

(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
23. August 2007 (23.08.2007)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2007/093388 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:

B23K 1/00 (2006.01) F27B 9/04 (2006.01)
B23K 1/008 (2006.01) F28F 21/08 (2006.01)
B23K 1/012 (2006.01)

Kornthal-Münchingen (DE). VÖLKER, Cord [DE/DE];
Fritz-Häsuer-Str. 20, 71522 Backnang (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2007/001242

(22) Internationales Anmeldedatum:
13. Februar 2007 (13.02.2007)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2006 006 768.1
13. Februar 2006 (13.02.2006) DE

(81) Bestimmungsstaaten (*soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart*): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(71) Anmelder (*für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US*): BEHR GMBH & CO. KG [DE/DE]; Mauserstr. 3, 70469 Stuttgart (DE).

(84) Bestimmungsstaaten (*soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart*): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(72) Erfinder; und
(75) Erfinder/Anmelder (*nur für US*): ABELL, Bradley, Davis [DE/DE]; Rennstr. 33, 70499 Stuttgart (DE). FÖRSTER, Klaus, Dieter [DE/DE]; Schösslesweg 3, 71640 Ludwigsburg (DE). GRÜNENWALD, Bernd [DE/DE]; Börlenbergweg 2, 72622 Nürtingen (DE). JENSEIT, Andreas [DE/DE]; Christina-Blind-Str. 9, 70825

Veröffentlicht:
— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

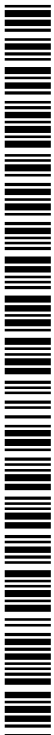
Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: METHOD FOR SOLDERING COMPONENTS

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM LÖTEN VON BAUTEILEN

(57) Abstract: The invention relates to a method for soldering components, in particular heat exchangers, in particular made of aluminium materials, aluminium alloys or wrought alloys, in a soldering furnace, in particular a continuous soldering furnace or a batch-type soldering furnace, which comprises a muffle, which is flushed with protective gas in order to create a protective atmosphere. In order to make the production of soldered components easier, during the soldering of the components the muffle is supplied with such a greatly increased amount of gas, in particular protective gas or reaction gas, that a low-oxygen protective atmosphere is created.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Löten von Bauteilen, insbesondere von Wärmeübertragern, insbesondere aus Aluminiumwerkstoffen, Aluminiumlegierungen oder Knetlegierungen, in einem Lötöfen, insbesondere einem Durchlauflötofen oder einem Batch-Type-Lötöfen, der eine Muffel umfasst, die mit Schutzgas gespült wird, um eine Schutzgasatmosphäre zu schaffen. Um die Herstellung von gelöteten Bauteilen zu vereinfachen, wird der Muffel beim Löten der Bauteile eine so stark überhöhte Menge Gas, insbesondere Schutzgas oder Reaktionsgas, zugeführt, dass eine sauerstoffarme Schutzgasatmosphäre geschaffen wird.



WO 2007/093388 A2

5

10

Verfahren zum Löten von Bauteilen

15

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Löten von Bauteilen, insbesondere von Wärmeübertragern, insbesondere aus Aluminiumwerkstoffen, Aluminiumlegierungen oder Knetlegierungen, in einem Lötoven, insbesondere einem Durchlauflötofen oder einem Batch-Type-Lötoven, der eine Muffel umfasst, die mit Schutzgas gespült wird, um eine Schutzgasatmosphäre zu schaffen.

20

25

30

35

Das Löten von Aluminium-Wärmetauschern wird in so genannten Schutzgas-Durchlauföfen mit Flussmittel durchgeführt. Im Bereich der Ofenmuffel hat die Ofenatmosphäre zwischen einer Eintrittsöffnung und einer Ausgangsöffnung einen Sauerstoffgehalt von circa 500 ppm im Eingangsbereich und circa 40 ppm im so genannten Lötbereich. Mit einem derartigen Sauerstoffgehalt in der Ofenatmosphäre ist ein flussmittelfreies Löten kaum oder nicht möglich. Flussmittel sind nichtmetallische Stoffe, die vor Erreichen der Schmelztemperatur des Lotes schmelzen und die zu lötende Oberfläche benetzen. Dadurch wird eine sich auf der Oberfläche von Aluminium und der Sauerstoffatmosphäre bildende Oxidschicht gelöst oder weggeschwemmt. Das Flussmittel verhindert gleichzeitig eine neue Oxidation der Oberfläche durch in der Ofenatmosphäre vorhandenen Restsauerstoff. Bekannte Lötverfahren mit Flussmittel sind das Nocolok-Verfahren und das CAB-Lötverfahren (Controlled Atmosphere Brazing). Das Aufbringen des Flussmittels ist aufwendig und kostenintensiv. Darüber hinaus sind die Bauteile nach

- 2 -

dem Löten mit Flussmittel beaufschlagt, was insbesondere bei der Verwendung von chloridischen Flussmitteln einen aufwendigen Reinigungsvorgang appliziert. Weitere Nachteile bei der Flussmittellötung sind: Kosten des Flussmittels, Invest- und Betriebskosten der Befluxungseinrichtung, Abfallentsorgung, Staub und Umweltbelastung, Trocknen/Erhitzen der Bauteile nach der Befluxung, Energieaufwand, Invest- und Betriebskosten des Trockenofens, Platzbedarf, Flussmittel auf der Oberfläche der Werkstücke, Flussmittelrückstände im Medienkreislauf. Aus der europäischen Patentschrift EP 0 781 623 B1 ist ein Verfahren zur Herstellung von hartgelöteten Aluminiumwärmetauschern bekannt, bei dem spezielle Wärmetauscher in CAB-Lötöfen teilweise ohne Flussmittel gelötet werden.

