in einem kontinuierlichen Gießverfahren hergestellt und homogenisiert nach üblichen Methoden. Die Walzplattinen aus Aluminiumlegierungen des Lotmaterials wurden heißgewalzt und auf jede Seite des Aluminium-Legierungs-Kernmaterials aufplattiert. Das resultierende Produkt wurde heißgewalzt, kaltgewalzt, geglüht und an Enddicke gewalzt um ein Plattierippenmaterial (Temper H14) zu erhalten, das eine Dicke von 0,07 mm und eine Plattierrate zeigte,

wie in Tabelle 3 dargestellt. Die Struktur des Kernmaterials und die Kristallkorndurchmesser in der Rekristallisationszone des Kernmaterials nach dem Aufheizen auf Löttemperatur wurde variiert durch Einstellung der Verfahrensbedingungen für das Glühen und das Kaltwalzen an Enddicke.

[0055] Das resultierende Rippenmaterial wurde gewellt und auf ein Rohrmaterial aufgebracht, das aus einem porösen abgeflachten Rohr (50 Abschnitte) aus reinem Aluminium bestand und mit einer Zinkoberflächenbehandlung wie in Beispiel 1 beschrieben versehen wurde. Die resultierenden Produkte wurden mit einem Ausgleichstank kombiniert und Seitenplatten versehen, die mit vormontierten Abschnitten ausgestattet waren. Dann wurden die Produkte mit einem Fluorid-Flussmittel besprüht und in einer inerten Atmosphäre bei 600°C (Maximaltemperatur) gelötet. Die Siliziumkonzentration in der Siliziumlösungszone an der Oberfläche des Rippenmaterials und im Zentrum des Rippenquerschnittes nach dem Lötten wurden variiert indem die Aufheizzyklen während des Lötens verändert wurden.

[0056] Die Versuchsmaterialien (Kombinationsnummern a bis o) wurden hinsichtlich der Struktur des Kernmaterials vor dem Lötten sowie den folgenden Eigenschaften beurteilt: Kristallkorndurchmesser der Struktur des Kernmaterials nach dem Lötten, Siliziumkonzentration in der Siliziumlösungszone auf der Oberfläche des Rippenmaterials und im Zentrum des Rippenmaterialquerschnittes nach dem Lötten, die Lötverbindungsrate, das Vorliegen oder Nichtvorliegen von Beulungen, hervorgerufen durch das Aufschmelzen an der Verbindungsstelle, der interkristalline Korrosionswiderstand und die Lochfraßkorrosion des Röhrchenmaterials an der Verbindungsstelle zum Rippenmaterial, nach demselben Verfahren wie im Beispiel 1 beschrieben. Die Beurteilungen führten zu den in Tabelle 4 dargestellten Ergebnissen.

[0057] Wie in Tabelle 4 dargestellt, zeigt das Testmaterial Nr. 18 eine hohe Siliziumkonzentration im Zentrum der Rippenmaterialdicke nach der Lötung und eine fortgeschrittene interkristalline Korrosion mit der Folge, dass die Rippen eine unzureichende Zugfestigkeit aufwiesen. Im Versuchsmaterial Nr. 19 wurden Brüche festgestellt, da die Plattierungsrate des Lotmetalls niedrig war. Die Brüche traten auf der Oberfläche des gewalzten Rippenmaterials auf, wodurch ein vollständig plattiertes Rippenmaterial nicht hergestellt werden konnte. Im Versuchsmaterial Nr. 20 und 21 wurden grobe Verbindungsausscheidungen festgestellt, die während des Gießens durch den hohen Mangengehalt und durch den hohen Chromgehalt im Kernmaterial hervorgerufen wurden. Hierdurch wurde die Walzbarkeit beeinträchtigt und als Ergebnis festgestellt, dass das Rippenmaterial nicht in verwertbarer Form hergestellt werden konnte.

[0058] Im Versuchsmaterial Nr. 22 wurde der Kristallkorndurchmesser des Kernmaterials nach dem Lötten dadurch herabgesetzt, dass ein hoher Eisengehalt im Kernmaterial vorhanden war. Im Ergebnis führte dies dazu, dass die geschmolzenen Lotbestandteile an den Kristallkorgrenzen in das Kernmaterial eindringen und dadurch eine Beulung auf den Rippen hervorriefen. Im Versuchsmaterial Nr. 23 wurden grobe Verbindungsausscheidungen während des Gießens hergestellt in Folge eines hohen Zirkongehaltes im Kernmaterial, wodurch die Walzbarkeit herabgesetzt wurde. Im Ergebnis konnte ein homogenes Rippenmaterial unter diesen Bedingungen nicht hergestellt werden. Beim Versuchsmaterial Nr. 24 traten wegen des hohen Siliziumgehalts im Kernmaterial Beulungen an der Lötverbindungsstelle auf in Folge eines lokalen Anschmelzens. Darüber hinaus wurden überschüssige geschmolzene Siliziummengen an den Kristallkorgrenzen des Kernmaterials abgeschieden, so dass die Zugfestigkeit aufgrund des Korrosionstestes als ungenügend beurteilt werden musste.

