



(10) **DE 10 2016 211 408 A1** 2017.01.12

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2016 211 408.5**

(22) Anmeldetag: **24.06.2016**

(43) Offenlegungstag: **12.01.2017**

(51) Int Cl.: **B23K 11/20 (2006.01)**

**B23K 11/11 (2006.01)**

(30) Unionspriorität:

**14/792,656**                      **07.07.2015**      **US**

(71) Anmelder:

**GM Global Technology Operations, LLC, Detroit,  
Mich., US**

(74) Vertreter:

**Manitz, Finsterwald & Partner GbR, 80336  
München, DE**

(72) Erfinder:

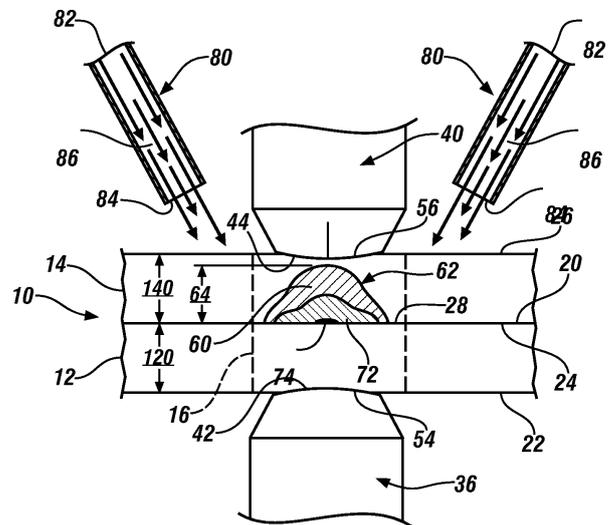
**Yang, David, Shanghai, CN; Carlson, Blair E.,  
Ann Arbor, Mich., US; Sigler, David R., Shelby  
Township, Mich., US**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **KÜHLUNG UM THERMISCHE BELASTUNG UND VERFESTIGUNG BEIM SCHWEISSEN VON UNÄHNLICHEN MATERIALIEN ZU STEUERN**

(57) Zusammenfassung: Ein Werkstückstapel, der mindestens ein Stahlwerkstück und ein aluminiumbasiertes Werkstück umfasst, kann durch ein Punktschweißverfahren widerstandspunktgeschweißt werden, bei dem der Schweißstrom gesteuert wird, um eine oder mehrere Stufen einer Schweißnahtentwicklung durchzuführen. Wenn es erwünscht ist, den Schweißstromfluss zu beenden und ein flüssiges Schmelzbad in eine Schweißlinse (aus zumeist Aluminiumsauerer Zusammensetzung) zu verfestigen, wird eine zusätzliche Kühlung auf die äußere Oberfläche des aluminiumbasierten Werkstücks um den Kontaktbereich der Punktschweißelektrode angewendet, die mit der Oberfläche des aluminiumbasierten Werkstückoberfläche in Eingriff ist. Die zusätzliche Kühlung wird angewendet und gesteuert, um die Geschwindigkeit der Verfestigung des flüssigen aluminiumbasierten Materials zu erhöhen und um die Richtung der Verfestigung der Schweißlinse zu steuern, um Verunreinigungen, und dergleichen, die ursprünglich in der Schmelze waren, an der Oberfläche des Stahlwerkstücks besser zu begrenzen.



**Beschreibung**

## TECHNISCHES GEBIET

**[0001]** Diese Offenbarung bezieht sich auf die gerichtete Kühlung an einer äußeren Oberfläche eines aluminiumbasierten Werkstücks an einer Widerstandspunktschweißverbindungs-Stelle, um die Verfestigung des zugrundeliegenden flüssigen Aluminiumlegierung Punktschweißmaterials zu steuern. Eine solche Kühlung ist beim Widerstandspunktschweißen eines Stapels eines aluminiumbasierten Werkstücks und eines Stahllegierung Werkstücks nützlich, das mit Passflächen der Werkstücke überlappend mit einer Passflächen-Schnittstelle zusammengebaut wird, wo die Schweißlinse gebildet wird.

## HINTERGRUND DER ERFINDUNG

**[0002]** Das Widerstandspunktschweißen ist ein von einer Reihe von Industriebereichen verwendetes Verfahren zum Aneinanderfügen von zwei oder mehreren Metallwerkstücken. Die Automobilindustrie verwendet das Widerstandspunktschweißen beispielsweise oft, um vorgefertigte Metallwerkstücke während der Herstellung von Türen, Hauben, Kofferraumdeckeln oder Heckklappen eines Fahrzeugs, unter anderen aneinander zu fügen. Eine Reihe von Punktschweißverbindungen werden typischerweise entlang einer peripheren Kante der metallischen Werkstücke oder einem anderen Verbindungsbereich ausgebildet, um zu gewährleisten, dass das Teil strukturell solide ist. Während das Punktschweißen typischerweise praktiziert wurde, um bestimmte ähnliche zusammengesetzte Metallwerkstücke – wie Stahllegierung mit Stahllegierung und Aluminiumlegierung mit Aluminiumlegierung – zu verbinden, hat der Wunsch, leichtere Materialien in einer Fahrzeugkonstruktion zu integrieren, Interesse an einem Zusammenfügen von Werkstücken aus Stahl mit Aluminiumbasierten (Aluminium oder Aluminiumlegierungen) Werkstücken durch das Widerstandspunktschweißen nach sich gezogen. Insbesondere würde die Fähigkeit zum Widerstandspunktschweißen von Werkstückstapeln verschiedener Werkstückkombinationen (z. B. Stahl/Stahl, Aluminiumbasiert/Stahl, Aluminiumbasiert/Aluminiumbasiert) mit einem Ausüstungsteil die Flexibilität der Produktion fördern und die Herstellungskosten senken.

**[0003]** Das Widerstandspunktschweißen im Allgemeinen beruht auf dem Widerstand gegenüber dem Fluss eines elektrischen Stroms durch überlappende Metallwerkstücke und dient über ihre Passschnittstelle hinweg zur Erzeugung von Wärme. Zur Durchführung eines solchen Schweißverfahrens, wird ein Paar einander gegenüberliegender Punktschweißelektroden typischerweise an diametral ausgerichteten Punkten auf gegenüberliegenden Seiten der Werkstücke an einer vorbestimmten Schweißstelle

eingespannt. Elektrischer Strom wird dann durch die Metallwerkstücke von einer Elektrode zur anderen geleitet. Der Widerstand gegenüber dem Fluss dieses elektrischen Stroms erzeugt Wärme innerhalb der Metallwerkstücke und an deren Passschnittstelle. Wenn ein Werkstück aus Stahl und ein aluminiumbasiertes Werkstück punktschweißbar werden, initiiert die Wärme, die an ihren Passschnittstellen erzeugt wird, ein geschmolzenes Schweißbad, das sich in das aluminiumbasierte Werkstück aus der Passschnittstellen erstreckt. Dieses geschmolzene Schweißbad benetzt die angrenzende Grenzfläche des Stahlwerkstücks und erstarrt nach dem Stoppen des Stromflusses zu einer Schweißlinse, die die gesamte oder einen Teil der Schweißnaht bildet.

**[0004]** In der Praxis jedoch ist das Punktschweißen eines Stahlwerkstücks auf ein aluminiumbasiertes Werkstück anspruchsvoll, da eine Reihe von Eigenschaften dieser beiden Metalle sich negativ auf die Festigkeit – insbesondere die Schälffestigkeit – der Schweißnaht auswirken können. Für eine Herausforderung, enthält das aluminiumbasierte Werkstück in der Regel ein oder mehrere feuerfeste Oxidschichten auf seiner Passfläche. Die Oxidschicht(en) sind typischerweise aus Aluminiumoxiden zusammengesetzt, obwohl auch andere Oxidverbindungen vorhanden sein können. Im Fall von magnesiumhaltigen Aluminiumlegierungen, beinhaltet/beinhalten die Oxidschicht(en) beispielsweise typischerweise auch Magnesiumoxide. Die Oxidschicht(en) auf der Oberfläche des aluminiumbasierten Werkstücks sind elektrisch isolierend und mechanisch robust. Als Ergebnis dieser physikalischen Eigenschaften weisen die Oxidschicht(n) eine Tendenz auf, an der Passschnittstelle intakt zu bleiben, wo sie die Fähigkeit des geschmolzenen Schweißbades behindern können, das Stahlwerkstück zu benetzen und auch eine Quelle von Schnittstellennahen Mängeln im wachsenden Schmelzbad bereitstellen. Die isolierende Natur der Oberflächenoxidschicht(en) erhöht auch den elektrischen Kontaktwiderstand des Aluminiumlegierungswerkstücks – und zwar an seiner Passfläche und an seinem Elektrodenkontaktpunkt – was es schwierig macht, Wärme in dem Aluminiumlegierungswerkstück effektiv zu steuern und zu konzentrieren. Anstrengungen wurden in der Vergangenheit unternommen, um die Oxidschicht(en) aus dem aluminiumbasierten Werkstück vor dem Punktschweißen zu entfernen. Solche Entfernungspraktiken können allerdings unpraktisch sein, da die Oxidschicht(en), die Fähigkeit aufweisen, sich in Gegenwart von Sauerstoff selbst zu heilen oder zu regenerieren, insbesondere bei der Anwendung von Wärme von Punktschweißvorgängen.

**[0005]** Das Stahlwerkstück und das aluminiumbasierte Werkstück besitzen auch unterschiedliche Eigenschaften, die dazu neigen, das Punktschweißverfahren zu erschweren. Insbesondere weist Stahl ei-

nen relativ hohen Schmelzpunkt (~1500 °C) und relativ hohe elektrische und thermische Widerstände auf, während das aluminiumbasierte Material einen relativ niedrigen Schmelzpunkt (~600 °C) und relativ niedrige elektrische und thermische Widerstände aufweist. Als Ergebnis dieser physikalischen Unterschiede, wird der größte Teil der Wärme in dem Stahlwerkstück während des Stromflusses erzeugt. Dieses Wärme Ungleichgewicht stellt einen Temperaturgradienten zwischen dem Stahlwerkstück (höhere Temperatur) und dem aluminiumbasierten Werkstück (niedrigere Temperatur) her, der ein schnelles Schmelzen des aluminiumbasierten Werkstücks auslöst. Die Kombination des Temperaturgradienten, der während des Stromflusses erzeugt wird, mit der hohen thermischen Leitfähigkeit des aluminiumbasierten Werkstücks bedeutet, dass, unmittelbar nachdem der elektrische Strom aufhört, eine Situation auftritt, in der Wärme nicht symmetrisch von der Schweißstelle verbreitet wird. Stattdessen wird Wärme von dem heißeren Stahlwerkstück durch das aluminiumbasierte Werkstück in Richtung der Schweißelektrode in Kontakt mit dem aluminiumbasierten Werkstück geleitet, was einen steilen Wärmegradienten zwischen dem Stahlwerkstück und der Schweißelektrode erzeugt.

**[0006]** Bei der Entwicklung eines anhalt steilen Wärmegradienten zwischen dem Stahlwerkstück und der Schweißelektrode in Kontakt mit dem aluminiumbasierten Werkstück wird davon ausgegangen, dass sie die Integrität der resultierenden Schweißnaht auf zwei vorwiegende Arten schwächt. Erstens, weil das Stahlwerkstück Hitze für eine längere Dauer als das aluminiumbasierte Werkstück hält, nachdem der elektrische Strom aufhört, verfestigt sich das geschmolzene Schweißbad gerichtet, beginnend von dem Bereich, der am nächsten zu der kälteren Schweißelektrode (oft wassergekühlt) liegt, die mit dem aluminiumbasierten Werkstück verbunden ist, und sich in Richtung der Passschnittstelle ausbreitend. Eine Verfestigungsfront dieser Art neigt dazu Fehler – wie Gasdurchlässigkeit, Schrumpfungshohlräume und Oberflächenoxidrückstände – in Richtung und entlang der vollen Breite oder des Durchmessers der Passschnittstelle innerhalb der Schweißlinse anzutreiben oder zu fördern. Zweitens fördert die anhaltend erhöhte Temperatur in dem Stahlwerkstück, das Wachstum von spröden intermetallischen Fe-Al-Verbindungen an und entlang der Passschnittstelle. Die intermetallischen Verbindungen neigen dazu dünne Reaktionsschichten zwischen der Schweißlinse und dem Stahlwerkstück zu bilden. Diese intermetallischen Schichten werden im Allgemeinen als Teil der Schweißnaht betrachtet, falls vorhanden, zusätzlich zu der Schweißlinse. Das Aufweisen einer Dispersion von Schweißlinsefehlern zusammen mit übermäßigem Wachstum von intermetallischen Fe-Al-Verbindungen entlang der Passschnittstelle neigt dazu, die Schälfestigkeit der fertigen Schweißnaht zu reduzieren.