Es ist auch möglich, die Wärmetauscher aus Aluminium in Ein- oder Mehrkammervakuumöfen unter Vakuum zu verlöten. Dabei erfolgt das Aufreißen der vorhandenen Oxidhaut durch die unterschiedliche thermische Ausdehnung von Aluminiumoxid und reinem Metall, sowie das Abdampfen von Magnesium aus Lot und Grundwerkstoff bei hohen Temperaturen. Durch Evakuieren des Rezipienten wird Sauerstoff von den zu lötenen Teilen ferngehalten. Diese geringe Sauerstoffkonzentration im Ofensystem verhindert, dass die freigelegte Oberfläche der Grundwerkstoffe und die Oberfläche des schmelzflüssigen Lotes sich während des Lötens wieder mit einer Oxidhaut überziehen. Zum Löten im Vakuum sind jedoch technisch aufwendige und somit teure Lötanlagen erforderlich. Des Weiteren müssen die zu verlötenden Teile absolut sauber sein, was nur durch eine kostenintensive Vorbehandlung zu gewährleisten ist. Weitere Nachteile beim Vakuum-Löten sind der hohe Wartungs- und Instandhaltungsaufwand sowie die hohen Anforderungen an die Oberflächenqualität sowie die Passgenauigkeit der Bauteile.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zu schaffen, durch das die Herstellung von gelöteten Bauteilen, insbesondere von Wärmeübertragern, insbesondere aus Aluminiumwerkstoffen, Aluminiumlegierungen oder Knetlegierungen, in einem Lötöfen, insbesondere einem Durchlauflötöfen oder einem Batch-Type-Lötöfen, der eine Muffel umfasst, die mit Schutzgas gespült wird, um eine Schutzgasatmosphäre zu schaffen, vereinfacht wird.

- 3 -

Die Aufgabe ist bei einem Verfahren zum Löten von Bauteilen, insbesondere von Wärmeübertragern, insbesondere aus Aluminiumwerkstoffen, Aluminiumlegierungen oder Knetlegierungen, in einem Lötöfen, insbesondere einem Durchlauföfen oder einem Batch-Type-Lötöfen, der eine Muffel umfasst, die mit Schutzgas gespült wird, um eine Schutzgasatmosphäre zu schaffen, dadurch gelöst, dass der Lötöfenmuffel beim Löten der Bauteile eine so stark überhöhte Menge Gas, insbesondere Schutzgas oder Reaktionsgas, zugeführt wird, dass eine sauerstoffarme Schutzgasatmosphäre geschaffen wird. Durch die Zuführung der stark überhöhten Schutzgasmenge wird die Schutzgasatmosphäre so verbessert, dass die Bauteile ohne Zusatz von Flussmitteln gelötet werden können. Das erfindungsgemäße Verfahren wird vorzugsweise in so genannten Schutzgas-Durchlauföfen angewendet. Bei der Erfindung kann, aber muss nicht, vollständig auf den Einsatz von Flussmitteln verzichtet werden. Eine partielle Zugabe von Flussmittel auf beziehungsweise an das Bauteil ist möglich und hat keinen negativen Einfluss auf Bereiche des Bauteils, die flussmittelfrei gelötet werden.

Beim Vakuum-Löten bedingt das benötigte Hochvakuum für die Vakuumofensysteme einen sehr hohen technischen Aufwand. Daher sind Vakuumofensysteme sehr kostenintensiv in der Beschaffung und aufwendig im Betrieb. Auch an die Reinheit der Oberfläche der zu verlötenden Bauteile von Verunreinigungen (Schmutz, Staub, Späne, Oxidschichten, Reste und Spuren von Fertigungshilfsmitteln) werden hohe Anforderungen gestellt.

Die Nachteile bei der Verwendung von Flussmitteln zum Löten von Aluminium variieren je nach verwendetem Flussmittelsystem. Generell gilt, dass die Applikation des Flussmittels einen zusätzlichen Schritt in der Fertigungskette darstellt, der mit Aufwand in der Anlagentechnik und für das Bedienpersonal einhergeht. Zum Schutz der Mitarbeiter und der Umwelt vor Flussmittelflüchtigkeit, Flussmittelnebel, Flussmittelstaub oder Flussmitteldampf muss ein entsprechender sicherheits- und umwelttechnischer Aufwand betrieben werden. Korrosive Flussmittel, wie zum Beispiel die chloridischen Flussmittel, müssen nach dem Lötvorgang umgehend wieder mit hohem Aufwand und großer Sorgfalt von dem Wärmetauscher entfernt werden, da sie ansonsten

- 4 -

das Material und die Verbindungsstellen des gefertigten Wärmeübertragers auf Grund ihrer korrosiven Wirkung angreifen und so seine technische Funktionsfähigkeit beeinträchtigen.

- 5 Spezielle nichtkorrosive Flussmittel, wie das Nocolok-Flussmittel, benötigen für ihr Funktionieren eine Schutzgasatmosphäre mit einer sehr geringen Restsauerstoffkonzentration, die vorzugsweise kleiner als 200 ppm Sauerstoff ist. Dies ist nur in einer aufwendig hergestellten, ständig überwachten und nachgeregelten Atmosphäre eines geschlossenen und mit dem Schutzgas in Stickstoff gefluteten Ofensystems möglich. Ein solches Lötensystem wird als CAB-System (Controlled Atmosphere Brazing) bezeichnet.

Der Wirktemperaturbereich des Flussmittels muss den Arbeitsbereich des verwendeten Lotes abdecken. Erfolgt keine sorgfältige Abstimmung von Lot und Flussmittel, ist keine Verlötung möglich. Die Wirkdauer von Flussmitteln ist begrenzt. Daraus erfolgt, dass der Lötvorgang in einem eng begrenzten Zeitfenster abgeschlossen sein muss. Bei der Verwendung von Flussmitteln führen schon geringe Magnesiumgehalte in den Legierungen der Bauteile zu einer Verschlechterung der Lötbarkeit. Das geht zum einen auf eine dreimal höhere Oxidationsrate von Werkstoffen mit Magnesiumzusatz im Vergleich zu Magnesium freien Werkstoffen zurück. Zum anderen sind die sich bildenden einfachen und komplexen Oxide des Magnesiums, wie Magnesiumoxid (MgO) und Magnesium-Aluminium-Oxid ($MgAl_2O_4$), in Flussmittel nur gering löslich. Des Weiteren reagieren diese Magnesiumoxide mit dem Flussmittel und bilden beispielsweise bei dem Produkt Nocolok Magnesiumfluoride, welche die Wirksamkeit des Flussmittels zusätzlich stark einschränken.

Dieser erzwungene Verzicht der Magnesiumlegierung führt jedoch zu deutlichen Nachteilen bei den Eigenschaften der verwendeten Aluminiumlegierungen im Bezug auf Festigkeitseigenschaften sowie der Korrosionsbeständigkeit.