[0059] Im Versuchsmaterial Nr. 25 wurde das Kernmaterial erodiert weil die Menge an geschmolzenem Lotmetall in Folge einer hohen Plattierrate des Lotmetalls stark anstieg. Im Ergebnis wurde eine Beulung an der Verbindungsstelle festgestellt. Darüber hinaus trat interkristalline Korrosion in Folge des hohen Kupfergehaltes im Kernmaterial besonders häufig auf, wodurch die Zugfestigkeit des Rippenmaterials signifikant herabgesetzt wurde. Im Versuchsmaterial Nr. 26 war die Verbindungsrate nicht ausreichend, da die Menge an fließfähigem Lotmetall in Folge des niedrigen Siliziumgehalts im Kernmaterial ungenügend war. Im Ergebnis führte das dazu, dass der Korrosionstest nicht ausgeführt werden konnte. Beim Versuchsmaterial Nr. 27 brach das Plattiermaterial während des Walzens in Folge hohem Siliziumgehalt im Lotmetall. Außerdem war der Opfer-Anoden-Effekt ungenügend in Folge eines niedrigen Zinkgehalts im Kernmaterial, wodurch eine tiefe Lochfraßkorrosion im Rohrmaterial auftrat.

[0060] Da beim Versuchsmaterial Nr. 28 der Kristallkorndurchmesser des Kernmaterials nach dem Lötten sehr groß war, wurde der Gefügezustand mit einer inneren Spannung, die während des Wellungsverfahrens erzeugt wurde, beibehalten bis hin zu hohen Temperaturen wodurch der Verformungsgrad der Rippe anstieg. Als Ergebnis wurde eine ungenügende Verbindungsqualität nach dem Lötten festgestellt. Darüber hinaus trat interkristalline Korrosion vermehrt auf in Folge eines hohen Zinkgehaltes im Kernmaterial und die Zugfestigkeit der Rippe sank nach dem Korrosionstest deutlich ab. Im Versuchsmaterial Nr. 29 wurde die Rippenhöhe des

Rippenmaterials während der Wellung stark verändert, da die Struktur des Kernmaterials vor dem Lötten eine rekristallisierte Struktur aufwies, so dass die Verbindungsqualität beim Lötten unzureichend war.

[0061] In den Versuchsmaterialien Nr. 30 und 31 war die Zugfestigkeit der Rippen nach dem Korrosionstest ungenügend, da die Siliziumkonzentration in der Siliziumlösungszone an der Oberfläche des Rippenmaterials und im Zentrum des Rippenquerschnittes nach dem Lötten ungeeignet war. Da die Siliziumkonzentration in der Siliziumlösungszone im Zentrum der Rippendicke nach dem Lötten beim Versuchsmaterial Nr. 32 sehr hoch lag, wurde eine unzureichende Zugfestigkeit des Rippenmaterials nach dem Korrosionstest festgestellt.

Beispiel 2

[0062] Aluminium-Legierung mit einer Zusammensetzung wie in Tabelle 5 gezeigt (Legierungen Nr. 2A bis 2Q) wurden mit einem kontinuierlichen Gießverfahren hergestellt und nach üblichen Verfahren homogenisiert. Die homogenisierten Produkte wurden einem Heißwalzprozess unterworfen, gefolgt durch ein Kaltwalzen und einem Zwischenglühen und anschließend Kaltwalzen an Enddicke um blankes Rippenmaterial (Temper H14) mit einer Dicke von 0,07 mm herzustellen. Die Struktur des Rippenmaterials und der Kristallkorndurchmesser der rekristallisierten Struktur des Rippenmaterials nach dem Aufheizen auf Löttemperatur wurde variiert durch Einstellung der Verfahrensbedingungen während des Glühens und des Kaltwalzens an Enddicke.