**[0007]** Angesichts der oben genannten Herausforderungen, haben bisherige Bemühungen, ein Stahlwerkstück und eine aluminiumbasiertes Werkstück zu punktschweißen, einen Schweißplan verwendet, der höhere Ströme, längere Schweißzeiten oder beides (im Vergleich zum Punktschweißen von Stahl-zu-Stahl) angibt, um zu versuchen, eine angemessene Schweißnahtfläche zu erhalten. Solche Bemühungen sind in einer Herstellungsumgebung weitgehend erfolglos geblieben und weisen eine Tendenz auf, die Schweißelektroden zu beschädigen. In Anbetracht, dass die bisherigen Punktschweißbemühungen nicht besonders erfolgreich waren, wurden stattdessen überwiegend mechanische Prozesse wie Stanznieten und fließlochformende Schrauben verwendet. Beides Stanznieten und fließlochformende Schrauben sind deutlich langsamer und weisen hohe Verbrauchskosten im Vergleich zu Punktschweißen auf. Sie fügen auch Gewicht zu der Fahrzeugkarosseriestruktur hinzu, die an einem Punkt beginnen kann, der Gewichtersparnis, die überhaupt durch den Einsatz von aluminiumbasierten Werkstücken erreicht wurde, entgegenzuwirken. Fortschritte im Punktschweißen, die das Verfahren fähiger machen würden, Stahl und aluminiumbasierte Werkstücke zu verbinden, wären somit eine willkommene Ergänzung der Technik.

## ZUSAMMENFASSUNG

**[0008]** Diese Offenbarung bezieht sich auf die Bildung einer verbesserten Qualität Widerstandspunktschweißverbindungen zwischen Passflächen eines aluminiumbasiertenlegierungs- Werkstücks und eines Stahllegierungswerkstücks. Bei vielen Herstellungsanwendungen wird eine Reihe solcher Punktschweißverbindungen zwischen einem Stapel, in dem eine Oberfläche eines Aluminiumlegierungsblechs gegen eine Stirnfläche eines Stahllegierungsblechs liegt, gebildet, um eine Schnittstelle an den Passflächen der Werkstücke zu bilden. Zwei gegenüberliegende Widerstandsschweißelektroden, die auf einer gemeinsamen Elektrodenachse ausgerichtet sind, werden gegen die gegenüberliegenden Seiten der gestapelten Werkstücke an einer ausgewählten Punktschweißstelle gepresst. Wenn die Elektroden gegen die äußeren Oberflächen der gestapelten Werkstücke gepresst werden, wird ein programmierter Schweißstrom kurz zwischen den Elektroden, durch die Werkstücke an der Punktschweißstelle, geleitet. Der Schweißstrom wird in geeigneter Weise programmiert, um ein geschmolzenes Schweißbad zu erzeugen, der sich im Wesentlichen in dem Aluminiumlegierungswerkstück und der Aluminiumlegierungszusammensetzung befindet, und der an der Passfläche des Stahlwerkstücks anliegt und sie benetzt.

**[0009]** In früheren Schweißpraktiken würde der Schweißstrom gestoppt und der Schweißstelle er-

laubt, sich in der Umgebungsluft abzukühlen, während die aufgebrachte Kraft der Schweißelektroden gegen die äußeren Oberflächen der gestapelten Werkstücke gehalten wird. Häufig sind eine oder beide der Kupferschweißelektroden wassergekühlt, und sie dienen dazu, die Entfernung von Wärme von der Punktschweißstelle und die Verfestigung des geschmolzenen Schweißbades zu beschleunigen. In Übereinstimmung mit den Praktiken dieser Erfindung werden physikalische Kühlmittel für eine signifikante zusätzliche Kühlung durch die äußere Oberflächen des Aluminiumlegierungswerkstücks bereitgestellt. Das hinzugefügte physikalische Kühlsystem ist auf der Oberfläche fokussiert, die direkt die Stelle umgibt, an der die Schweißspitze der Widerstandsschweißelektrode gegen die Aluminiumwerkstückoberfläche gepresst wird. Zum Beispiel kann ein Array von unterstützten Kühlrohren, die in einem Ring (oder in zwei eingreifenden halbkreisförmigen Ringen) um die Punktschweißelektrode angeordnet sind und auf die Aluminiumwerkstückoberfläche gerichtet sind, dazu verwendet werden, einen einhüllenden Gasstrom, wie Luft oder Stickstoff (oder dergleichen Kühlgas oder Flüssigkeit) bei entweder Umgebungstemperatur oder reduzierter Temperatur gegen die äußere Aluminiumoberfläche um den Bereich, der noch von der Elektrode kontaktiert wird, zu liefern. Oder ein ringförmiges, innengekühltes Element, das eine geeignete Wärmeübertragungsoberfläche aufweist, kann gegen die äußere Aluminiumwerkstückoberfläche, die die Schweißelektrode unmittelbar umgibt, platziert werden.

**[0010]** Die erhöhte Geschwindigkeit der Wärmeübertragung von der Punktschweißstelle der heißen Aluminiumwerkstückoberfläche wird gesteuert, um die Geschwindigkeit und Richtung der Verfestigung des geschmolzenen Schweißbades zu ändern, bei der Bildung der Schweißlinse, die sich bisher weitgehend in das Aluminiumlegierungswerkstück von ihrer Passfläche mit dem Stahlwerkstück erstreckt hat. In Übereinstimmung mit dieser Erfindung, wird solche Richtungsaußenkühlung der äußeren Aluminiumwerkstückoberfläche durchgeführt und gesteuert, sodass die sich verfestigende Schweißlinse aus dem Umfang des geschmolzenen Schweißbades innerhalb des Aluminiumwerkstücks zu seiner Mitte hin bildet, um die Menge, die Form und Lage von Aluminiumoxidmaterialien (und dergleichen) an der Oberfläche des Stahlwerkstücks zu verringern, um die Sauberkeit und die Festigkeit (insbesondere die Schälfestigkeit) der Bindung der Schweißlinse an der Passschnittstelle der Werkstücke an der Punktschweißstelle zu verbessern, und thermische Restbelastung rund um die Schweißstelle zu reduzieren.

**[0011]** Weitere Einzelheiten und Vorteile des vorliegenden Widerstandspunktschweißverfahrens zum Verbinden von Aluminiumlegierungs- und Stahllegierungswerkstücken werden aus einer Beschreibung

von bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung ersichtlich, die in dieser Beschreibung folgt.

#### KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0012]** Fig. 1 ist eine schematische Seitenansicht eines Werkstückstapels, der ein Stahlwerkstück und ein aluminiumbasiertes Werkstück umfasst, die zwischen gegenüberliegenden Punktschweißelektroden einer Schweißzange in Vorbereitung für das Punktschweißen gelegen sind.

**[0013]** Fig. 2 ist eine teilweise vergrößerte Ansicht des Werkstückstapels und der gegenüberliegenden Schweißelektroden, die in Fig. 1 dargestellt sind.

**[0014]** Fig. 3 ist eine teilweise Querschnittsansicht des Werkstückstapels, während eines Teils des mehrstufigen Schweißverfahrens, bei dem ein geschmolzenes Schweißbad initiiert wurde und innerhalb des aluminiumbasierten Werkstücks gewachsen ist.

**[0015]** Fig. 4 ist eine teilweise Querschnittsansicht des Werkstückstapels, während eines Teils des mehrstufigen Schweißverfahrens, nachdem dem geschmolzenen Schweißbad ermöglicht worden ist, abzukühlen und in eine Schweißlinse zu verfestigen, die die gesamte oder einen Teil einer Schweißnaht bildet.

**[0016]** Fig. 5 ist eine teilweise Querschnittsansicht des Werkstückstapels, während eines Teils des mehrstufigen Schweißverfahrens, bei dem mindestens ein Teil der Schweißlinse umgeschmolzen wurde. In dieser Stufe des Schweißvorgangs wird eine zusätzliche Kühlvorrichtung um die Widerstandsschweißelektrode, die mit der äußeren Oberfläche des aluminiumbasierten Werkstücks in Eingriff ist, angeordnet oder montiert.

**[0017]** Fig. 6A ist eine teilweise Querschnittsansicht des Werkstückstapels, wenn die obere Oberfläche des aluminiumbasierten Werkstücks im Schweißstellenbereich mit der Strömung eines Kühlgases von unterstützten Röhren, die um die Schweißelektrode angeordnet sind, abgekühlt wird. Der Fluss des Kühlgases verbessert die wieder Verfestigung des umgeschmolzenen Teils der anfänglichen Schweißlinse, um Verunreinigungen in einem kleineren Bereich der Schnittstelle der Schweißlinse mit der Stahloberfläche zu begrenzen.

**[0018]** Fig. 6B ist eine teilweise Querschnittsansicht des Werkstückstapels, wenn der Schweißstellenbereich an der oberen Oberfläche des aluminiumbasierten Werkstücks mit einem Wärmetauscher, der um die Schweißelektrode angeordnet sind, abgekühlt wird. Die zusätzliche Kühlung, die durch den Wärmetauscher bereitgestellt wird, verbessert die wie-

der Verfestigung des umgeschmolzenen Teils der anfänglichen Schweißlinse.

**[0019]** Fig. 7 ist eine perspektivische Ansicht des Werkstückstapels, von unten, in der das Stahlwerkstück in Phantom gezeigt ist, um die Schweißbindungsfläche der Schweißlinse sowie die mögliche zusätzliche Schweißbindungsfläche schematisch zu veranschaulichen, die als Ergebnis des erneuten Schmelzens mindestens eines Teils der Schweißlinse während des mehrstufigen Schweißverfahrens erreicht werden kann;

#### BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

**[0020]** Punktschweißen eines Stahlwerkstücks und eines aluminiumbasierten Werkstücks (Aluminium oder Aluminiumlegierungen) stellen einige bemerkenswerte Herausforderungen dar, wie oben erörtert. Die Oberflächenoxidschicht(en), die auf dem aluminiumbasierten Werkstück vorhanden sind, sind schwer abzubauen und zu zerfallen, was bei traditionellen Punktschweißtechniken zu Schweißdefekten an der Passschnittstelle in Form von Mikrorissen und anderen durch Restoxide verursachten Disparitäten führt. Darüber hinaus ist das Stahlwerkstück thermisch und elektrisch widerstandsfähiger als das aluminiumbasierte Werkstück, was bedeutet, dass das Stahlwerkstück sich schneller erhitzt und als Wärmequelle wirkt, während das aluminiumbasierte Werkstück als Wärmeleiter wirkt. Der resultierende Temperaturgradient, der zwischen den Werkstücken während und kurz nach dem elektrischen Stromfluss etabliert ist, hat eine Tendenz Gasporosität und andere Unterschiede in dem geschmolzenen Schweißbad, einschließlich der Restoxidmängel, in Richtung und weit entlang der Passschnittstelle zu treiben, und trägt auch zur Bildung und dem Wachstum von spröden intermetallischen Fe-Al-Verbindungen an der Passschnittstelle in Form von einer oder mehreren dünnen Reaktionsschichten auf dem Stahlwerkstück bei.

**[0021]** Ein Punktschweißverfahren mit zusätzlicher Kühlung der äußeren Oberfläche des Aluminiumwerkstücks bei Beendigung des Schweißstromflusses, wurde erdacht, dass diese Herausforderungen ausgleicht und die Fähigkeit verbessert, erfolgreich und wiederholt Stahl- und aluminiumbasierte Werkstücke zusammen punktzuschweißen. Es wurde gefunden, dass eine stärkere, besser geformte Schweißlinse, die sich weitgehend in dem Aluminiumlegierungswerkstück befindet, mit einer stärkeren Haftung an dem Stahlwerkstück, und mit einer günstigeren beschränkten Verteilung von Unreinheiten und Poren in der Mitte der Schweißlinse gebildet werden kann, durch Bereitstellung zusätzlicher Kühlung auf die äußere Oberflächen des Aluminiumwerkstücks in dem Bereich, der die Punktschweißelektrode an dieser Stelle umgibt. Die Kühlung wird in den letzten

Millisekunden des Schweißstromflusses durch die Schweißelektroden und Werkstücke gestartet, oder genau wenn der Schweißstrom gestoppt wird, oder unmittelbar nach Beendigung des Schweißstroms. Natürlich wird etwas Kühlung der Punktschweißstelle von der Umgebungsluft erhalten, und mehr Kühlung kann durch die Verwendung von wassergekühlten Schweißelektroden erhalten werden, wenn sie gegen die äußeren Oberflächen der Werkstücke gedrückt bleibt, nachdem der Schweißstromfluss gestoppt wird. Aber zusätzliche und verbesserte Kühlung an und durch die äußere Aluminiumwerkstückoberfläche verringert thermische Belastung an der Schweißstelle und ändert den Fortschritt der Bildung der Schweißlinse auf eine günstige Weise.