Die Erfindung nutzt beim Löten von Wärmetauschern die Vorteile der aktuellen Techniken aus dem Stand der Technik, Flussmittellöten und Vakuumlöten, ohne ihre Nachteile aufzuweisen, in Kombination mit der Anwendung

- 5 -

spezieller Werkstoffe. Zugleich entfallen durch das erfindungsgemäße Lötverfahren sämtliche Flussmittel und die mit ihnen verbundenen Nachteile, wie zusätzlicher Arbeitsaufwand, zusätzliche Fertigungsanlagen oder Reinigungs- und Schutzmaßnahmen.

5

Darüber hinaus stellt die Verwendung von magnesiumhaltigen Wellrippenlegierungen kein Problem mehr für die Fertigung von Wärmeübertragern dar, wie dies bei der Verwendung von Flussmittelsystemen der Fall ist. Dadurch wird die Verwendung von Aluminiumlegierungen mit Magnesiumgehalten größer 0,2 % und kleiner 2,0 %, vorzugsweise kleiner 1,0 % beim flussmittel-

10 freien Löten von Wärmeübertragern in CAB-Lötöfen möglich. Das führt zu entscheidenden Verbesserungen der Festigkeitseigenschaften sowie der Korrosionsbeständigkeit der verwendeten Aluminiumwerkstoffe. Des Weiteren können durch Einschränkungen von speziellen Elementen im Grund-

15 werkstoff, wie auch im Lot, die Benetzungseigenschaften des Grundwerkstoffs beziehungsweise des Lotes gezielt verbessert werden. Zu den Elementen, die sich hierbei als besonders kritisch erweisen, zählen Kupfer (Cu), Eisen (Fe), Magnesium (Mg), Chrom (Cr), Titan (Ti) und Strontium (Sr). Zwar kann durch eine gezielte Lötprozesssteuerung auch ohne die im Folgenden

20 aufgeführten bevorzugten Bereiche eine unter Umständen ausreichende Lötverbindung erzielt werden, jedoch ist dies unter wirtschaftlichen Aspekten nicht sinnvoll, da sowohl die Ofenatmosphäre kleinere Sauerstoffgehalte als 20 ppm haben sollte, als auch die Lötzeit verlängert werden muss.

25 Für das erfindungsgemäße Lötverfahren wird bevorzugt ein CAB-Ofensystem (Durchlaufofen oder Batch-Ofen) verwendet, auf dem flussmittelfrei ohne aufwendiges Vakuum-Ofensystem gelötet werden kann.

Ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass das Gas mindestens ein Edelgas der achten Hauptgruppe

30 des Periodensystems der Elemente, Wasserstoff, Stickstoff, Kohlendioxid, Kohlenmonoxid, Ammoniak und/oder Spaltgasprodukte aus Erdgas umfasst.

Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass der Muffel beim Löten der Bauteile eine so stark über-

35

- 6 -

höhte Gasmenge zugeführt wird, dass der Sauerstoffgehalt der Schutzgasatmosphäre, insbesondere in einem Eintrittsbereich des Lötovens, deutlich geringer als 500 ppm (parts per million) ist. Durch den Einsatz der höheren Gasmenge, insbesondere Stickstoffmenge, wird das Eindringen beziehungsweise Einschleppen von Luft oder deren Bestandteile in den Lötoven verhindert oder zumindest stark reduziert.

Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass der Muffel beim Löten der Bauteile eine so stark überhöhte Gasmenge zugeführt wird, dass der Sauerstoffgehalt der Schutzgasatmosphäre, insbesondere in einem Lötbereich des Lötovens, geringer als 50 ppm (parts per million), insbesondere deutlich geringer als 40 ppm (parts per million), ist. Besonders bevorzugt enthält die Schutzgasatmosphäre oder Lötovenatmosphäre weniger als 30 ppm (parts per million) Sauerstoff. Durch den Einsatz der höheren Gasmenge wird die Menge von Oxid bildenden Substanzen, wie Sauerstoff, in der Schutzgasatmosphäre deutlich verringert.

Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass die Schutzgasatmosphäre beim Löten über Raumtemperatur aufgeheizt wird. Eine vorhandene Oxidschicht wird beim Aufheizen aufgerissen. Durch die dabei entstehenden oxidfreien Spalte, Risse oder Flächen kann zum Beispiel Magnesium aus einem Kernwerkstoff und/oder einer Lotplattierung der Bauteile an die Oberfläche gelangen. Das Magnesium wirkt an der Oberfläche als Benetzungsförderer.

Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass die Objekttemperatur im Lötoven oberhalb 300 Grad Celsius liegt. Bei dieser Objekttemperatur ist der Feuchtigkeitsanteil in der Lötovenatmosphäre zu beachten.

Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass der Taupunkt in der Lötovenatmosphäre unterhalb von minus 45 Grad Celsius liegt. Dieser Wert hat sich im Rahmen der vorliegenden Erfindung als besonders vorteilhaft erwiesen.

- 7 -

Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass während der Aufheizphase im Lötöfen in einem Temperaturbereich von 400 bis 615 Grad Celsius eine minimale Zeit von drei Minuten nicht unterschritten wird. Besonders bevorzugt werden für den Temperaturbereich von 400 bis 615 Grad Celsius Zeiten von vier bis acht Minuten eingestellt. Durch das erfindungsgemäße Zeit-Temperatur-Profil im Lötöfen wird die Lotbenetzung verbessert beziehungsweise ermöglicht.

Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass ein Kennwert SQ, der dem Quotient einer Division der Gasmenge, insbesondere der Schutzgasmenge, durch den Querschnitt des Lötöfens entspricht, größer als 250 Meter pro Stunde eingestellt wird. Besonders bevorzugt werden für den Kennwert SQ Werte zwischen 500 und 750 Meter pro Stunde eingestellt. Die Einstellung eines höheren Kennwerts ist möglich, jedoch nicht zwingend notwendig.

Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass ein Kennwert SO, der dem Quotient einer Division der Gasmenge, insbesondere der Schutzgasmenge, durch das beheizte Volumen des Lötöfens entspricht, größer als 25 pro Stunde eingestellt wird. Besonders bevorzugt werden für den Kennwert SO Werte zwischen 45 und 70 pro Stunde eingestellt. Die Einstellung eines höheren Kennwerts ist möglich, jedoch nicht zwingend notwendig.

Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass ein Kennwert SB, der dem Quotient einer Division der Gasmenge, insbesondere der Schutzgasmenge, durch die Größe der Bauteiloberfläche entspricht, kleiner als 6 Meter pro Stunde eingestellt wird. Besonders bevorzugt werden für den Kennwert SB Werte eingestellt, die kleiner als 1,5 Meter pro Stunde sind.

Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass ein Kennwert SM, der dem Quotient einer Division der Gasmenge, insbesondere der Schutzgasmenge, durch die Größe der beheizten Muffelinnenoberfläche des Lötöfens entspricht, größer als 3 Meter

- 8 -

pro Stunde eingestellt wird. Besonders bevorzugt werden für den Kennwert SM Werte zwischen 6 und 9 Meter pro Stunde. Die Einstellung eines höheren Kennwerts ist möglich, jedoch nicht zwingend notwendig.

5 Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass ein Kennwert MB, der dem Quotient einer Division der Größe der beheizten Muffelinnenoberfläche durch die Größe der Bauteiloberfläche entspricht, kleiner als 0,7 eingestellt wird. Besonders bevorzugt werden für den Kennwert MB Werte, die kleiner als 0,3 sind.

10

Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens betrifft das Löten von Wärmeübertragern mit Leiteinrichtungen, insbesondere Wellrippen, aus einem Aluminium-Grundwerkstoff. Besonders bevorzugt bestehen Rohre und/oder Scheiben der Wärmeübertrager ebenfalls aus genau einem oder mehreren Aluminium-Grundwerkstoffen, insbesondere dem Aluminium-Grundwerkstoff der Leiteinrichtungen.

15

Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass der Aluminium-Grundwerkstoff der Leiteinrichtungen bis zu 1,2 Prozent Silizium enthält. Besonders bevorzugt enthält der Aluminium-Grundwerkstoff der Leiteinrichtungen 0,2 bis 0,6 Prozent Silizium.

20

Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass der Aluminium-Grundwerkstoff der Leiteinrichtungen bis 0,7 Prozent Eisen enthält. Besonders bevorzugt enthält der Aluminium-Grundwerkstoff der Leiteinrichtungen bis zu 0,4 Prozent Eisen.

25

Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass der Aluminium-Grundwerkstoff der Leiteinrichtungen bis zu 0,3 Prozent Kupfer enthält.

30

Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass der Aluminium-Grundwerkstoff der Leiteinrichtungen bis zu 2,0 Prozent, bevorzugt bis zu 1,0 Prozent Mangan enthält.

35

5 Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass der Aluminium-Grundwerkstoff der Leiteinrichtungen bis zu 1,0 Prozent Magnesium enthält. Besonders bevorzugt enthält der Aluminium-Grundwerkstoff der Leiteinrichtungen bis zu 0,5 Prozent Magnesium.

10 Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass der Aluminium-Grundwerkstoff der Leiteinrichtungen bis zu 0,5 Prozent Chrom enthält. Besonders bevorzugt enthält der Aluminium-Grundwerkstoff der Leiteinrichtungen bis zu 0,2 Prozent Chrom.

15 Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass der Aluminium-Grundwerkstoff der Leiteinrichtungen bis zu 4,5 Prozent, bevorzugt bis zu 2,5 Prozent Zink enthält.

Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass der Aluminium-Grundwerkstoff der Leiteinrichtungen bis zu 0,2 Prozent Titan enthält.

20 Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass der Aluminium-Grundwerkstoff der Leiteinrichtungen bis zu 0,2 Prozent Zinn enthält.

25 Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass der Aluminium-Grundwerkstoff der Leiteinrichtungen bis zu 0,2 Prozent Zirkonium enthält.

30 Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass der Aluminium-Grundwerkstoff der Leiteinrichtungen bis zu 0,05 Prozent Bismut oder Wismut enthält.

35 Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass der Aluminium-Grundwerkstoff der Leiteinrichtungen bis zu 0,05 Prozent Strontium enthält.

- 10 -

Ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens betrifft das Löten von Wärmeübertragern mit Rohren und/oder Scheiben aus einem Aluminium-Grundwerkstoff.

5 Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass der Aluminium-Grundwerkstoff der Rohre und/oder Scheiben bis zu 1,2 Prozent Silizium enthält.

10 Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass der Aluminium-Grundwerkstoff der Rohre und/oder Scheiben bis zu 0,7 Prozent Eisen enthält. Besonders bevorzugt enthält der Aluminium-Grundwerkstoff der Rohre und/oder Scheiben bis zu 0,3 Prozent Eisen.

15 Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass der Aluminium-Grundwerkstoff der Rohre und/oder Scheiben 0,1 bis 1,2 Prozent Kupfer enthält. Besonders bevorzugt enthält der Aluminium-Grundwerkstoff der Rohre und/oder Scheiben 0,3 bis 0,8 Prozent Kupfer.

20 Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass der Aluminium-Grundwerkstoff der Rohre und/oder Scheiben bis zu 2,0 Prozent Mangan enthält.

25 Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass der Aluminium-Grundwerkstoff der Rohre und/oder Scheiben bis zu 2,0 Prozent, bevorzugt bis zu 1,0 Prozent Magnesium enthält. Besonders bevorzugt enthält der Aluminium-Grundwerkstoff der Rohre und/oder Scheiben 0,1 bis 0,3 Prozent Magnesium.

30 Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass der Aluminium-Grundwerkstoff der Rohre und/oder Scheiben bis zu 0,5 Prozent Chrom enthält. Besonders bevorzugt enthält der Aluminium-Grundwerkstoff der Rohre und/oder Scheiben bis zu 0,2 Prozent Chrom.

35

Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass der Aluminium-Grundwerkstoff der Rohre und/oder Scheiben bis zu 5,0 Prozent Zink enthält.

5

Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass der Aluminium-Grundwerkstoff der Rohre und/oder Scheiben bis zu 0,3 Prozent Titan enthält. Besonders bevorzugt enthält der Aluminium-Grundwerkstoff der Rohre und/oder Scheiben bis zu 0,1 Prozent Titan.

10

Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass der Aluminium-Grundwerkstoff der Rohre und/oder Scheiben bis zu 0,05 Prozent Zinn enthält.

15

Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass der Aluminium-Grundwerkstoff der Rohre und/oder Scheiben bis zu 0,2 Prozent Zirkonium enthält.