[0063] Das resultierende Rippenmaterial (Versuchsmaterialien) wurde gewellt und auf ein Rohrmaterial aufgebracht (auf 50 Abschnitte) durch Walzformung eines Lötbleches (Dicke: 0,2 mm) umfassend eine 3003-Legierung als Kernmaterial, auf die eine Al-Si-10-Legierung als Lötmetall (Außenseite) mit einer Plattierungsrate von 10% und eine 7072-Legierung (innere Opfer-Anode) mit einer Plattierungsrate von 20% aufplattiert wurde auf jeweils eine Seite des Kernmaterials und das Lötblech in eine Rohrform gebracht wurde. Die resultierenden Produkte wurden mit einem Ausgleichstank kombiniert und mit einer Seitenplatte versehen, die aus vormontierten Abschnitten bestand. Nach dem Aufsprühen eines Fluorid-Flussmittels wurden die Produkte in einer inerten Atmosphäre bei 600°C (Maximaltemperatur) gelötet. Die Siliziumkonzentration in der Siliziumlösungszone im Zentrum des Rippenmaterialquerschnittes wurde während des Lötens durch Einstellung der Aufheizzyklen verändert.

[0064] Die Versuchsmaterialien wurden beurteilt nach der Struktur des Kernmaterials vor der Lötung, nach dem Kristallkorndurchmesser der Struktur des Kernmaterials nach dem Lötten, nach der Siliziumkonzentration in der Siliziumlösungszone im Zentrum der Rippenmaterialdicke nach dem Lötten, nach dem Löt-Verbindungsverhältnis, nach der Beulung (vorhanden/nicht vorhanden) in Folge des Aufschmelzens an der Verbindungszone, dem interkristallinen Korrosionswiderstand, dem Lochfraßkorrosionswiderstand im Rohrmaterial das mit dem Rippenmaterial verbunden wurde nach dem selben Verfahren wie in Beispiel 1 angegeben. Die Ergebnisse sind in Tabelle 6 dargestellt.

[0065] Wie in Tabelle 6 dargestellt zeigen die erfindungsgemäßen Versuchsmaterialien Nr. 33 bis 49 ausgezeichnete Verbindungsqualitäten während des Lötens wobei die Rippenverbindungsrate 98% oder mehr betrug und wobei an der Rippenverbindungsstelle keine Beulung auftrat. Außerdem lag die durchschnittliche Zugfestigkeit der Rippe über 50 MPa nach dem Korrosionstest. Darüber hinaus zeigte das Versuchsmaterial Nr. 33 bis 49 einen außergewöhnlichen Lochfraßkorrosionswiderstand mit einer maximalen Lochfraßtiefe im Röhrchen von weniger als 0,1 mm.

Vergleichsbeispiel 2

[0066] Es wurden Aluminiumlegierungen mit einer Zusammensetzung gemäß Tabelle 7 (Legierungsnummern 2a bis 2o) mit einem kontinuierlichen Gießverfahren hergestellt und anschließend nach üblichem Verfahren homogenisiert. Die homogenisierten Produkte wurden einem Heißwalzprozess unterzogen gefolgt von einem Kaltwalzen mit Zwischenglühung und einem Kaltwalzen an Enddicke zur Herstellung von blankem Rippenmaterial (Temper H14) mit einer Dicke von 0,07 mm. Die Struktur des Rippenmaterials und der Kristallkorndurchmesser der rekristallisierten Struktur des Rippenmaterials nach Erreichen der Löttemperatur wurde variiert durch Einstellung der Bedingungen für das Glühen und das Kaltwalzen an Enddicke.

[0067] Die resultierenden Rippenmaterialien (Versuchsmaterialien) wurden gewellt und mit einem Röhrchenmaterial (50 Abschnitte) verbunden, hergestellt durch Walzen eines Lötbleches (Dicke: 0,2 mm) unter Verwendung einer 3003-Legierung als Kernmaterial, in der ein Al-Si-10-Legierungs-Lotmetall (Außenseite) mit einer Platterrate von 10% und eine 7072-Legierung (innere Opfer-Anode) mit einer Plattierungsrate von 20% auf jede Seite des Kernmaterials aufplattiert wurde und in eine Röhrchenform gebracht wurde. Die resultierenden

Produkte wurden mit einem Ausgleichstank verbunden und einer Seitenplatte bestehend aus vormontierten Abschnitten. Nach dem Aufsprühen eines Fluorid-Flussmittels wurden die Produkte in inerter Atmosphäre bei 600°C (Maximaltemperatur) gelötet. Die Si-Konzentration in der Si-Lösungszone im Zentrum des Rippenmaterialquerschnittes, gemessen nach der Lötung, wurde durch Einstellung der Aufheizzyklen während des Lötens verändert.