**[0022]** Die Kühlung des Aluminiumwerkstücks kann durch die Bereitstellung von Kühlluft (oder einem anderen geeigneten Gas) bei Umgebungstemperatur oder reduzierter Temperatur in einem kreisförmigen Muster oder ähnlichen umschließenden Muster um die Punktschweißelektrode durchgeführt werden, um gegen die äußere Oberflächen des Aluminiumlegierungswerkstücks zu fließen und von ihr abzulenken. Die Kühlluft kann bei einer Temperatur und Fluggeschwindigkeit zugeführt werden, die bestimmt wurden, geeignete Kühlung des Aluminiumwerkstücks bereitzustellen, die komplementär jeder Kühlung ist, die durch eine wassergekühlte Schweißelektrode bereitgestellt wird, nachdem der Stromfluss gestoppt wurde. Luft, die unter Umgebungstemperaturen gekühlt wird, kann beispielsweise bei einer Temperatur im Bereich von 15 °C bis etwa 0 °C der Schweißstelle zugeführt werden.

**[0023]** In einer anschaulichen Ausführungsform kann Kühlluft durch eine Gruppe von Förderrohren geleitet werden, die in einer Gruppierung der Rohre, die im Allgemeinen die Punktschweißelektrode umgeben, gestützt werden. Der Fluss von Kühlluft in dem kreisförmigen Muster kühlt die obere Oberfläche der Aluminiumlegierung in einem Oberflächenbereich, der die Punktschweißstelle unmittelbar umgibt, wie durch die Kontaktfläche der Punktschweißelektrode definiert. Jede geeignete verteilerartige Kühlluftliefer-Vorrichtung kann angeordnet werden, beispielsweise um die Punktschweißelektrode, um den Fluss der Kühlluft um den Umfang der Schweißstelle zu leiten. Selbstverständlich können andere Kühlwärmeübertragungs-Vorrichtungen in einer gleichen Position gegen die Oberfläche des aluminiumbasierten Werkstücks und rund um die Schweißstelle platziert werden. Solche Wärmeübertragungs-Vorrichtungen werden bei einem vorbestimmten Temperaturbereich betrieben werden und stellen eine geeignete Wärmeübertragungsfläche bereit, um die Qualität der Schweißlinse und ihre Schnittstelle mit dem Stahlwerkstück zu verbessern. Diese Kühl-Praktiken sind detaillierter unten in dieser

Beschreibung mit Bezug auf die **Fig. 5**, **Fig. 6A** und **Fig. 6B** beschrieben.

**[0024]** Eine derartige Kühlung der Aluminiumwerkstücks-Oberfläche, insbesondere im Bereich um die geschmolzene Aluminiumschweißlinse, wird durchgeführt, um schnell das höhere Wärmeleitfähigkeitswerkstück abzukühlen und die hohe thermische Belastung in dem Werkstück zu reduzieren. Die verbesserte Kühlung wird auch geplant und durchgeführt, um schnell die Verfestigung des geschmolzenen Schweißbades radial nach innen in dem Aluminiumwerkstück in die Mitte der erstarrten Schweißlinse zu treiben, um so Verunreinigungen und Fehlstellen in der Mitte der Schweißlinse zu konzentrieren und den Schnittstellen-, Fehlstellen freien Bereich der Schweißlinse an der Oberfläche der Stahlwerkstücke zu erhöhen. Widerstandspunktschweißverbindungen mit Schweißstastenauszug und hoher Festigkeit wurden in Punktschweißverbindungen von 1,2 mm dickem Aluminiumlegierungsblech mit 1,0 mm dickem Stahlblech und in Schweißnähten von 2,0 mm dickem Aluminiumlegierungsblech mit 1,0 mm dickem Stahlblech gezeigt.

**[0025]** Das Punktschweißverfahren mit der zusätzlichen Kühlung der Oberfläche des Aluminiumwerkstücks an der Punktschweißstelle kann nutzbringend in Kombination mit den meisten Schweißstromfluss-Praktiken und Elektrodenkontakt-Praktiken zur Bildung von Widerstandspunktschweißnähten zwischen aluminiumbasierten Legierungswerkstücken und Stahllegierungswerkstücken verwendet werden. Es wird jedoch auch verstanden und gewürdigt werden, dass die Gegenstandskühlung der äußeren Oberfläche des aluminiumbasierten Werkstücks in Kombination mit den jüngsten Verbesserungen in der Schweißpraxis, die ebenfalls dem Anmelder dieser Erfindung zugeordnet wird, verwendet werden kann. Die zusätzliche Kühlpraxis dieser Beschreibung kann beispielsweise in Verbindung mit dem folgenden mehrstufigen Schweißverfahren zur Bildung von Punktschweißnähten bei gestapelten aluminiumbasierten Legierungswerkstücken und Stahllegierungswerkstücken verwendet werden.

**[0026]** Das mehrstufige Punktschweißverfahren führt die Steuerung des elektrischen Stroms, der zwischen gegenüberliegenden Schweißelektroden und durch die Stahl- und aluminiumbasierten Werkstücke geführt wird, um mehrere Stufen der Schweißnahtentwicklung durchzuführen, auf. Die mehreren Stufen beinhalten: (1) eine geschmolzenes-Schweißbad-Wachstumsstufe, in der ein Schmelzbad initiiert wird und in dem aluminiumbasierten Werkstück wächst; (2) eine geschmolzenes-Schweißbad-Verfestigungsstufe, in der dem geschmolzenen Schweißbad ermöglicht wird, in eine Schweißlinse abzukühlen und zu verfestigen, die die gesamte oder einen Teil einer Schweißnaht bildet (die Schweißnaht kann auch

intermetallische Verbindungsschichten beinhalten); (3) eine Schweißlinsen-Umschmelzstufe, in der mindestens ein Teil der Schweißlinse umgeschmolzen wird; (4) eine umgeschmolze-Schweißlinsen-Verfestigungsstufe, in der dem umgeschmolzenen Abschnitt der Schweißlinse ermöglicht wird, abzukühlen und zu verfestigen; und gegebenenfalls (5) eine Metall-Austreibungsstufe, in der mindestens ein Teil des umgeschmolzenen Abschnitts der Schweißlinse entlang der aneinander Passschnittstelle der Werkstücke ausgetrieben wird. Die mehreren Stufen des offenen Verfahrens, insbesondere die Schweißlinsen-Umschmelzstufe (Stufe 3), wirken, um die negativen Auswirkungen von den Schweißfehlern in der Schweißlinse, die vermutlich die Schweißnaht schwächen, zu verringern und mindestens teilweise zu beseitigen. Das mehrstufige Punktschweißverfahren verbessert somit die Festigkeit, insbesondere die Schälffestigkeit, der letztendlich gebildeten Schweißnaht, die in Betrieb genommen wird. Und der zusätzliche Gegenstands-Kühlvorgang kann in Kombination mit einem solchen mehrstufigen Punktschweißverfahren verwendet werden. Es könnte verwendet werden, beispielsweise bei der oben beschriebenen Stufe 4, wenn die umgeschmolzene Schweißlinse abgekühlt und wieder verfestigt wird.

**[0027]** **Fig. 1** und **Fig. 2** veranschaulichen eine Ausführungsform eines Aufbaus der Schweißgeräte und Werkstücke in Vorbereitung auf die zusätzliche Kühlung des aluminiumbasierten Werkstücks nach einem mehrstufigen Punktschweißverfahren. Eine solche Widerstandspunktschweißen-Praxis kann auf einen Werkstückstapel **10** durch eine Schweißzange **18** durchgeführt werden, die mechanisch und elektrisch konfiguriert ist, um Punktschweißpraktiken in Übereinstimmung mit einem programmierten Schweißplan auszuführen. Der Werkstückstapel **10** beinhaltet mindestens ein Stahlwerkstück **12** und ein aluminiumbasiertes Werkstück **14**. Wie hier in den **Fig. 1–Fig. 2** dargestellten, kann beispielsweise der Werkstückstapel **10** nur die Stahl- und aluminiumbasierten Werkstücke **10**, **12** beinhalten. Natürlich können auch andere Metallwerkstücke im Stapel **10** beinhaltet sein, obwohl sie hier nicht gezeigt werden, wie beispielsweise ein zusätzliches Stahlwerkstück oder ein zusätzliches aluminiumbasiertes Werkstück. Der Begriff „Werkstück“ und seine Stahl- und aluminiumbasierten Variationen werden in der vorliegenden Offenbarung im Großen und Ganzen für eine Blechschicht, ein Gussformteil, ein extrudiertes Teile oder alle anderen Stücke, die widerstandspunktschweißbar sind, einschließlich aller möglichen vorhandenen Oberflächenschichten oder Beschichtungen, wenn vorhanden, verwendet.

**[0028]** Das Stahlwerkstück **12** kann beschichteter oder unbeschichteter Stahl sein. Solche Werkstücke beinhalten galvanisierten (verzinkten) kohlenstoffarmen Stahl, kohlenstoffarmen blankem Stahl,

galvanisierten hochfesten Stahl (AHSS) und Heißpräge-Bor-Stahl. Einige spezifische Arten von Stählen, die in dem Stahlwerkstück **12** verwendet werden können, sind interstitiell freier (IF) Stahl, Dual-Phasen (DP) Stahl, umwandlungsinduzierter Plastizitäts (TRIP) Stahl, hochfest niedrig legierter (HSLA) Stahl, und Pressgehärteter Stahl (PHS). In Bezug auf das aluminiumbasierte Werkstück **14**, kann es beschichtetes oder unbeschichtetes Aluminium oder Aluminiumlegierung sein. Aluminiumlegierungen enthalten 85 Gew. % oder mehr Aluminium – wie 5XXX, 6XXX und 7XXX Serien-Aluminiumlegierungen – und können in einer Vielzahl von Temperierungen eingesetzt werden. Verschiedene Arten von Aluminiumlegierungen, die verwendet werden können, beinhalten eine Aluminium-Magnesium-Legierung, eine Aluminium-Silizium-Legierung, eine Aluminium-Magnesium-Silizium-Legierung oder eine Aluminium-Zink-Legierung, wobei jede davon mit Zink oder einer Konversionsbeschichtung beschichtet werden kann, um die Klebverbindungs-Leistung zu verbessern, falls gewünscht. Einige spezielle Aluminiumlegierungen, die in dem aluminiumbasierten Werkstück **14** verwendet werden können, sind AA5754 und AA5182 Aluminium-Magnesium-Legierung, AA6111 und AA6022 Aluminium-Magnesium-Silizium-Legierung und AA7003 und 7055 Aluminium-Zink-Legierung.

**[0029]** Die Stahl- und aluminiumbasierten Werkstücke **12**, **14** sind überlappend für Widerstandspunktschweißen an einer vorgegebenen Schweißstelle **16** (**Fig. 2**) durch die Schweißzange **18** montiert. Wenn für das Punktschweißen gestapelt, beinhaltet das Stahlwerkstück **12** eine Grenzfläche **20** und eine äußere Oberfläche **22**. Ebenso beinhaltet das aluminiumbasierte Werkstück **14** eine Passfläche **24** und eine äußere Oberfläche **26**. Die Passflächen **20**, **24** der beiden Werkstücke **12**, **14** überlappen und sind miteinander in Kontakt, um eine Passfläche **28** an der Schweißstelle **16** bereitzustellen. Die Passschnittstelle **28**, wie hierin verwendet, umfasst Instanzen des direkten Kontakts zwischen den angrenzenden Passschnittstellen **20**, **24** der Werkstücke **12**, **14**, sowie Instanzen mit indirektem Kontakt, bei denen die Passschnittstellen **20**, **24** sich nicht berühren, aber nahe genug beieinanderliegen – wie z. B. beim Vorhandensein einer dünnen Klebeschicht, eines Dichtmittels oder irgendeines anderen Zwischenmaterials – das Widerstandspunktschweißen kann dennoch ausgeführt werden. Die äußeren Oberflächen **22**, **26** der Stahl- und Aluminiumlegierungswerkstücke **12**, **14**, andererseits weisen im Allgemeinen voneinander weg in entgegengesetzte Richtungen. Jedes der Stahl- und aluminiumbasierten Werkstücke **12**, **14** hat bevorzugt eine Dicke **120**, **140**, die von etwa 0,3 mm bis etwa 6,0 mm reicht, und besonders bevorzugt von etwa 0,5 mm bis etwa 3,0 mm reicht, mindestens an der Schweißstelle **16**. Die Dicken **120**, **140** der Werkstücke **12**, **14** können gleich sein, aber müssen es nicht.