20

Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass der Aluminium-Grundwerkstoff der Rohre und/oder Scheiben bis zu 0,05 Prozent Bismut oder Wismut enthält.

25

Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass der Aluminium-Grundwerkstoff der Rohre und/oder Scheiben bis zu 0,05 Prozent Strontium enthält.

30

Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens betrifft das Löten von Wärmeübertragern mit Leiteinrichtungen, insbesondere Wellrippen, und/oder Rohren und/oder Scheiben, die mit einer Lotplattierung versehen sind. Vorzugsweise enthält die Lotplattierung hauptsächlich Aluminium.

35

Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass die Lotplattierung 6 bis 20 Prozent Silizium enthält. Besonders bevorzugt enthält die Lotplattierung 7 bis 11 Prozent Silizium.

Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass die Lotplattierung bis zu 0,8 Prozent Eisen enthält. Besonders bevorzugt enthält die Lotplattierung bis zu 0,2 Prozent Eisen.

5

Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass die Lotplattierung bis zu 1,0 Prozent Kupfer enthält. Besonders bevorzugt enthält die Lotplattierung bis zu 0,3 Prozent Kupfer.

10

Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass die Lotplattierung bis zu 0,15 Prozent Mangan enthält.

Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass die Lotplattierung bis zu 2,5 Prozent Magnesium enthält. Besonders bevorzugt enthält die Lotplattierung bis zu 0,2 Prozent, bevorzugt bis zu 0,1 Prozent Magnesium.

15

Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass die Lotplattierung bis zu 0,05 Prozent Chrom enthält.

20

Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass die Lotplattierung bis zu 4,5 Prozent, bevorzugt bis zu 4,0 Prozent Zink enthält. Besonders bevorzugt enthält die Lotplattierung bis zu 2,0 Prozent Zink.

25

Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass die Lotplattierung bis zu 0,2 Prozent Titan enthält. Besonders bevorzugt enthält die Lotplattierung bis zu 0,1 Prozent Titan.

30

Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass die Lotplattierung bis zu 0,05 Prozent Zinn enthält.

Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass die Lotplattierung bis zu 0,05 Prozent Zirkonium enthält.

35

Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass die Lotplattierung bis zu 0,3 Prozent Bismut oder Wismut enthält. Besonders bevorzugt enthält die Lotplattierung bis zu 0,1
5 Prozent Bismut oder Wismut.

Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass die Lotplattierung bis zu 0,2 Prozent Strontium enthält. Besonders bevorzugt enthält die Lotplattierung bis zu 0,05 Prozent Stronti-
10 um.

Bevorzugt wird das erfindungsgemäße Verfahren eingesetzt zum Löten von Wärmeübertragern mit Strömungseinrichtungen, insbesondere Rohren und/oder Scheiben, und/oder Leiteinrichtungen, insbesondere Wellrippen,
15 jeweils mit oder ohne eine Lotplattierung, aus einem oder mehreren Aluminium-Grundwerkstoffen.

Bevorzugt enthält einer der Aluminium-Grundwerkstoffe 0,7 bis 2 Prozent, bevorzugt 1 bis 1,5 Prozent Mangan. Hierdurch werden die mechanischen
20 Eigenschaften des Aluminium-Grundwerkstoffs positiv beeinflusst.

Der Erfindung liegt unter Anderem die Erkenntnis zugrunde, dass ein höherer Eisen-Gehalt einer guten Benetzbarkeit des Kernwerkstoffs mit Lotmaterial entgegen steht, da offenbar benetzungshemmende Eisen-Mangan-
25 Ausscheidungen gebildet werden können. Vorteilhafterweise enthält daher der Aluminium-Grundwerkstoff weniger als 0,40 Prozent, bevorzugt weniger als 0,25 Prozent, besonders bevorzugt weniger als 0,20 Prozent Eisen. Ein Eisen-Gehalt über 0,20 Prozent kann durch eine erhöhte Lötzeit kompensiert werden, wobei ab etwa 0,25 Prozent Eisen-Gehalt gegebenenfalls ein Tem-
30 peraturprofil über die Lötzeit leicht angepasst werden muss, um ein gutes Lötresultat zu erreichen.

Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass die Muffel aus einem Muffelwerkstoff gebildet ist, der
35 Edelstahl umfasst. Der Muffelwerkstoff besteht dabei bevorzugt aus Edel-

5 stahl 316L oder 316LL. Es kann jedoch auch ein anderer als Muffelmaterial geeigneter Edelstahl verwendet werden. Auch bezüglich des Ofendesigns sind alle typischen Varianten, wie zum Beispiel ein reiner Strahlungsöfen, ein Ofen mit einer Konvektionvorheizzone, die mit einer nachfolgenden Strahlungszone gekoppelt ist, oder ein Ofentyp mit kompletter Konvektionstechnik geeignet.

10 Ein weiteres bevorzugtes Ausführungsbeispiel des Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass während einer Aufheizphase im Lötöfen in einem Temperaturbereich von minus 30 bis minus 50 Kelvin vor Erreichen der Solidustemperatur des Lotes eine minimale Zeit von zwei Minuten nicht unterschritten wird. Besonders bevorzugt werden für den Temperaturbereich von minus 30 bis minus 50 Kelvin vor Erreichen der Solidustemperatur des Lotes Zeiten von zwei bis fünf Minuten eingestellt. Zeiten oberhalb von sechs Minuten sind ebenfalls möglich, jedoch aus wirtschaftlichen Gründen nicht sinnvoll.

20 Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung, in der unter Bezugnahme auf die Zeichnung verschiedene Ausführungsbeispiele im Einzelnen beschrieben sind. Es zeigt:

25 **Figur 1** eine Tabelle mit Werkstoffen und Loten, die mit dem erfindungsgemäßen Verfahren bevorzugt verwendbar sind.

30 Die Erfindung betrifft das Löten von Aluminiumwärmetauschern in Schutzgas-Durchlauflötöfen. Ein Schutzgas-Durchlauflötöfen umfasst ein Gehäuse mit einem Eingang und einem Ausgang für Bauteile. Der Gehäuseeingang für die Bauteile wird auch als Eintrittsbereich des Lötöfens bezeichnet. Der Gehäuseausgang für die Bauteile wird auch als Austrittsbereich des Lötöfens bezeichnet. Zwischen dem Eintrittsbereich und dem Austrittsbereich ist in dem Innenraum des Lötöfens eine Muffel ausgebildet, die mit Schutzgas gespült wird.