[0068] Die Versuchsmaterialien wurden beurteilt nach der Struktur des Kernmaterials vor dem Löten, nach dem Kristallkorndurchmesser der Struktur des Kernmaterials nach dem Löten, nach der Siliziumkonzentration in der Siliziumlösungszone im Zentrum der Rippenmaterialdicke nach dem Löten, nach der Verbindungsrate beim Löten, nach dem Vorliegen oder Nichtvorliegen einer Beulung durch Aufschmelzen an der Verbindungszone, nach dem interkristallinen Korrosionswiderstand und nach dem Lochfraßkorrosionswiderstand im Röhrenmaterial, das an das Rippenmaterial gemäß dem im Beispiel 1 verwendeten Verfahren angeschlossen wurde. Die Ergebnisse sind in Tabelle 8 dargestellt.

[0069] Wie in Tabelle 8 dargestellt zeigte das Versuchsmaterial Nr. 50 eine ungenügende Festigkeit im Rippenmaterial in Folge eines niedrigen Mangangehaltes in dem Rippengrundmaterial. Dadurch wurde der Hochtemperatur-Beulwiderstand herabgesetzt auf einen Bereich, der als ungenügend zu bezeichnen war. Im Versuchsbeispiel Nr. 51 und 52 ergaben sich grobe Ausscheidungen während des Gießens in Folge eines hohen Mangangehaltes und hohem Chromgehaltes im Rippenmaterial. Dadurch wurde die Walzbarkeit herabgesetzt und in Folge dessen konnte ein homogenes Rippenmaterial nicht hergestellt werden.

[0070] Im Versuchsmaterial Nr. 53 wurde der Kristallkorndurchmesser des Rippenmaterials während des Lötens in Folge eines hohen Eisengehaltes im Rippengrundmaterial stark herabgesetzt. Als Folge davon konnte ein Anteil an geschmolzenem Lotmetall in die Kristallkorngrenzen des Rippenmaterials eindringen wodurch eine Beulung der Rippen auftrat. Im Versuchsmaterial Nr. 54 wurden grobe Ausscheidungen während des Gießens in Folge eines hohen Zirkongehaltes im Rippengrundmaterial produziert, wodurch die Walzbarkeit beeinträchtigt wurde. Deshalb konnte kein homogenes Rippenmaterial hergestellt werden. Da der Siliziumgehalt im Versuchsmaterial Nr. 55 im Rippenmaterial sehr hoch lag, trat Beulung in der Lötverbindung in Folge lokalen Aufschmelzens auf. Darüber hinaus wurde festgestellt, dass erhebliche Mengen an geschmolzenem Silizium an den Kristallkorngrenzen des Rippenmaterials verfestigten, so dass die Zugfestigkeit nach einem interkristallinen Korrosionstest ungenügend war.

[0071] Im Versuchsmaterial Nr. 56 trat interkristalline Korrosion vermehrt auf in Folge eines hohen Kupfergehaltes im Rippenmaterial wodurch die Zugfestigkeit der Rippe signifikant herabgesetzt wurde. Im Versuchsmaterial Nr. 57 wurde der Opfer-Anoden-Effekt nicht mehr erfüllt in Folge niedrigem Zinkgehalt im Rippenmaterial wodurch eine tiefe Lochfraßkorrosion im Rohrmaterial auftrat. Im Versuchsmaterial Nr. 58 wurde ein Zustand mit innerer Spannung festgestellt, der während der Wellung beibehalten werden konnte bis auf ein hohes Temperaturniveau, wodurch der Deformationsgrad der Rippe anwuchs. Dies geschah in Folge eines sehr großen Kristallkorndurchmessers im Rippenmaterial nach dem Löten. Als Ergebnis zeigte sich eine unzureichende Löt-Verbindungsqualität. Darüber hinaus konnte eine interkristalline Korrosion vermehrt festgestellt werden, die in Folge eines hohen Zinkgehaltes in dem Rippenmaterial auftrat, wobei die Zugfestigkeit der Rippe nach dem Korrosionstest signifikant herabgesetzt wurde.

[0072] Im Versuchsmaterial Nr. 59 wurde die Schwankungsbreite der Rippenhöhe während der Wellung verstärkt und dadurch eine unzureichende Löt-Verbindungsqualität erreicht. Dies geschah in Folge einer rekristallisierten Struktur des Rippenmaterials vor dem Löten.

[0073] In den Versuchsmaterialien Nr. 60 bis 62 wurde die Zugfestigkeit der Rippen als unzureichend nach dem interkristallinen Korrosionstest angesehen. Als Grund wurde die hohe Siliziumkonzentration im Siliziumlösungsbereich im Zentrum des Rippenmaterialquerschnittes nach dem Löten festgestellt.