**[0030]** Die Schweißzange **18** ist schematisch in **Fig. 1** gezeigt und ist ein Teil eines größeren automatisierten Schweißvorgangs in einer Herstellungs-umgebung. Die Schweißzange **18**, kann beispielsweise auf einem Roboter, der in der Nähe eines Förderers oder anderer Transporteinrichtung positioniert ist, montiert werden, die eingerichtet ist, um den Werkstückstapel **10** (sowie andere wie ihn und andere im Gegensatz zu ihm) zu der Schweißzange **18** bereitzustellen. Der Roboter kann konstruiert werden, um die Schweißzange **18** entlang des Werkstückstapels **10**, sobald er geliefert ist, zu bewegen, sodass eine schnelle Abfolge von Punktschweißverbindungen an vielen verschiedenen Schweißstellen **16** gebildet werden kann. Die Schweißzange **18** kann auch eine stationäre Sockeltyp Schweißzange sein, bei der der Werkstückstapel **10** in Bezug auf die Schweißzange **18** manipuliert und bewegt wird, um die Bildung von mehreren Punktschweißverbindungen an verschiedenen Schweißstellen **16** um den Stapel **10** zu ermöglichen. Die Schweißzange **18** soll natürlich andere Arten und Anordnungen von Schweißzangen repräsentieren, die hier nicht ausdrücklich erwähnt oder beschrieben werden, so lange sie in der Lage sind, den Werkstückstapel **10** gemäß dem vorgeschriebenen mehrstufigen Punktschweißverfahren punktschweißen und das zusätzliche Kühlverfahren, das auf die äußere Oberfläche des Aluminiumwerkstücks aufgebracht wird, zu verwenden.

**[0031]** Die Schweißzange **18** beinhaltet einen ersten Zangenarm **30** und einen zweiten Zangenarm **32**, die mechanisch und elektrisch konfiguriert sind, wiederholte Punktschweißverbindungen in Übereinstimmung mit einem definierten Schweißplan zu bilden. Der erste Zangenarm **30** weist einen ersten Elektrodenhalter **34** auf, der eine erste Punktschweißelektrode **36** behält, und der zweite Zangenarm **32** weist einen zweiten Elektrodenhalter **38** auf, der eine zweite Punktschweißelektrode **40** behält. Die ersten und zweiten Punktschweißelektroden **36**, **40** sind jeweils bevorzugt aus einem elektrisch leitenden Material gebildet, wie beispielsweise eine Kupferlegierung. Ein konkretes Beispiel ist eine Zirkonium-Kupfer-Legierung (ZrCu), die 0,10 bis zu 0,20 Gewichts-% Zirkonium und Kupfer als Saldomaterial enthält. Kupferlegierungen, die diese Bestandteilkomposition erfüllen und als C15000 gekennzeichnet sind, werden bevorzugt. Andere Kupferlegierungszusammensetzungen, die geeignete mechanische und elektrische Leitfähigkeitseigenschaften besitzen, können ebenfalls verwendet werden.

**[0032]** Die erste Punktschweißelektrode **36** beinhaltet eine erste Schweißfläche **42** und die zweite Punktschweißelektrode **40** beinhaltet eine zweite Schweißfläche **44**. Die Schweißflächen **42**, **44** der ersten und zweiten Punktschweißelektroden **36**, **40** sind die Abschnitte der Elektroden **36**, **40**, die gegen gegenüberliegende Seiten des Werkstückstapels **10** wäh-

rend eines Punktschweiß-Ereignis gedrückt und eingepreßt werden, die hier die äußeren Oberflächen **22**, **26** der Werkstücke **12**, **14** sind. Eine breite Palette von Elektrodenschweißflächen-Designs kann für jede Punktschweißelektrode **36**, **40** implementiert werden. Jede der Schweißflächen **42**, **44** kann flach oder gewölbt sein, und kann ferner Oberflächenmerkmale (z. B. Oberflächenrauigkeit, beringte Merkmale, ein Plateau usw.) beinhalten, wie beschrieben, beispielsweise in US Pat. Nr. 6.861.609, 8.222.560, 8.274.010, 8.436.269 und 8.525.066 und US-Pat. Pub. Nr. 2009/0255908. Ein Mechanismus für die Kühlung der Elektroden **36**, **40** mit Wasser wird ebenfalls typischerweise in die Zangenarme **30**, **32** und die Elektrodenhalter **34**, **38** eingebaut, um die Temperaturen der Punktschweißelektroden **36**, **40** zu verwalten.

**[0033]** Die ersten und zweiten Punktschweißelektroden **36**, **40** können die gleiche allgemeine Konfiguration oder eine unterschiedliche teilen. Zum Beispiel kann die Schweißfläche **42**, **44** jeder Punktschweißelektrode **36**, **40** einen Durchmesser zwischen 5 mm und 20 mm oder schmaler zwischen 8 mm und 12 mm, und einen Abrundungsradius zwischen 5 mm und flach oder schmaler zwischen 20 mm und 50 mm aufweisen. Jede Schweißfläche **42**, **44** kann ferner eine Reihe von radial beabstandeten beringten Rippen beinhalten, die nach außen von einer Grundfläche der Schweißfläche **42**, **44** herausragen. Eine solches Elektrodenschweißflächen-Design ist sehr nützlich, wenn es in Kontakt gegen ein aluminiumbasiertes Werkstück gedrückt wird, da die beringten Rippen funktionieren, um die Oberflächenoxidschicht(en) auf dem aluminiumbasierten Werkstück zu strecken und abzubauen, um besseren elektrischen und mechanischen Kontakt an der Elektroden/Werkstück-Verbindung herzustellen. Das gleiche Elektrodenschweißflächen-Design ist auch in der Lage, wirksam zu funktionieren, wenn es in erster Linie aufgrund des Krümmungsradius in Kontakt gegen ein Stahlwerkstück gepresst wird. Die beringten Rippen haben eine sehr geringe Wirkung auf die Kommutierung des Stroms durch ein Stahlwerkstück und werden in der Tat durch die Spannungen, die mit dem Pressen gegen ein Stahlwerkstück beim Punktschweißen verbunden werden, schnell verformt. In anderen Ausführungsformen können herkömmlicher Stahl und aluminiumbasierte Punktschweißelektroden, die den Fachleuten bekannt sind, als die ersten respektive zweiten Punktschweißelektroden **36**, **40**, einschließlich Kugelnasen, gewölbten und flachen Punktschweißelektroden, verwendet werden.

**[0034]** Die Schweißzangenarme **30**, **32** sind während des Punktschweißens betreibbar, um die Schweißflächen **42**, **44** der Punktschweißelektroden **36**, **40** gegen die gegenüberliegenden Seiten des Werkstückstapels **10** zu drücken. Hier, wie in den Fig. 1–Fig. 2 gezeigt, sind die gegenüberliegenden

Seiten des Werkstückstapels **10** die entgegengesetzt gerichteten äußeren Oberflächen **22**, **26** der überlappenden Stahl- und aluminiumbasierten Werkstücke **12**, **14**. In dieser dargestellten Ausführungsform, weisen beispielsweise die ersten und zweiten Zangenarme **30**, **32** ungefähr orthogonale Längsachsen auf und der erste Zangenarm **30** ist beweglich entlang seiner Längsachse in Richtung des zweiten Zangenarms **32** durch einen Aktuator **46**, wie beispielsweise einen Luftzylinder oder einen Servomotor. Eine Aktuatorsteuerung **48** kann bewirken, dass Druckluft an den Aktuator **46** geliefert wird, wenn der Aktuator **46** ein Luftzylinder ist, oder es kann bewirken, dass Strom/Spannung an den Aktuator **46** geliefert wird, wenn der Aktuator **46** ein Servomotor ist, um den ersten Zangenarm **30** wie beabsichtigt zu bewegen, um die Schweißverbindungsflächen **42**, **44** gegen die gegenüberliegenden Seiten des Werkstückstapels **10** (Flächen **22**, **26**) zu pressen und die gewünschte Klemmkraft aufzubringen. Die ersten und zweiten Schweißflächen **42**, **44** werden typischerweise gegen ihre jeweiligen äußeren Oberflächen **22**, **26** in diametraler Ausrichtung zueinander an der Schweißstelle **16** gepresst.

**[0035]** Die Schweißzange **18** ist auch konfiguriert, um elektrischen Strom zwischen den ersten und zweiten Punktschweißelektroden **36**, **40** – und durch den Werkstückstapel **10** an der Schweißstelle **16** – zu leiten, wenn die Schweißflächen **42**, **44** der Elektroden **36**, **40** gegen die gegenüberliegenden Seiten des Stapels **10** gepresst werden. Elektrischer Strom kann an die Schweißzange **18** von einer steuerbarer Stromversorgung **50** geliefert werden. Die Stromversorgung **50** ist bevorzugt eine Mittelfrequenz-DC (MFDC) Stromversorgung, die mit den Punktschweißelektroden **36**, **40** elektrisch verbunden ist. Eine MFDC Stromversorgung beinhaltet im Allgemeinen einen Transformator und einen Gleichrichter. Der Transformator „schaltet runter“ eine Eingangsspannung – in der Regel etwa 1000 Hz – um einen niedrigeren Spannungs-, höheren Stromstärke Wechselstrom zu erzeugen, der dann dem Gleichrichter zugeführt wird, wo eine Ansammlung von Halbleiterdioden den gelieferten Wechselstrom in einen Gleichstrom umwandelt. Solch eine Stromversorgungskomponente ist im Handel von einer Reihe von Anbietern, einschließlich ARO Welding Technologies (US-Hauptsitz in Chesterfield Township, MI) und Bosch Rexroth (US-Hauptsitz in Charlotte, NC) erhältlich.

**[0036]** Die Stromversorgung **50** wird durch eine Schweißsteuerung **52** in Übereinstimmung mit einem programmierten Schweißplan gesteuert. Die Schweißsteuerung **52**, die mit der Aktuatorsteuerung **48** (durch nicht gezeigte Mittel) kooperiert, verbindet sich mit der Stromversorgung **50** und stellt den angelegten Strompegel, die Dauer und den Stromtyp (konstant, gepulst usw.) des elektrischen Stroms,

der zwischen den Punktschweißelektroden **36, 40** geleitet wird, um das mehrstufige Punktschweißverfahren durchzuführen, ein. Genauer gesagt weist die Schweißsteuerung **52** die Stromversorgung **50** an, elektrischen Strom zu liefern, sodass die verschiedenen Stufen der Schweißnahtentwicklung, die in dem mehrstufigen Punktschweißverfahren genannt werden, durchgeführt werden. Die Stufen des mehrstufigen Punktschweißverfahrens, wie oben erwähnt, beinhalten (1) die geschmolzenes-Schweißbad-Wachstumsstufe, (2) die geschmolzenes-Schweißbad-Verfestigungsstufe, (3) die umgeschmolzene-Schweißlinsen-Stufe, (4) die umgeschmolzene-Schweißlinsen-Verfestigungsstufe und gegebenenfalls (5) die Metall-Austreibungsstufe, von denen jede unten näher erläutert werden wird.