- 15 -

Bei herkömmlichen Schutzgas-Durchlauflötofen herrscht im Betrieb im Bereich der Ofenmuffel zwischen der Eintrittsöffnung und der Austrittsöffnung eine Ofenatmosphäre mit einem Sauerstoffgehalt von circa 500 ppm (parts per million) im Eingangsbereich und circa 40 ppm im Lötbereich. Mit derartigen Sauerstoffgehalten in der Ofenatmosphäre ist ein flussmittelfreies Löten nicht möglich. Gemäß einem wesentlichen Aspekt der vorliegenden Erfindung wird durch eine stark erhöhte Zugabe des Schutzgases, vorzugsweise Stickstoffs, die Schutzgasatmosphäre in dem Lötöfen so verbessert, dass Wärmetauscher ohne Zusatz von Flussmitteln gelötet werden können.

5

10 Durch die stark überhöhte Stickstoffmenge wird in dem Lötöfen eine so sauerstoffarme Atmosphäre geschaffen, dass das Löten der Bauteile ohne Flussmittel erfolgen kann. Durch den Einsatz der höheren Stickstoffmenge wird das Eindringen beziehungsweise Einschleppen von Luft oder deren Bestandteile in den Lötöfen verhindert. Dadurch kann der Gehalt an Oxid bildenden Substanzen, insbesondere Sauerstoff, im Lötöfen deutlich verringert werden.

15

20 Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren kann, aber muss nicht vollständig auf den Einsatz von Flussmitteln verzichtet werden. Eine Dotierung des einströmenden Schutzgases mit Flussmittel oder reduzierenden Substanzen in fester, flüssiger oder gasförmiger Form kann frei gewählt werden. Durch den massiven Einsatz des Schutzgases wird während des Lötprozesses im Temperaturbereich über Raumtemperatur eine unerwünschte Oxidation der Aluminiumoberfläche extrem verringert beziehungsweise praktisch unterbunden. Eine vorhandene Oxidschicht wird beim Aufheizen aufgerissen. Durch die entstehenden oxidfreien Spalte, Risse und/oder Flächen kann Magnesium, das aus dem Kernwerkstoff und/oder einer Lotplattierung stammt, an die Oberfläche gelangen. Das Magnesium an der Oberfläche wirkt als Benetzungsförderer. Anstelle von Magnesium können auch Elemente der zweiten und fünften Hauptgruppe des Periodensystems der Elemente einzeln oder in Kombination sowie in unterschiedlichen Mischungen und Konzentrationen eingesetzt werden.

25

30

- 16 -

Das erfindungsgemäße Verfahren liefert unter anderem den Vorteil, dass die Kosten für das Flussmittel eingespart werden können. Darüber hinaus können die Kosten für die Anschaffung und den Betrieb einer Befluxungseinrichtung entfallen. Des Weiteren werden die Kosten für die Abfallentsorgung reduziert. Außerdem verringert sich die Staub- und Umweltbelastung. Das Erhitzen der Bauteile zur Trocknung nach der Befluxung kann entfallen. Dadurch reduziert sich der erforderliche Energieaufwand erheblich.

Bei der flussmittelfreien Lötung ist ein Sauerstofflevel kleiner 50 ppm oberhalb 300 Grad Celsius Objekttemperatur im Lötöfen anzustreben. Des Weiteren ist der Feuchtigkeitsanteil in der Lötöfenatmosphäre zu beachten. Es ist ein Taupunkt kleiner minus 45 Grad Celsius in der Lötöfenatmosphäre anzustreben. Des Weiteren sind die folgenden Kennwerte zu beachten.

Schutzgasmenge $[\text{Nm}^3/\text{h}]/\text{Ofenquerschnitt} [\text{m}^2] = \text{Kennwertkürzel SQ} [\text{m}/\text{h}]$.
Der Kennwert SQ ist $> 250 \text{ m}/\text{h}$ einzustellen. Normalerweise sollte der Wert zwischen $500 \text{ m}/\text{h}$ und $750 \text{ m}/\text{h}$ eingestellt werden. Die Einstellung eines höheren Kennwerts ist möglich, jedoch nicht zwingend notwendig.

Die Bezeichnung Nm steht im Rahmen der vorliegenden Erfindung für Normmeter. Als Normmeter wird ein Maß von $1,0 \text{ m}$ bei einer Normtemperatur von 20 Grad Celsius und einem Normdruck von 1 bar bezeichnet.

Schutzgasmenge $[\text{Nm}^3/\text{h}]/\text{beheiztes Ofenvolumen} [\text{m}^3] = \text{Kennwertkürzel SO} [1/\text{h}]$. Der Kennwert SO ist $> 25 1/\text{h}$ einzustellen. Optimalerweise sollten Werte zwischen $45 1/\text{h}$ und $70 1/\text{h}$ eingestellt werden. Die Einstellung eines höheren Kennwerts ist möglich, jedoch nicht zwingend notwendig.

Schutzgasmenge $[\text{Nm}^3/\text{h}]/\text{Bauteiloberfläche} [\text{m}^2] = \text{Kennwertkürzel SB} [\text{m}/\text{h}]$.
Der Kennwert SB ist $< 6 \text{ m}/\text{h}$ einzustellen. Optimaler Weise sollten Werte $< 1,5 \text{ m}/\text{h}$ eingestellt werden.

Schutzgasmenge $[\text{Nm}^3/\text{h}]/\text{beheizte Muffelinnenoberfläche} [\text{m}^2] = \text{Kennwertkürzel SM} [\text{m}/\text{h}]$. Der Kennwert SM ist $> 3 \text{ m}/\text{h}$ einzustellen. Optimaler Weise

- 17 -

sollten Werte zwischen 6 m/h und 9 m/h eingestellt werden. Die Einstellung eines höheren Kennwertes ist möglich, jedoch nicht zwingend notwendig.

5 Muffelinnenoberfläche [m²]/Bauteiloberfläche [m²] = Kennwertkürzel MB. Der Faktor MB ist < 0,7 einzustellen. Optimalerweise sollte der Faktor < 0,30 eingestellt werden.