[0074] In Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung werden Aluminium-Legierungs-Rippenmaterialien für Wärmetauscher mit einer Dicke von 80 µm (0,08 mm) und exzellenten Verbindungseigenschaften für Rohrmaterialien und erhöhten interkristallinen Korrosionswiderstandswerten vorgeschlagen. Mit dem erfindungsgemäß vorgeschlagenen Aluminium-Legierungs-Rippenmaterial für Wärmetauscher kann die Dicke des Rippenmaterials reduziert werden, so dass eine Gewichtsreduktion und eine erhöhte Lebensdauer der Wärmetauscher erwartet werden kann.

Tabelle 1

Kombination	Kernmaterial							Lotmetall		Plattierverhältnis (eine Seite) (%)
	Zusammenfassung (Gew.-%)							Zusammensetzung (Gew.-%)		
	Mn	Fe	Si	Cu	Zn	Andere	Si	Andere		
A	0,8	0,2	0,5	0,00	2,5	-	7,5	-	10	
B	1,0	0,2	0,5	0,01	2,5	-	7,5	-	10	
C	1,6	0,2	0,5	0,01	2,5	Cr 0,05	7,5	-	10	
D	2,0	0,2	0,5	0,03	2,5	-	7,5	Zn 0,5	10	
E	1,2	0,06	0,5	0,14	2,5	Cr 0,3	7,5	Zn 6,0	10	
F	1,2	0,3	0,5	0,12	2,5	Zr 0,05	7,5	-	10	
G	1,2	0,8	0,5	0,10	2,5	Zr 0,3	7,5	-	10	
H	1,2	0,2	0,05	0,12	2,5	-	7,5	-	10	
I	1,2	0,2	0,9	0,03	2,5	-	7,5	-	10	
J	1,2	0,2	1,5	0,02	2,5	-	6,0	-	10	
K	1,2	0,2	0,5	0,20	2,5	-	13,0	-	10	
L	1,2	0,2	0,5	0,03	2,5	-	7,5	Cu 0,1	10	
M	1,2	0,2	0,5	0,01	2,5	-	7,5	Cu 0,04	3	
N	1,2	0,2	0,5	0,00	0,5	-	7,5	-	5	
O	1,2	0,2	0,5	0,00	4,0	-	7,5	-	15	
P	1,2	0,2	0,5	0,01	1,0	-	7,5	-	20	
Q	1,2	0,2	0,5	0,01	2,5	-	7,5	-	10	

Tabelle 2

Test- material	Kombi- nation	Kernmaterial		Si-Konzentration		Verbindungs- rate	Beulung	Interkristalliner Korrosions- Widerstand	Rohr-Lochfraß- Korrosions- Widerstand
		Struktur vor dem Löten	Kristalkorn- durchmesser nach dem Löten (µm)	Zentrum der Mat.dicke (%)	Oberfläche (%)				
1	A	Faser	150	0,6	0,9	99,8	Keine	51	0,06
2	B	Faser	150	0,4	1,0	99,7	Keine	52	0,05
3	C	Faser	50	0,5	0,8	98,2	Keine	55	0,07
4	D	Faser	100	0,6	0,8	99,5	Keine	54	0,08
5	E	Faser	100	0,7	0,9	98,9	Keine	41	0,04
6	F	Faser	150	0,6	1,0	99,0	Keine	44	0,09
7	G	Faser	200	0,6	0,9	99,1	Keine	46	0,04
8	H	Faser	150	0,4	0,9	98,5	Keine	40	0,06
9	I	Faser	150	0,6	0,8	99,6	Keine	48	0,04
10	J	Faser	150	0,7	0,9	99,2	Keine	50	0,06
11	K	Faser	150	0,6	0,8	99,1	Keine	40	0,09
12	L	Faser	250	0,5	0,8	99,9	Keine	51	0,08
13	M	Faser	150	0,5	0,8	99,7	Keine	52	0,08
14	N	Faser	150	0,6	1,0	99,4	Keine	50	0,08
15	O	Faser	150	0,6	0,8	99,4	Keine	48	0,07
16	P	Faser	150	0,7	0,9	99,6	Keine	53	0,06
17	Q	Faser	100	0,6	0,9	99,9	Keine	55	0,04