**[0037]** Bezugnehmend auf die **Fig. 3–Fig. 7**, wird das mehrstufige Punktschweißverfahren, einschließlich der verschiedenen Stufen der Schweißnahtentwicklung und die Außenkühlung des Aluminiumwerkstücks, im Allgemeinen schematisch veranschaulicht. Zu Beginn, ist der Werkstückstapel **10** zwischen den ersten und zweiten Punktschweißelektroden **36, 40** angeordnet, sodass die im Allgemeinen runde Schweißstelle **16** im Allgemeinen diametral zu den gegenüberliegenden Schweißflächen **42, 44** ausgerichtet ist. Der Werkstückstapel **10** kann in eine solche Lage gebracht werden, wie es oft der Fall ist, wenn die Zangenarme **30, 32** (**Fig. 1**) Teil eines ortsfesten Sockelschweißers sind, oder die Zangenarme **30, 32** können robotisch bewegt werden, um die Elektroden **36, 40** relativ zu der Schweißstelle **16** anzuordnen. Sobald der Stapel **10** richtig angeordnet ist, konvergieren die ersten und zweiten Zangenarme **30, 32** relativ zueinander, um die Schweißflächen **42, 44** der ersten und zweiten Schweißelektroden **36, 40** gegen gegenüberliegende Seiten des Stapels **10** an der Schweißstelle **16** zu kontaktieren und zu pressen, die, in dieser Ausführungsform, die entgegengesetzt gerichteten äußeren Oberflächen **22, 26** der Stahl- und aluminiumbasierten Werkstücke **12, 14** sind, wie in **Fig. 3** gezeigt. Beim Kontakt mit dem Werkstückstapels **10** unter Druck, prägen die ersten und zweiten Schweißflächen **42, 44** in ihre jeweiligen gegenüberliegenden Seitenflächen des Stapels **10** ein. Die resultierenden Vertiefungen, die durch die gegenüberliegenden Schweißflächen **42, 44** entstehen, werden hier als eine erste Kontaktfläche **54** und eine zweite Kontaktfläche **56** bezeichnet.

**[0038]** Die geschmolzene Schweißbad-Wachstumsstufe wird gestartet, sobald die Punktschweißelektroden **36, 40** an der Schweißstelle **16** gegen den Werkstückstapel **10** gedrückt werden. Während der geschmolzenen Schweißbad-Wachstumsstufe, wird ein geschmolzener Schweißbad **58** eingeleitet und wächst innerhalb des aluminiumbasierten Werkstücks **14**, wie schematisch in **Fig. 3** dargestellt. Das geschmolzene Schweißbad **58** erstreckt sich von

der Passschnittstelle **28** der Werkstücke **12, 14** in das aluminiumbasierte Werkstück **14**. Und besteht vorwiegend aus geschmolzenem aluminiumbasierten Material aus dem aluminiumbasierten Werkstück **14**, da das Stahlwerkstück **12** an der Schweißstelle **16** auf eine relativ hohe Temperatur erhitzt wird, typischerweise jedoch nicht schmilzt. Das geschmolzene Schweißbad **58** kann eine Entfernung in das aluminiumbasierte Werkstück **14** eindringen, die von 20 % bis 100 % (d. h., den ganzen Weg durch das aluminiumbasierte Werkstück **14**) der Dicke **140** des aluminiumbasierten Werkstücks **14** an die Schweißstelle **16** reicht. Die Dicke **140** des aluminiumbasierten Werkstücks **14** an der Schweißstelle **16** ist typischerweise kleiner als die Dicke außerhalb der Schweißstelle **16** aufgrund des Eindrucks der zweiten Kontaktfläche **56** auf dem Werkstückstapel **10**. Der Abschnitt des geschmolzenen Schweißbades **58** neben der Passschnittstelle **28** benetzt die Passfläche **20** des Stahlwerkstücks **12**.

**[0039]** Das geschmolzene Schweißbad **58** wird durch Hindurchleiten von elektrischem Strom zwischen den Punktschweißelektroden **36, 40** und durch die Werkstücke **12, 14** und über ihre Passfläche **28** initiiert und wächst für eine erste Zeitperiode. Widerstand gegen den Fluss des elektrischen Stroms durch die Werkstücke **12, 14** und über die Passschnittstelle **28** erzeugt Wärme und erwärmt zunächst das Stahlwerkstück **12** schneller als das auf aluminiumbasierte Werkstück **14**. Die erzeugte Wärme initiiert schnell (innerhalb von Millisekunden) das geschmolzene Schweißbad **58** und fährt dann fort das geschmolzene Schweißbad **58** auf seine gewünschte Größe zu wachsen. Tatsächlich, am Anfang des elektrischen Stromflusses, wenn die zweite Kontaktfläche **56** am kleinsten im Bereich ist und die Stromdichte am höchsten ist, initiiert das geschmolzene Schweißbad **58** schnell und wächst schnell und dringt in das aluminiumbasierte Werkstück **14** ein. Wenn die zweite Kontaktfläche **56**, die von der Schweißfläche **44** der zweiten Schweißelektrode **40** gebildet wird, im Bereich über den Verlauf des elektrischen Stromflusses zunimmt, nimmt die elektrische Stromdichte ab und das geschmolzene Schweißbad **58** wächst mehr seitlich in der Nähe der Passschnittstelle **28**.

**[0040]** Wenn die geschmolzene Schweißbad-Wachstumsstufe durchgeführt wird, hängt die Stärke des angelegten elektrischen Stroms und die Dauer der ersten Zeitperiode von mehreren Faktoren ab. Die wichtigsten Faktoren, die die Stromstärke und die Dauer beeinflussen, sind die Dicken **120, 140** der Stahl- und aluminiumbasierten Werkstücke **12, 14** an der Schweißstelle **16** und die genauen Zusammensetzungen der Werkstücke **12, 14**. In einigen Fällen jedoch ist der geleitete elektrische Strom während der Schweißbad-Wachstumsstufe ein konstanter Gleichstrom (DC), der eine Stromstärke zwischen 4 kA und 40 kA aufweist und die Dauer des elektrischen Strom-

flusses liegt zwischen 50 ms und 500 ms. Der elektrische Strom kann alternativ gepulst werden, wobei im Verlauf der ersten Zeitperiode das Leiten des elektrischen Stroms eine Vielzahl von Strompulsen ist. Jeder der Strompulse kann von 10 ms bis 200 ms dauern und eine Spitzenstromstärke zwischen 10 kA und 50 kA aufweisen, mit Perioden von Nullstromfluss, die von 1 ms bis 100 ms zwischen den Pulsen dauern, bevorzugt zwischen 5 ms bis 50 ms. Andere Stromstärken und Dauern der ersten Zeitspanne können natürlich verwendet werden, Fachleute werden wissen und verstehen, wie sie diese Parameter entsprechend anpassen, um die geschmolzene Schweißbad-Wachstumstufe zu erfüllen.

**[0041]** Nachdem das geschmolzene Schweißbad eingeleitet wurde und gewachsen ist, wird die geschmolzene Schweißbad-Verfestigungsstufe durchgeführt. Während der geschmolzenen Schweißbad-Verfestigungsstufe, wird dem geschmolzenen Schweißbad ermöglicht in eine Schweißlinse **60** zu kühlen und zu verfestigen, die die ganze oder einen Teil einer Schweißnaht **62** bildet, wie in **Fig. 4** veranschaulicht. In dieser geschmolzenen Schweißbad-Verfestigungsstufe, ist Außenkühlung der äußeren Oberfläche **26** des Aluminiumwerkstücks **14** in der Regel nicht erforderlich. Abkühlen und Erstarren des geschmolzenen Schweißbades **58** kann über eine zweite Zeitperiode durch Verwaltung des elektrischen Schweiß-Stromfluss in einer von zwei Weisen realisiert werden. Erstens kann die Leitung von elektrischem Strom zwischen den ersten und zweiten Punktschweißelektroden **36, 40** eingestellt werden. Und zweitens, wenn das Einstellen des elektrischen Stromflusses nicht erwünscht ist, kann elektrischer Strom zwischen den ersten und zweiten Punktschweißelektroden **36, 40** auf einem reduzierten Niveau geleitet werden, der nicht in der Lage wäre, den geschmolzenen Zustand des Schweißbades **58**, zu halten, und somit dem Schmelzbad **58** ermöglichen, zu kühlen und zu verfestigen, wenn auch mit einer geringeren Geschwindigkeit als bei der völligen Einstellung des elektrischen Stromflusses. Wieder, wie zuvor, kann die Dauer der zweiten Zeitperiode und die verringerte Stromstärke (die es der Verfestigung ermöglicht, stattzufinden) variieren, abhängig von den Dicken **120, 140** der Werkstücke **12, 14** an der Schweißstelle **16** und unter Berücksichtigung der tatsächlichen Zusammensetzungen die Werkstücke **12, 14**. Das Leiten eines elektrischen Stroms unter 5 kA, oder das Einstellen des Stroms, zwischen **20** ms und 1000 ms, bevorzugt 50 ms und 250 ms, ist in der Regel ausreichend, um das geschmolzene Schweißbad **58** in die Schweißlinse **60** zu verfestigen.

**[0042]** Die Schweißlinse **60** erstreckt sich über einen Abstand von der Passschnittstelle **28** in das aluminiumbasierte Werkstück **14** bis zu einer Eindringtiefe **64**. Die Eindringtiefe **64** der Schweißlinse **60** kann von 20 % bis 100 % (d. h., den ganzen Weg durch das

aluminiumbasierte Werkstück **14**) der Dicke **140** des aluminiumbasierten Werkstücks **14** an die Schweißstelle **16** reichen. Die Dicke **140** des aluminiumbasierten Werkstücks **14** an der Schweißstelle **16**, wie zuvor, ist typischerweise kleiner als die Dicke außerhalb der Schweißstelle **16** aufgrund des Eindrucks der zweiten Kontaktfläche **56** auf dem Werkstückstapel **10**. Zusätzlich definiert die Schweißlinse **60** eine Schweißbindungsfläche **66**, wie in **Fig. 7** gezeigt, welche die Oberfläche der Schweißlinse **60** benachbart zu und verbunden mit der Passfläche **20** des Stahlwerkstücks **12** mittels intervenierender intermetallischer Fe-Al Reaktionsschichten ist. Der Schweißnahtverbindungs Bereich **66**, wie in  $\text{mm}^2$  berichtet, ist bevorzugt mindestens  $4(\pi)(t)$ , wobei „t“ die Dicke **140** des aluminiumbasierten Werkstücks **14** in Millimeter an der Schweißstelle **16** vor der Entstehung der zweiten Kontaktfläche **56** ist. Mit anderen Worten, bei der Berechnung der bevorzugten  $4(\pi)(t)$  Schweißbindungsfläche, ist die Dicke „t“ des aluminiumbasierten Werkstücks **14** die ursprüngliche Dicke des Werkstücks **14**, wie vor der Vertiefung der Schweißfläche **44** durch die zweite Schweißelektrode **40** gemessen. Der Schweißnahtverbindungs Bereich **66** kann wie gewünscht variiert werden, durch die Verwaltung der Größe des geschmolzenen Schweißbades **58**, das in der geschmolzenen Schweißbad-Wachstumstufe gewachsen ist.

**[0043]** Die Schweißlinse **60** kann Schweißfehler beinhalten, die an und entlang der Passschnittstelle **28** innerhalb des Schweißnahtverbindungs Bereichs **66** verteilt sind. Diese Defekte – die Gasporosität, Schrumpfungshohlräume, Mikrorisse und Oberflächen Oxidrückstände beinhalten können – werden vermutlich in Richtung der Passschnittstelle **28** während der Verfestigung des geschmolzenen Schweißbades **58** geschoben, wo sie eine Tendenz aufweisen, die Festigkeit der Schweißnaht **62** zu schwächen, insbesondere die Schälfestigkeit, wie zuvor erläutert. Die Schweißnaht **62** kann auch, zusätzlich zu der Schweißlinse **60**, eine oder mehrere dünne Reaktionsschichten aus Fe-Al-intermetallischen Verbindungen (nicht gezeigt) auf dem Stahlwerkstück **12** und benachbart zu der Passschnittstelle **28** beinhalten, wie zuvor angegeben. Diese Schichten werden hauptsächlich als Ergebnis der Reaktion zwischen dem geschmolzenen Schweißbad **58** und dem Stahlwerkstück **12** bei Punktschweißtemperaturen erzeugt. Die eine oder mehreren Schichten aus Fe-Al-intermetallischen Verbindungen können Intermetalle, wie beispielsweise  $\text{FeAl}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{Al}_5$ , sowie andere beinhalten, und ihre kombinierte Dicke liegt typischerweise im Bereich von 1  $\mu\text{m}$  bis 10  $\mu\text{m}$ . Die harte und spröde Natur der Fe-Al-intermetallischen Verbindungen soll sich auch negativ auf die Festigkeit der Gesamtschweißverbindung **62** auswirken, insbesondere, wenn die Gesamtdicke der kombinierten intermetallischen Schicht 10  $\mu\text{m}$  übersteigt.