10 Bei dieser Erfindung kann, aber es muss nicht, vollständig auf den Einsatz von Flussmittel verzichtet werden. Partielle Zugabe von Flussmittel auf beziehungsweise am Bauteil sind möglich und haben keinen negativen Einfluss auf Bereiche des Bauteils, welche flussmittelfrei gelötet werden. Eine Dotierung des einströmenden Schutzgases mit Flussmittel oder reduzierenden Substanzen (fest / flüssig / gasförmig) kann frei gewählt werden. Durch den massiven Einsatz eines Schutzgases wird während des Lötprozesses im
15 Temperaturbereich über Raumtemperatur, eine weitere Oxidation der Aluminiumoberfläche extrem vermindert beziehungsweise praktisch unterbunden. Die bestehende Oxidschicht wird beim Aufheizen aufgerissen. Durch die entstehenden oxidfreien Spalte / Risse / Flächen, ist eine Benetzung des Lotes zu den Oberflächen möglich.

20 Durch ein entsprechendes Zeit-Temperatur-Profil im Lötöfen, wird die Lotbenetzung verbessert beziehungsweise ermöglicht. Dabei sollte während der Aufheizphase im Lötöfen im Temperaturbereich von 400 bis 615 Grad Celsius eine minimale Zeit von 3 Minuten nicht unterschritten werden. Optimalerweise werden für den Temperaturbereich von 400 bis 615 Grad Celsius Zeiten von 4 bis 8 Minuten eingestellt. Das Zeit-Temperatur-Fenster im Temperaturbereich von 400 bis 615 Grad Celsius ist abhängig von Legierungselementen im Grundwerkstoff sowie Schutzplattierungen als auch im Lot. Das Zeitintervall beeinflussende beziehungsweise die Lotbenetzung fördernde
25 Elemente sind zum Beispiel Silizium, Kupfer, Strontium, Bismut oder Wismut, Magnesium.

30 Besonders bevorzugt sollte während der Aufheizphase im Lötöfen im Temperaturbereich von minus 30 bis minus 50 K vor Erreichen der Solidustemperatur des Lotes eine minimale Zeit von 2 Minuten nicht unterschritten wer-
35

- 18 -

den. Optimalerweise werden für den Temperaturbereich von Solidus Lot minus 30 bis minus 50 K Zeiten von zwei bis fünf Minuten eingestellt. Zeiten oberhalb 6 Minuten sind ebenfalls möglich, jedoch aus wirtschaftlichen Gründen nicht sinnvoll.

5

Der Vorteil einer bestimmten Verweilzeit im Temperaturintervall Solidus Lot minus 30 bis minus 50 K sind Diffusionsvorgänge von Elementen aus dem Kernwerkstoff in die Lotplattierung sowie die Homogenisierung des Lotes wie auch des Grundwerkstoffs bezüglich unerwünschter intermetallischer Phasen, die im oberflächennahen Bereich benetzungshemmend wirken können.

10

Des Weiteren wurde im Zusammenhang mit bestimmten Werkstoffkombinationen von Kern- und Lotwerkstoffen bei Einhaltung der Verweilzeit Solidus Lot minus 30 bis minus 50 K von mindestens 2 Minuten, ein teilweises Anschmelzen des Lotes beobachtet. Das heißt, gewisse Anteile des Lotes werden bereits vor den bekannten Solidustemperaturen des Lotes, für AlSi10 zum Beispiel 577 Grad Celsius, flüssig. Hierdurch wird ein mechanisches Aufbrechen der Oxidschichten auf dem Lot erheblich erleichtert. Das Zeit-Temperatur-Fenster im Temperaturbereich Solidus Lot minus 30 bis minus 50 K ist daher abhängig von Legierungselementen im Grundwerkstoff sowie Schutzplattierungen als auch im Lot. Das Zeitintervall beeinflussende beziehungsweise die Lotbenetzung beeinflussende Elemente sind zum Beispiel Silizium, Kupfer, Strontium, Bismut oder Wismut, Magnesium und Eisen.

15

20

Für das erfindungsgemäße Lötverfahren wird besonders bevorzugt ein CAB-Ofensystem (Durchlaufofen oder Batch-Ofen) verwendet, auf beziehungsweise in dem flussmittelfrei ohne aufwendiges Vakuumofensystem gelötet werden kann. Die notwendige Lötöfenatmosphäre sollte zum Erzielen qualitativ guter Lötverbindungen kleiner oder gleich 50 ppm Sauerstoff enthalten, besonders bevorzugt weniger als 30 ppm Sauerstoff.

25

30

In Figur 1 sind in einer Tabelle die verwendbaren Werkstoffe und Lote, die sich unter den vorab beschriebenen Randbedingungen mit vergleichbarer Qualität der Lötverbindungen wie beim Vakuum-Löten oder beim CAB-Löten erzielen lassen, zusammengestellt. Die Buchstaben GW stehen für Grund-

35

- 19 -

werkstoff. Die Buchstaben WR stehen für Wellrippe. Der Buchstabe R steht für Rohr. Der Buchstabe LP steht für Lotplattierung. Der Buchstabe RW steht für Rohrwerkstoff.

5 Die in der Tabelle dargestellten Werkstoffe und Werkstoffkombinationen ermöglichen die Verwendung von Legierungen mit einem durch Magnesiumzusatz verbesserten beziehungsweise den jeweiligen Anforderungen angepasstem Eigenschaftsbild. Die Verbesserungen in Bezug auf Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit ermöglichen entweder festere und langlebigere
10 Bauteile oder durch Materialreduktion leichtere Wärmeübertrager. Bei flussmittelfreier Produktion entfällt Zusatzaufwand wie Befluxungs- und Trocknungsanlagen sowie Aufwendungen zum Umwelt- und Arbeiterschutz. Die flussmittelfreie Fertigung in einem CAB-Ofen kommt ohne die aufwendigen technischen Anlagen eines Ein- oder Mehrkammervakuumofens aus.