Tabelle 3

Kombination	Kernmaterial							Lotmetall		Plattierverhältnis (eine Seite) (%)
	Zusammenfassung (Gew.-%)							Zusammensetzung (Gew.-%)		
	Mn	Fe	Si	Cu	Zn	Andere	Si	Andere		
a	0,6	0,2	0,5	0,01	2,5	-	7,5	Zn 7,0	10	
b	1,2	0,2	0,5	0,10	2,5	Cr 0,03	7,5	-	2	
c	2,2	0,2	0,5	0,01	2,5	-	7,5	-	10	
d	1,2	0,2	0,5	0,00	2,5	Cr 0,4	7,5	-	10	
e	1,2	0,9	0,5	0,14	2,5	Zr 0,03	7,5	-	10	
f	1,2	0,2	0,5	0,01	2,5	Zr 0,4	7,5	-	10	
g	1,2	0,2	1,7	0,00	2,5	-	7,5	-	10	
h	1,2	0,2	0,5	0,30	2,5	-	7,5	-	25	
i	1,2	0,2	0,5	0,12	2,5	-	5,0	-	10	
j	1,2	0,2	0,5	0,12	0,3	-	14,0	Cu 0,2	10	
k	1,2	0,2	0,5	0,01	5,0	-	7,5	-	10	
l	1,2	0,2	0,5	0,01	2,5	-	7,5	-	10	
m	1,2	0,2	0,5	0,01	2,5	-	7,5	-	10	
n	1,2	0,2	0,5	0,12	2,5	-	7,5	-	10	
o	1,2	0,2	0,5	0,01	2,5	-	7,5	-	10	

Tabelle 4

Test- material	Kombi- nation	Kernmaterial		Si-Konzentration		Verbindungs- rate	Beulung	Interkristalliner Korrosions- Widerstand	Rohr-Lochfraß- Korrosions- Widerstand
		Struktur vor dem Löten	Kristalkorn- durchmesser nach dem Löten (µm)	Zentrum der Mat.dicke (%)	Oberfläche (%)				
18	a	Faser	100	0,8	0,9	97,1	Keine	22	0,05
19	b	-	-	-	-	-	-	-	-
20	c	-	-	-	-	-	-	-	-
21	d	-	-	-	-	-	-	-	-
22	e	Faser	30	0,6	0,9	99,2	vorhanden	44	0,09
23	f	-	-	-	-	-	-	-	-
24	g	Faser	150	0,7	1,0	99,8	vorhanden	24	0,08
25	h	Faser	100	0,6	1,0	99,2	Keine	9	0,09
26	i	Faser	150	0,6	1,0	68,9	Keine	-	-
27	j	Faser	100	0,5	1,0	99,5	Keine	28	0,21
28	k	Faser	300	0,6	0,9	93,4	Keine	34	0,09
29	l	Rekristalli- sation	100	0,7	0,8	94,8	Keine	50	0,07
30	m	Faser	100	1,0	0,7	99,7	Keine	14	0,06
31	n	Faser	150	0,9	0,7	98,1	Keine	21	0,04
32	o	Faser	150	1,0	0,9	99,0	Keine	16	0,08

Tabelle 5

Legierung	Zusammensetzung (Gew.-%)					
	Mn	Fe	Si	Cu	Zn	Andere
2A	0,8	0,2	0,5	0,00	2,5	-
2B	1,1	0,2	0,5	0,01	2,6	-
2C	1,6	0,2	0,5	0,01	2,5	Cr 0,06
2D	2,0	0,2	0,5	0,03	2,4	-
2E	1,2	0,06	0,5	0,14	2,5	Cr 0,28
2F	1,2	0,3	0,5	0,12	2,7	Zr 0,05
2G	1,2	0,7	0,5	0,10	2,5	Zr 0,3
2H	1,2	0,2	0,06	0,12	2,3	-
2I	1,2	0,2	0,9	0,03	2,5	-
2J	1,2	0,2	1,5	0,02	2,6	-
2K	1,2	0,2	0,5	0,18	2,6	-
2L	1,2	0,2	0,5	0,03	2,5	-
2M	1,3	0,2	0,5	0,01	2,5	-
2N	1,2	0,2	0,5	0,00	0,6	-
2O	1,2	0,2	0,5	0,00	4,0	-
2P	1,3	0,2	0,5	0,01	1,1	-
2Q	1,2	0,2	0,5	0,01	2,5	-