**[0044]** Nachdem die Schweißnaht **62** hergestellt wurde, wird die Schweißlinse-Umschmelzstufe durchgeführt. Während der Schweißlinsen-Umschmelzstufe, wird mindestens ein Abschnitt **68** der Schweißlinse **60** umgeschmolzen, wie in **Fig. 5** dargestellt. Der umgeschmolzene Abschnitt **68** der Schweißlinse **60** beinhaltet bevorzugt mindestens ein Teil der Schweißbindungsfläche **66**, die während der geschmolzenen Schweißbad-Verfestigungsstufe hergestellt wurde. Er erstreckt sich auch der Regel nicht den ganzen Weg bis zu der Eindringtiefe **64** der Schweißlinse **60**. Das flachere Eindringen des umgeschmolzenen Abschnitts **68** tritt auf, da zum Zeitpunkt der Schweißlinsen-Umschmelzstufe, die Schweißfläche **44** der zweiten Punktschweißelektrode **40** weiter in das Werkstückstapel-up **10** eingedrückt ist und die zweite Kontaktfläche **56** entsprechend vergrößert ist, sodass elektrischer Strom zwischen den Punktschweißelektroden **36**, **40** über einen breiteren Bereich geleitet wird, was die Wirkung der Förderung des Umschmelzens näher an der Passschnittstelle **28** mit weniger Eindringung in das aluminiumbasierte Werkstück **14** aufweist. Der umgeschmolzene Abschnitt **68** der Schweißlinse **60** kann zudem vollständig auf den Schweißnahtbereich **66** beschränkt werden, oder er kann den gesamten Schweißnahtbereich **66** umgeben und tatsächlich mit frisch geschmolzenem Material aus dem aluminiumbasierten Werkstück **14** außerhalb und angrenzend an den Schweißnahtbereich **66** kombinieren, um einen vergrößerten Schweißnahtbereich **70** (**Fig. 7**) herzustellen. Die Fläche der vergrößerten Schweißnahtfläche **70**, wenn geschaffen, kann bis zu 50 % größer sein als die Schweißbindungsfläche **66** der Schweißlinse **60** vor dem Umschmelzen.

**[0045]** Die Schweißlinse **60** wird mindestens teilweise umgeschmolzen, indem elektrischer Strom zwischen den Punktschweißelektroden **36**, **40** und durch die Werkstücke **12**, **14** für eine dritte Zeitperiode nach der geschmolzenen Schweißbad-Verfestigungsstufe geleitet wird. Das Leiten von elektrischem Strom, wird hier in der Regel auf einer höheren Stärke (Effektivstrom) durchgeführt als in der geschmolzenen Schweißbad-Wachstumsstufe, da die Schweißfläche **44** der zweiten Punktschweißelektrode **40** weiter in den Werkstückstapel **10** gepresst ist und die Passschnittstelle **28** weniger wahrscheinlich Wärme innerhalb der Schweißstelle **16** erzeugt, da die Schweißnaht **62** elektrisch leitfähiger ist als die getrennten, unverbundenen Passflächen **20**, **24** der Werkstücke **12**, **14**. Die Stärke des angewendeten Stroms und die Dauer der dritten Zeitperiode hängen wiederum von den Dicken **120**, **140** der Stahl- und aluminiumbasierten Werkstücke **12**, **14** an der Schweißstelle **16** und den genauen Zusammensetzungen der Werkstücke **12**, **14** ab. Aber in einigen Fällen kann der während der Schweißlinsen-Umschmelzstufe geleitete elektrische Strom ein konstanter Gleichstrom (DC) sein, der eine Stromstärke zwischen 10 kA und 50 kA aufweist

und die Dauer des elektrischen Stromflusses kann zwischen 100 ms und 2000 ms liegen. Der elektrische Strom kann auch gepulst werden, um ähnliche rms Level zu erzeugen.

**[0046]** Der während der Schweißlinsen-Umschmelzstufe gelieferte elektrische Strom, ist bevorzugt in Form von Strompulsen, die in der angewandten Stromstärke über den Verlauf der dritten Zeitspanne ansteigen können oder nicht. Wie zuvor, wenn er gepulst ist, ist das Leiten von elektrischem Strom eine Vielzahl von Strompulsen, die über die dritte Zeitperiode geliefert werden. Jeder Strompuls kann von 10 ms bis 200 ms dauern und eine Spitzenstromstärke zwischen beispielsweise 15 kA und 50 kA aufweisen, mit Perioden von Nullstromfluss, die von 1 ms bis 100 ms und bevorzugt von 5 ms bis 50 ms zwischen den Pulsen dauern. Es lässt sich sagen, dass die Strompulse in der angewandten Stromstärke erhöhen, wenn mindestens 75% der Strompulse und bevorzugt 100%, eine Spitzenstromstärke erreichen, der größer ist als die Spitzenstromstärke des unmittelbar vorhergehenden Strompuls. Die Verwendung von Strompulsen kann in der Schweißlinsen-Umschmelzstufe aus verschiedenen Gründen durchgeführt werden. Vornehmlich, hilft die Verwendung von Strompulsen, übermäßiges Eindringen des umgeschmolzenen Abschnitts **68** der Schweißlinse **60** zu verhindern, indem die Elektrode/ Werkstück kühl gehalten wird, was auch den Vorteil hat, die Betriebslebensdauer der zweiten Schweißelektrode **40** zu erhalten.

**[0047]** Das Umschmelzen der Schweißlinse **60** soll die Festigkeit, einschließlich der Schälffestigkeit, der letztlich gebildeten Schweißnaht **62**, die in Betrieb genommen wird, positiv beeinflussen. Ohne an eine Theorie gebunden zu sein, wird angenommen, dass das Umschmelzen der Schweißlinse **60**, insbesondere der Schweißbindungsfläche **66** an der Passschnittstelle **28**, die verschiedenen Schweißfehler umverteilt und herunter bricht, d. h. die Porosität, Risse und Oxidrückstand, die zu und entlang der Passschnittstelle **28** während der Verfestigung des geschmolzenen Schweißbades **58** getrieben werden, wodurch die Fähigkeit der Schweißlinse **60**, sich mit der Passfläche **20** des Stahlwerkstück **12** zu verbinden, verbessert wird. Die Schaffung des umgeschmolzenen Abschnitts **68**, soll beispielsweise die eingebrachte Gasporosität in der Nähe der Mitte der Schweißlinse **62** konsolidieren und möglicherweise etwas Gas aus dem umgeschmolzenen Abschnitt **68** abgeben, während die thermische Expansion und Kontraktion der Schweißlinse **60** während des Umschmelzen Restoxide und Mikrorisse aufbrechen und zerstreuen soll, die im Schweißnahtbereich **66** oder in der Nähe vorhanden sein können.

**[0048]** Nach der Schweißlinsen-Umschmelzstufe, wird die umgeschmolzene Schweißlinsen-Verfesti-

gungsstufe durchgeführt. Es ist in diesem Schweißlinsen-wieder Verfestigungszustand, dass zusätzliche Kühlung an der äußeren Oberfläche des aluminiumbasierten Werkstücks an und um die Punktschweißstelle durchgeführt wird. Vorrichtung und Verfahren für die zusätzliche Kühlung, werden schematisch in den **Fig. 5**, **Fig. 6A** und **Fig. 6B** veranschaulicht. Diese zusätzliche Kühlung wird verwendet unmittelbar nachdem (oder sogar kurz bevor) der Schweißstromfluss gemäß einem Widerstandspunktschweiß-Stromflussprogramm gestoppt wird. Der Druck der Punktschweißelektroden wird aufrechterhalten, und wenn die Punktschweißelektroden wassergekühlt werden, wird deren Kühlwirkung auf die Werkstücke ebenfalls verwendet.

**[0049]** Während der umgeschmolzenen Schweißbad-Verfestigungsstufe, wird dem umgeschmolzenen Abschnitt **68** der Schweißlinse **60** (sowie jedem umgeschmolzenen Material des aluminiumbasierten Werkstücks **14** außerhalb der ursprünglichen Schweißnahtverbindungsfläche **66**) ermöglicht, abzukühlen und zu verfestigen, wie in **Fig. 6A** gezeigt, bevorzugt mit den Stirnflächen **42**, **44** der ersten und zweiten Punktschweißelektroden **36**, **40** noch in den Kontaktflächen **54**, **56** gegen den Werkstückstapel **10** gedrückt. Der wieder verfestigte Abschnitt **72** der Schweißlinse **60**, der von dem umgeschmolzenen Abschnitt **68** abgeleitet wird, wird hier als ein ausgeprägter Teil der Schweißlinse **60** dargestellt, obwohl der wieder verfestigte Abschnitt **72** in der tatsächlichen Praxis nicht so leicht von dem Teil(en) der Schweißlinse **60** (falls vorhanden) zu unterscheiden sein kann, die keinem Umschmelzen und wieder Verfestigen unterzogen werden. Und, wie oben angedeutet, soll der wieder verfestigte Abschnitt **72** der Schweißlinse **60**, weniger Schweißfehler bei oder in der Nähe der Passschnittstelle **28** enthalten, als andernfalls aufgrund der Kombination der Schweißlinsen-Umschmelzstufe und dem Aufbringen der zusätzlichen Kühlung vorhanden wären, wie unter Bezugnahme auf die **Fig. 5**, **Fig. 6A** und **Fig. 6B** beschrieben werden wird.

**[0050]** Vor oder während der Aktivierung der ersten und zweiten Punktschweißelektroden **36**, **40** wird ein Satz von Rohren **80** für die Abgabe von gekühlter Luft in einem kreisförmigen Muster um die Schweißelektrode **40** positioniert, die noch gegen die obere Fläche **26** des aluminiumbasierten Werkstücks **14** an der Schweißstelle **16** gedrückt ist. Zwei solche Rohre **80** sind in den **Fig. 5** und **Fig. 6A** dargestellt. Jedes Rohr weist ein oberes Einlassende **82** zum Aufnehmen einer Strömung von Kühlluft, Stickstoff oder einem anderem ausgewählten Gas zur Kühlung der Oberfläche **26** des aluminiumbasierten Werkstücks auf. Und jedes Rohr hat ein unteres Auslassende **84** für die Leitung und Lieferung des Kühlgasstroms gegen die Oberfläche **26** in einem kreisförmigen Bereich um die Schweißstelle **16**. Wie dar-

gestellt, können die Rohre **80** in einer geneigten Position gestützt werden, um das Kühlgas auf den zu kühlenden Oberflächenbereich des aluminiumbasierten Werkstücks **14** zu richten. Zum Beispiel kann eine Gruppe von Gaslieferrohren **80** (beispielsweise drei oder vier Rohre) auf einem halbkreisförmigen Halter oder Rahmen (nicht dargestellt) gestützt werden und ein Paar solcher Mehrrohr-Kühlluftliefer-Anordnungen in einer kreisförmigen Anordnung um die Widerstandsschweißelektrode **40** platziert werden, mit den Auslassenden **84** der Rohre **80** gerichtet, um Kühlgas gegen die Oberfläche **26** des aluminiumbasierten Werkstücks **14** zu liefern. Diese Anordnung der gestützten Kühlrohre oder eine andere Kühlvorrichtung kann zu Beginn des Schweißprogramms um die Widerstandsschweißelektrode **40** herum angeordnet werden, wenn die Widerstandsschweißelektroden **36**, **40** zunächst gegen die Oberflächen **54**, **56** der Werkstücke **12**, **14** gepresst werden. Aber die Kühlvorrichtung sollte nicht später in der Position um die Schweißelektrode **40** sein, als bei einem letzten Schritt der flüssigen Schweißbad-Bildung **68**, wie in **Fig. 5** dargestellt. Andere Gasströmungs-Kühlvorrichtungen sind möglich, wie beispielsweise ein Rundrohr oder Verteiler, der den Elektrodenkörper umgibt und Kühlgas durch Öffnungen in Richtung der Oberfläche **26** des aluminiumbasierten Werkstücks **14** leitet.