15

5

Patentansprüche

10

1. Verfahren zum insbesondere flussmittelfreien Löten von Bauteilen, insbesondere von Wärmeübertragern, insbesondere aus Aluminiumwerkstoffen, Aluminiumlegierungen oder Knetlegierungen, in einem Lötoven, insbesondere einem Durchlauflötofen oder einem Batch-Type-Lötoven, der eine Muffel umfasst, die mit Schutzgas gespült wird, um eine Schutzgasatmosphäre zu schaffen, dadurch gekennzeichnet, dass der Muffel beim Löten der Bauteile eine nach einem oder mehreren vorgegebenen Kennwerten überhöhte Menge Gas, insbesondere Schutzgas oder Reaktionsgas, zugeführt wird, so dass eine sauerstoffarme Schutzgasatmosphäre geschaffen wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Gas mindestens ein Edelgas der achten Hauptgruppe des Periodensystems der Elemente, Wasserstoff, Stickstoff, Kohlendioxid, Kohlenmonoxid, Ammoniak und/oder Spaltgasprodukte aus Erdgas umfasst.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Muffel beim Löten der Bauteile eine so stark überhöhte Gasmenge zugeführt wird, dass der Sauerstoffgehalt der Schutzgasatmosphäre, insbesondere in einem Eintrittsbereich des Lötovens, deutlich geringer als 500 ppm (parts per million) ist.

30

- 21 -

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Muffel beim Löten der Bauteile eine so stark überhöhte Gasmenge zugeführt wird, dass der Sauerstoffgehalt der Schutzgasatmosphäre, insbesondere in einem Lötbereich des Löt-
5 ofens, geringer als 50 ppm (parts per million), insbesondere deutlich geringer als 40 ppm (parts per million), ist.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Schutzgasatmosphäre beim Löten über Raum-
10 temperatur aufgeheizt wird.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Objekttemperatur im Lötoven oberhalb 300 Grad Celsius liegt.
15
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Taupunkt in der Lötovenatmosphäre unterhalb von minus 45 Grad Celsius liegt.
- 20 8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass während der Aufheizphase im Lötoven in einem Temperaturbereich von 400 bis 615 Grad Celsius eine minimale Zeit von drei Minuten nicht unterschritten wird.
- 25 9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Kennwert SQ, der dem Quotient einer Division der Gasmenge, insbesondere der Schutzgasmenge, durch den Querschnitt des Lötovens entspricht, größer als 250 Meter pro Stunde eingestellt wird.
30
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Kennwert SO, der dem Quotient einer Division der Gasmenge, insbesondere der Schutzgasmenge, durch das beheizte Volumen des Lötovens entspricht, größer als 25 pro Stunde eingestellt wird.
35

- 22 -

- 5 11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Kennwert SB, der dem Quotient einer Division der Gasmenge, insbesondere der Schutzgasmenge, durch die Größe der Bauteiloberfläche entspricht, kleiner als 6 Meter pro Stunde eingestellt wird.
- 10 12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Kennwert SM, der dem Quotient einer Division der Gasmenge, insbesondere der Schutzgasmenge, durch die Größe der beheizten Muffelinnenoberfläche des Lötovens entspricht, größer als 3 Meter pro Stunde eingestellt wird.
- 15 13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Kennwert MB, der dem Quotient einer Division der beheizten Muffelinnenoberfläche durch die Größe der Bauteiloberfläche entspricht, kleiner als 0,7 eingestellt wird.
- 20 14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche zum Löten von Wärmeübertragern mit Strömungseinrichtungen, insbesondere Rohren und/oder Scheiben, und/oder Leiteinrichtungen, insbesondere Wellrippen, aus einem oder mehreren Aluminium-Grundwerkstoffen.
- 25 15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass der Aluminium-Grundwerkstoff der Strömungs- und/oder Leiteinrichtungen bis zu 0,40 Prozent, bevorzugt bis zu 0,25 Prozent, besonders bevorzugt bis zu 0,20 Prozent Eisen enthält.
- 30 16. Verfahren nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, dass der Aluminium-Grundwerkstoff der Strömungs- und/oder Leiteinrichtungen 0,7 bis 2 Prozent, bevorzugt 1 bis 1,5 Prozent Mangan enthält.
- 35 17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche zum Löten von Wärmeübertragern mit Strömungseinrichtungen, insbesondere Rohren und/oder Scheiben, und/oder Leiteinrichtungen, insbesondere Wellrip-

- 23 -

pen, die mit einer Lotplattierung aus einem oder mehreren Aluminium-Grundwerkstoffen versehen sind.

- 5 18. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass der Aluminium-Grundwerkstoff der Lotplattierung bis zu 0,40 Prozent, bevorzugt bis zu 0,25 Prozent, besonders bevorzugt bis zu 0,20 Prozent Eisen enthält.
- 10 19. Verfahren nach Anspruch 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, dass der Aluminium-Grundwerkstoff der Lotplattierung 0,7 bis 2 Prozent, bevorzugt 1 bis 1,5 Prozent Mangan enthält.
- 15 20. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Muffel aus einem Muffelwerkstoff gebildet ist, der Edelstahl umfasst.
- 20 21. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass während einer Aufheizphase im Lötöfen in einem Temperaturbereich von minus 30 bis minus 50 Kelvin vor Erreichen der Solidustemperatur des Lotes eine minimale Zeit von zwei Minuten nicht unterschritten wird.

	GW WR			GW Rohr			LP RW		
	min	bevorzugt	max	min	bevorzugt	max	min	bevorzugt	max
Al	rest	rest	rest	rest	rest	rest	rest	rest	rest
Si	0	0,20 - 0,60	1,2	0	-	1,2	6	7 - 11	20
Fe	0	0 - 0,40	0,7	0	0 - 0,30	0,7	0	0 - 0,20	0,8
Cu	0	-	0,3	0,10	0,30 - 0,80	1,2	0	0 - 0,30	1,0
Mn	0	-	2,0	0	-	2,0	0	-	0,15
Mg	0	0 - 0,50	2,0	0	0,10 - 0,30	2,0	0	0 - 0,20	2,5
Cr	0	0 - 0,20	0,5	0	0 - 0,20	0,5	0	-	0,05
Zn	0	-	4,5	0	-	5,0	0	0 - 2,0	4,5
Ti	0	-	0,2	0	0 - 0,20	0,3	0	0 - 0,10	0,2
Sn	0	-	0,2	0	-	0,05	0	-	0,05
Zr	0	-	0,2	0	-	0,2	0	-	0,05
Bi	0	-	0,05	0	-	0,05	0	0 - 0,10	0,3
Sr	0	-	0,05	0	-	0,05	0	0 - 0,05	0,2

Fig. 1