Tabelle 6

Test- material	Legierung	Rippenmaterial		Si-Konzentration im Zentrum der Rippenmaterialdicke (%)	Verbindungs- rate	Beulung	Interkristalliner Korrosions- Widerstand (Mpa)	Rohr-Lochfraß- Korrosions- Widerstand (mm)
		Struktur vor dem Löten	Kristalkorndurch- messer nach dem Löten (µm)					
33	2A	Faser	130	0,6	99,1	Keine	51	0,06
34	2B	Faser	150	0,4	99,2	Keine	52	0,05
35	2C	Faser	60	0,5	98,9	Keine	55	0,07
36	2D	Faser	90	0,6	99,1	Keine	54	0,08
37	2E	Faser	100	0,7	98,4	Keine	41	0,04
38	2F	Faser	170	0,6	99,4	Keine	44	0,09
39	2G	Faser	150	0,6	99,2	Keine	46	0,04
40	2H	Faser	200	0,4	98,9	Keine	40	0,06
41	2I	Faser	160	0,6	98,6	Keine	48	0,04
42	2J	Faser	140	0,7	98,2	Keine	50	0,06
43	2K	Faser	160	0,6	99,8	Keine	40	0,09
44	2L	Faser	230	0,5	99,4	Keine	51	0,08
45	2M	Faser	150	0,5	99,4	Keine	52	0,08
46	2N	Faser	250	0,6	99,1	Keine	50	0,08
47	2O	Faser	200	0,6	99,7	Keine	48	0,07
48	2P	Faser	150	0,7	99,1	Keine	53	0,06
49	2Q	Faser	90	0,6	99,0	Keine	55	0,04

Tabelle 7

Legierung	Zusammensetzung (Gew.-%)					
	Mn	Fe	Si	Cu	Zn	Andere
2a	0,6	0,2	0,5	0,01	2,5	-
2b	2,1	0,2	0,5	0,01	2,5	-
2c	1,2	0,2	0,5	0,00	2,6	Cr 0,4
2d	1,2	0,9	0,5	0,14	2,5	Zr 0,03
2e	1,2	0,2	0,6	0,01	2,4	Zr 0,4
2f	1,2	0,2	1,8	0,00	2,6	-
2g	1,2	0,2	0,5	0,32	2,5	-
2h	1,2	0,2	0,5	0,12	0,3	-
2i	1,3	0,2	0,6	0,01	5,0	-
2j	1,2	0,2	0,5	0,01	2,5	-
2k	1,3	0,2	0,5	0,01	2,5	-
2l	1,3	0,2	0,4	0,12	2,5	-
2m	1,2	0,2	0,4	0,01	2,5	-

Tabelle 8

Test- material	Legierung	Rippenmaterial		Si-Konzentration im Zentrum der Rippenmaterialdicke (%)	Verbindungs- rate	Beulung	Interkristalliner Korrosions- Widerstand (Mpa)	Rohr-Lochfraß- Korrosions- Widerstand (mm)
		Struktur vor dem Löten	Kristalkorndurch- messer nach dem Löten (µm)					
50	2a	Faser	100	0,7	96,5	Keine	22	0,05
51	2b	-	-	-	-	-	-	-
52	2c	-	-	-	-	-	-	-
53	2d	Faser	30	0,5	99,4	Vorhanden	44	0,08
54	2e	-	-	-	-	-	-	-
55	2f	Faser	150	0,6	99,0	Vorhanden	22	0,08
56	2g	Faser	150	0,5	99,5	Keine	11	0,09
57	2h	Faser	130	0,5	99,0	Keine	31	0,22
58	2i	Faser	300	0,7	90,2	Keine	28	0,08
59	2j	Rekristalli- sation	100	0,6	95,8	Keine	50	0,09
60	2k	Faser	100	1,0	98,5	Keine	18	0,06
61	2l	Faser	150	0,9	99,7	Keine	18	0,04
62	2m	Faser	130	1,1	99,3	Keine	11	0,09

Patentansprüche

1. Wärmetauscher, umfassend ein mittels einer Al-Si-Lotlegierung hartgelötetes Aluminiumrippenmaterial, welches ein Rippengrundmaterial aus einer Aluminiumlegierung umfasst, wobei das Aluminiumrippenmaterial zuerst heißgewalzt oder zuerst heißgewalzt und direkt anschließend kaltgewalzt wurde, danach bei Temperaturen von 280°C oder weniger gegläht und anschließend mit einem Abwalzgrad von 5 bis 25% an Enddicke kaltgewalzt wurde, sodass der Kristallkorndurchmesser der Struktur des Rippengrundmaterials zwischen 50 bis 250 µm liegt und wobei das Aluminiumrippenmaterial eine Dicke von 80 µm oder weniger aufweist und das Rippengrundmaterial aus einer Aluminiumlegierung besteht, die die folgenden Bestandteile in Gew.-% aufweist: 0,8 bis 2,0% Mn, 0,05 bis 0,8% Fe, 1,5% oder weniger Silizium, 0,2% oder weniger Kupfer und 0,5 bis 4% Zn, Rest Aluminium und Verunreinigungen, wobei der Gehalt an Silizium über 0% liegt.