**[0051]** In dieser Kühlausführungsform, die Rohre **80** für die Lieferung von Kühlluft oder einem anderen Gas verwendet, wie in den **Fig. 5** und **Fig. 6A** dargestellt, wird eine geeignete Quelle für das Kühlgas oder Fluid (nicht dargestellt) bereitgestellt, mit den Gaslieferungsrouten bereitgestellt, um das Kühlmittel an einen Verteiler oder eine andere Vorrichtung zu liefern, um das Kühlgas in die Einlässe **82** jedes der Rohre **80** zu leiten. Mit dem Abschluss der flüssigen Schweißlinsen-Bildung (beispielsweise das flüssige Nugget **68** in **Fig. 5**) in dem Punktschweißprogramm, wird eine schnelle und wirksame wieder Verfestigung des kleinen Schweißflüssigkeitsbads **68** erreicht.

**[0052]** Der Schweißstromfluss in die Elektroden **36**, **40** wird angehalten, und wenn sie, beispielsweise Wasser gekühlt sind, tragen die Widerstandspunktschweiß-Elektroden zur Kühlung der flüssigen Schweißlinse bei. Und die Umgebungsluft trägt zu dem wieder Verfestigungsvorgang bei. Aber in dieser Ausführungsform des vorliegenden Verfahrens wird ein gesteuertes Volumen von Kühlgas oder Flüssigkeit, das auf unterhalb der Umgebungstemperatur abgekühlt werden kann, in einem Strom **86** von den Auslässen **84** der Rohre **80** bei einer vorbestimmten Temperatur oder Temperaturbereich geliefert, und wird, wie in **Fig. 6A** veranschaulicht, gegen den Abschnitt der Aluminiumwerkstück-Außenfläche **26** geleitet, die die Kontaktfläche **56** umgibt, die die Fläche **44** der Schweißelektrode **40** kontaktiert. Die Volumenstromgeschwindigkeit des Kühlgas-

ses muss ausreichend sein, um die Richtung der Verfestigung des Schweißbades zu modifizieren, und ist bevorzugt größer als  $10 \text{ cm}^3/\text{s}$  und besonders bevorzugt größer als  $50 \text{ cm}^3/\text{s}$ . Durch Versuch oder Erfahrung wird eine geeignete Volumenstromgeschwindigkeit für das Kühlgas erreicht, und weitere Erhöhungen der Strömungsgeschwindigkeit werden die Eigenschaften der Punktschweißverbindung nicht wesentlich verbessern.

**[0053]** Dieser Kühlvorgang wird verwaltet, um die progressive Verfestigungsfront in der flüssigen Linse **68** (Fig. 5) zu leiten, sodass Verunreinigungen (feuerfeste Al-haltige Oxide, intermetallische Al-Fe-Verbindungen und dergleichen) in der Schmelze radial nach innen und nach unten an der Oberfläche **24** der Schweißstelle **16** begrenzt sind. Ein Ziel des Abkühlvorgangs ist, solche Verunreinigungen zentral, gegen die Stahlwerkstück-Passfläche **28** in einem relativ kleinen Bereich **74** der verfestigten Linse **72** (Fig. 6A) liegend, zu begrenzen. Der Strom **86** des gekühlten Gases wird verwendet, um die der flüssigen Linse in einer Richtung radial nach innen entlang der Stahl-Passfläche schneller zu erhöhen, während die Verfestigung nach unten von der Aluminium Oberfläche **26** in Richtung der Stahl-Passfläche **28** mit der gleichen Geschwindigkeit erhalten wird. Diese verbesserte Verfestigung in radialer Richtung wird Verunreinigungen und Defekte in Richtung der Mitte (zum Beispiel Bereich **74**) der Schweißlinse **72** treiben.

**[0054]** Eine andere kreisförmige Kühlvorrichtung **90** zur Herstellung einer verfeinerten erstarrten Schweißlinse **74** ist in Fig. 6B dargestellt. In der Kühlvorrichtung **90** ist ein flüssiges oder gasförmiges Kühlmaterial enthalten und in einem wärmeleitenden Metallrohr **92**, das wiederum in gutem Wärmeübertragungskontakt mit der geformten Behälteroberfläche **94** ist, umgewälzt. Die Behälteroberfläche **94** ist mit reichlich Wärmeübertragungsfläche gebildet, für die Platzierung um (aber nicht berührend) die Widerstandsschweißelektrode **40** und gegen äußere Oberfläche **26** des Aluminiumwerkstücks **14**. Ein Kühlmittel kann zu und von der Vorrichtung **90** geliefert werden. Und Kühlvorrichtung **90** wird betrieben, um die Verfestigung der flüssigen Schweißlinse **68** unter Verwendung des Kühlgasliefersystems zu verfeinern, wie oben beschrieben.

**[0055]** Nachdem das mehrstufige Punktschweißverfahren in der Bildung der Schweißnaht **62** resultiert hat, einschließlich der Schweißlinse **60** mit dem wieder verfestigten Abschnitt **72**, werden die ersten und zweiten Punktschweißelektroden **36**, **40** von ihren jeweiligen Kontaktflächen **54**, **56** zurückgezogen. Der Werkstückstapel **10** und das zugehörige Kühlsystem (beispielsweise Rohre **80**, Vorrichtung **90**) wird dann nacheinander relativ zu der Schweißzange **18** an anderen Schweißstellen **16** angeordnet und der mehrstufige Punktschweißvorgang wird an diesen Stellen

**16** wiederholt, oder der Werkstückstapel **10** wird von der Schweißzange **18** weg bewegt, um Platz für einen anderen Stapel zu machen. Das oben beschriebene mehrstufige Punktschweißverfahren kann so viele Male an verschiedenen Schweißstellen auf dem gleichen Werkstückstapel sowie verschiedenen Werkstückstapeln in einer Herstellungsumgebung durchgeführt werden, um erfolgreich, konsistent und zuverlässig Schweißnähte zwischen einem Stahlwerkstück und einem aluminiumbasierten Werkstück zu bilden.

**[0056]** Die obige Beschreibung der bevorzugten beispielhaften Ausführungsformen und spezielle Beispiele besitzen lediglich einen beschreibenden Charakter; Sie sollen nicht den Umfang der folgenden Ansprüche begrenzen. Jeder der in den beigefügten Patentansprüchen verwendeten Begriffe sollte in seiner gewöhnlichen und Allgemeinen Bedeutung verstanden werden, soweit nicht ausdrücklich und eindeutig in der Beschreibung anders angegeben.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- US 6861609 [0032]
- US 8222560 [0032]
- US 8274010 [0032]
- US 8436269 [0032]
- US 8525066 [0032]
- US 2009/0255908 [0032]

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Widerstandspunktschweißen eines Werkstückstapels, der ein aluminiumbasiertes Werkstück und ein Stahlwerkstück beinhaltet, um eine Widerstandspunktschweißstelle zwischen dem aluminiumbasierten Werkstück und dem Stahlwerkstück zu bilden, wobei das Verfahren Folgendes umfasst:

Kontaktieren eines Werkstückstapels mit einem Paar von Punktschweißelektroden, sodass die Punktschweißelektroden Kontakt mit gegenüberliegenden Seiten des Werkstückstapels machen, wobei der Werkstückstapel ein aluminiumbasiertes Werkstück und ein Stahlwerkstück umfasst, wobei das aluminiumbasierte Werkstück eine Passfläche aufweist und das Stahlwerkstück eine Passfläche aufweist, und wobei die aneinander Passflächen des aluminiumbasierten Werkstücks und des Stahlwerkstücks überlappen und miteinander in Kontakt sind, um eine Passschnittstelle zwischen den Werkstücken bereitzustellen; und

Steuern der Leitung von elektrischem Strom zwischen den Punktschweißelektroden und durch das aluminiumbasierte Werkstück und das Stahlwerkstück, um mindestens eine Stufe der Schweißnahtentwicklung durchzuführen, die das Wachsen eines geschmolzenen Schweißbads in dem aluminiumbasierten Werkstück beinhaltet, das sich von der Passschnittstelle in das aluminiumbasierte Werkstück erstreckt; und

Kühlen des geschmolzenen Schweißbads, um sich in eine Schweißlinse zu verfestigen, die eine Schweißbindungsfläche beinhaltet, die mit der Passfläche des Stahlwerkstücks verbunden ist, wobei das Kühlen des geschmolzenen Schweißbads das Kühlen der gegenüberliegenden Seitenfläche des aluminiumbasierten Werkstücks in dem Bereich der gegenüberliegenden Seitenflächen umfasst, die den Bereich umgibt, die durch die Punktschweißelektroden kontaktiert werden, wobei das Kühlen gesteuert wird, um die Schälffestigkeit der Punktschweißverbindung zwischen den gestapelten Werkstücken zu erhöhen und die Restspannung in den Werkstücken an der Punktschweißstelle zu reduzieren.

2. Verfahren nach Anspruch 1, worin eine rundes Schmelzbad in dem aluminiumbasierten Werkstück gebildet wird, worin das geschmolzene Schmelzbad eine Radiusabmessung und eine Umfangsabmessung an der Passschnittstelle aufweist und die Radiusabmessungen und Umfangsabmessungen abnehmen, wenn sich das geschmolzene Bad in das aluminiumbasierte Werkstück ausweitet, und wobei das Kühlen an der gegenüberliegenden Seitenfläche des aluminiumbasierten Werkstücks gesteuert wird, um die Verfestigung des geschmolzenen Schweißbades zu veranlassen, radial nach innen von seinen Umfangsabmessungen fortzufahren, um festes Material, anderes als die zu verdrängende aluminiumbasierte

Zusammensetzung, in Richtung des Mittelabschnitts der verfestigten Schweißlinse an der Passschnittstelle zu ersetzen.

3. Verfahren nach Anspruch 1, worin ein Strom eines Kühlgases auf die gegenüberliegende Seitenfläche des aluminiumbasierten Werkstücks geleitet wird, die den Bereich umgibt, der von der Punktschweißelektrode kontaktiert wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1, worin ein Strom eines Kühlgases auf die gegenüberliegende Seitenfläche des aluminiumbasierten Werkstücks geleitet wird, die die Fläche umgibt, die von der Punktschweißelektrode kontaktiert wird, worin das Kühlgas bei einer Temperatur im Bereich von 15 °C bis 0 °C liegt, wenn es gegen die Oberfläche des Werkstücks strömt.

5. Verfahren nach Anspruch 3, worin die Strömungsgeschwindigkeit des Kühlgases größer ist als 10 cm<sup>3</sup>/s und bis zu einer Gasströmungsgeschwindigkeit, die nicht in einer weiteren Erhöhung der Schälffestigkeit der Punktschweißverbindung resultiert.

6. Verfahren nach Anspruch 3, worin die Strömungsgeschwindigkeit des Kühlgases größer ist als 50 cm<sup>3</sup>/s und bis zu einer Gasströmungsgeschwindigkeit, die nicht in einer weiteren Erhöhung der Schälffestigkeit der Punktschweißverbindung resultiert.

7. Verfahren nach Anspruch 1, worin eine Oberfläche eines Wärmetauschers in Kontakt mit der gegenüberliegenden Seitenfläche des aluminiumbasierten Werkstücks platziert wird, die den Bereich umgibt, der von der Punktschweißelektrode kontaktiert wird.

8. Verfahren nach Anspruch 1, worin eine Oberfläche eines Wärmetauschers in Kontakt mit der gegenüberliegenden Seitenfläche des aluminiumbasierten Werkstücks platziert wird, die den Bereich umgibt, der von der Punktschweißelektrode kontaktiert wird, wobei die Kontaktfläche des Wärmetauschers bei einer Temperatur im Bereich von 15 °C bis 0 °C liegt.