2. Wärmetauscher nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Rippengrundmaterial aus einer Aluminiumlegierung besteht, die 0,05 bis 0,3 Gew.-% Zirkon und/oder 0,05 bis 0,3 Gew.-% Chrom aufweist.

3. Wärmetauscher nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Al-Si-Lotlegierung auf das Rippengrundmaterial aufplattiert ist oder war, wobei die Lotlegierung außer Restaluminium und Verunreinigungen bevorzugt 6 bis 13 Gew.-% Silizium, bevorzugt 0,1 Gew.-% oder weniger Kupfer und vorzugsweise 0,5 bis 6 Gew.-% Zink aufweist, und wobei die Lotlegierung als Plattierung auf jeder Seite des Kernmaterials insbesondere eine Dicke von 3 bis 20% der Gesamtdicke, gebildet durch das Rippengrundmaterial und die Lotlegierung, aufweist.

4. Wärmetauscher nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Kupfergehalt des Rippengrundmaterials 0,03 Gew.-% oder weniger beträgt.

5. Wärmetauscher nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Siliziumkonzentration in einer Siliziumlösungszone im Zentrum eines gelöteten Abschnittes des Rippenmaterials 0,7 Gew.-% oder weniger beträgt.

6. Wärmetauscher nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Siliziumkonzentration in der Lösungszone an der Rippenoberfläche nach dem Löten 0,8 Gew.-% oder mehr und im Zentrum des Rippenmaterials 0,7% oder weniger beträgt.

7. Wärmetauscher nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Aluminiumrippenmaterial gewellt ist.

8. Verfahren zur Herstellung eines Wärmetauschers mit Aluminiumrippenmaterial mit den folgenden Schritten:

- Bereitstellen einer Aluminium-Legierung für das Rippengrundmaterial (Kernmaterial) des Aluminiumrippenmaterials oder Zusammenfügen einer Aluminium-Legierung für das Rippengrundmaterial (Kernmaterial) und einer Aluminium-Legierung für das Lotmaterial;
- Heißwalzen oder Heißwalzen mit direkt anschließendem Kaltwalzen des resultierenden Materials oder Verbundmaterials;
- Glühen des resultierenden Materials bei Temperaturen von 280°C oder weniger und anschließendes Kaltwalzen mit einem Abwalzgrad von 5 bis 25% auf eine Dicke von 0,08 mm oder weniger, so dass der Kristallkorndurchmesser der Struktur des Rippengrundmaterials zwischen 50 bis 250 µm liegt;
- Besäumen und Wellen des resultierenden Materials;

wobei das Rippengrundmaterial aus einer Aluminiumlegierung besteht, welche die folgenden Bestandteile in Gew.-% aufweist: 0,8 bis 2,0% Mn, 0,05 bis 0,8% Fe, 1,5% oder weniger Silizium, 0,2% oder weniger Kupfer und 0,5 bis 4% Zn und Rest Aluminium und Verunreinigungen, wobei der Gehalt an Silizium über 0% liegt; Herstellen des Wärmetauschers durch Hartlöten des Aluminiumrippenmaterials mit einem Rohrmaterial.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Lotmaterial vorzugsweise 6 bis 13 Gew.-% Silizium, vorzugsweise maximal 0,1 Gew.-% Kupfer, vorzugsweise 0,5 bis 6 Gew.-% Zink, und Rest Aluminium und Verunreinigungen aufweist, wobei insbesondere das Lotmaterial als Plattierung auf jeder Seite des Kernmaterials eine Dicke von 3 bis 20% der Gesamtdicke, gebildet durch das Rippenmaterial und das Lotmaterial, aufweist, und dass das Rippengrundmaterial vorzugsweise 0,05 bis 0,3 Gew.-% Zirkon und vorzugsweise 0,05 bis 0,3 Gew.-% Chrom aufweist.

10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass nach dem Bereitstellen der Aluminium-Legierung für das Rippengrundmaterial (Kernmaterial) das Rippengrundmaterial (Kernmaterial) mit einer Aluminium-Legierung für das Lotmaterial zusammengefügt wird und vorzugsweise beide Legierungen (Kernmaterial und Lotmaterial) durch ein halbkontinuierliches Gießverfahren mit anschließender Homogenisierung nach konventioneller Methode hergestellt werden und das Lötmaterial anschließend heißgewalzt und auf das homogenisierte Kernmaterial aufplattiert wird.

Es folgt kein Blatt Zeichnungen