9. Verfahren zum Widerstandspunktschweißen eines Werkstückstapels, der ein aluminiumbasiertes Werkstück und ein Stahlwerkstück umfasst, um eine Widerstandspunktschweißstelle zwischen dem aluminiumbasierten Werkstück und dem Stahlwerkstück zu bilden, wobei das Verfahren Folgendes umfasst: Kontaktieren eines Werkstückstapels mit einem Paar von Punktschweißelektroden, sodass die Punktschweißelektroden Kontakt mit gegenüberliegenden Seiten des Werkstückstapels machen, wobei der Werkstückstapel ein aluminiumbasiertes Werkstück und ein Stahlwerkstück umfasst, wobei das aluminiumbasierte Werkstück eine Passfläche aufweist und das Stahlwerkstück eine Passfläche aufweist, und

wobei die aneinander Passflächen des aluminiumbasierten Werkstücks und des Stahlwerkstücks überlappen und miteinander in Kontakt sind, um eine Passschnittstelle zwischen den Werkstücken bereitzustellen; und

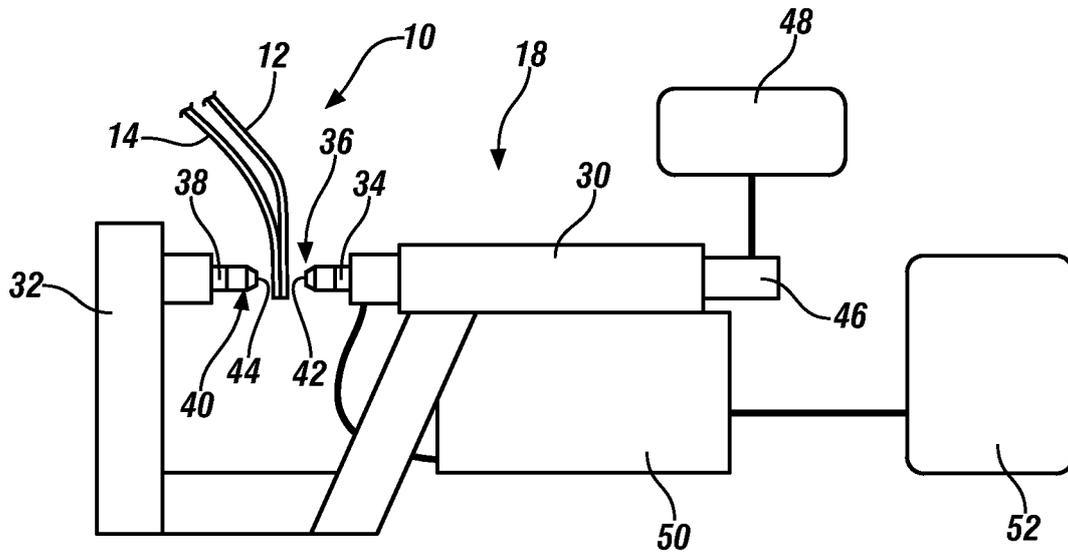
Steuern der Leitung von elektrischem Strom zwischen den Punktschweißelektroden und durch das aluminiumbasierte Werkstück und das Stahlwerkstück, um zwei Stufen der Schweißnahtentwicklung durchzuführen, wobei jede Stufe das Wachsen eines geschmolzenen Schweißbads in dem aluminiumbasierten Werkstück, das sich von der Passschnittstelle in das aluminiumbasierte Werkstück erstreckt, und das wieder Verfestigen des umgebildeten geschmolzenen Schweißbads umfasst; und der zweiten Stufe des Wachsens eines geschmolzenen Schweißbads folgend,

Kühlen des zweiten geschmolzenen Schweißbads, um sich in eine Schweißlinse zu verfestigen, die eine Schweißbindungsfläche umfasst, die mit der Passfläche des Stahlwerkstücks verbunden ist, wobei das Kühlen des geschmolzenen Schweißbads das Kühlen der gegenüberliegenden Seitenfläche des aluminiumbasierten Werkstücks in dem Bereich der gegenüberliegenden Seitenflächen umfasst, die den Bereich umgibt, die durch die Punktschweißelektroden kontaktiert werden, wobei das Kühlen gesteuert wird, um die Schälfestigkeit der Punktschweißverbindung zwischen den gestapelten Werkstücken zu erhöhen und die Restspannung in den Werkstücken an der Punktschweißstelle zu reduzieren.

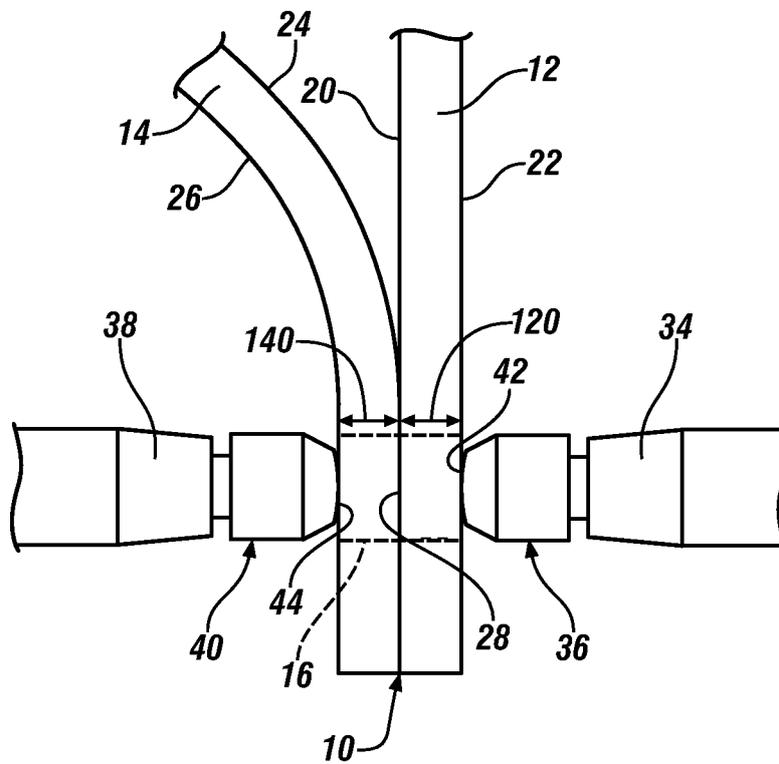
10. Verfahren nach Anspruch 9, worin ein Strom eines Kühlgases auf die gegenüberliegende Seitenfläche des aluminiumbasierten Werkstücks geleitet wird, die den Bereich umgibt, der von der Punktschweißelektrode kontaktiert wird.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

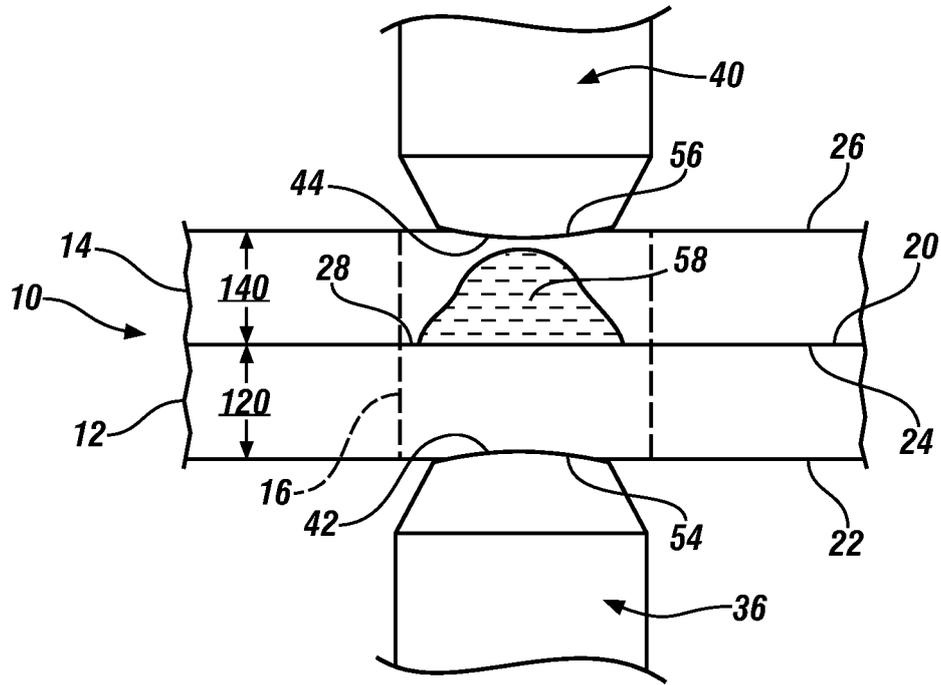
Anhängende Zeichnungen



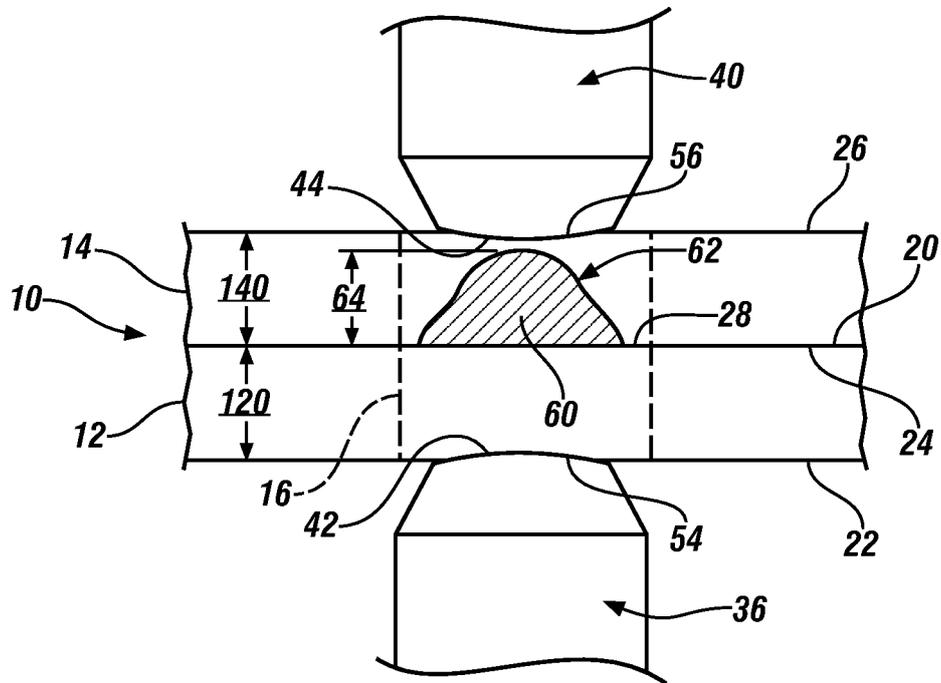
**FIG. 1**



**FIG. 2**

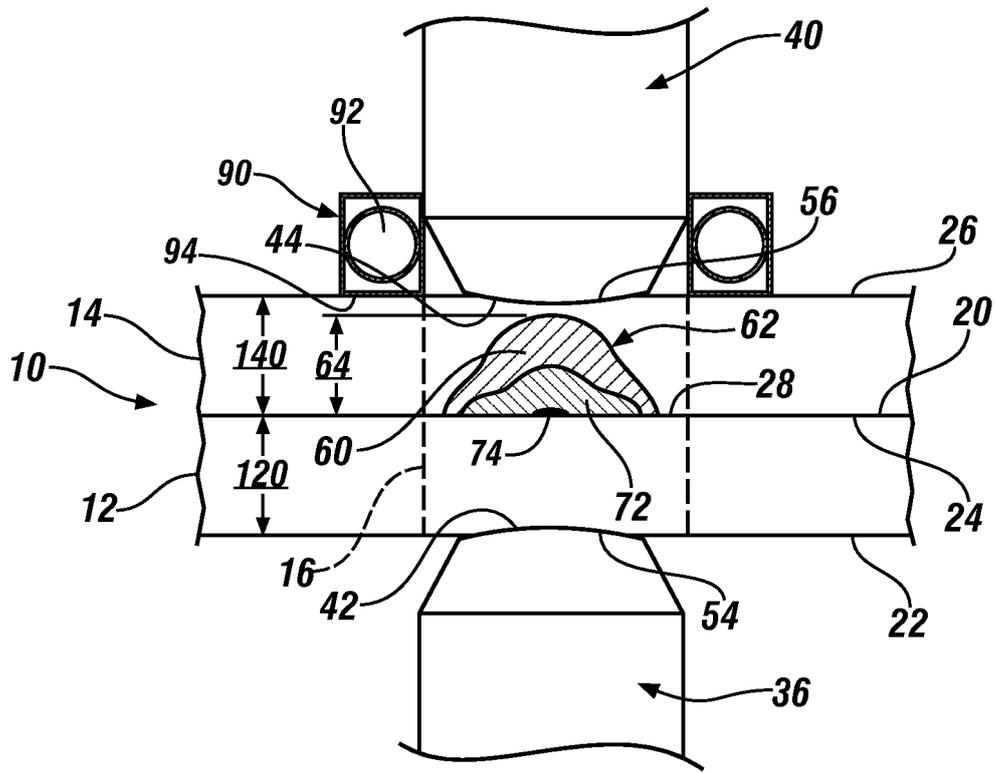


**FIG. 3**

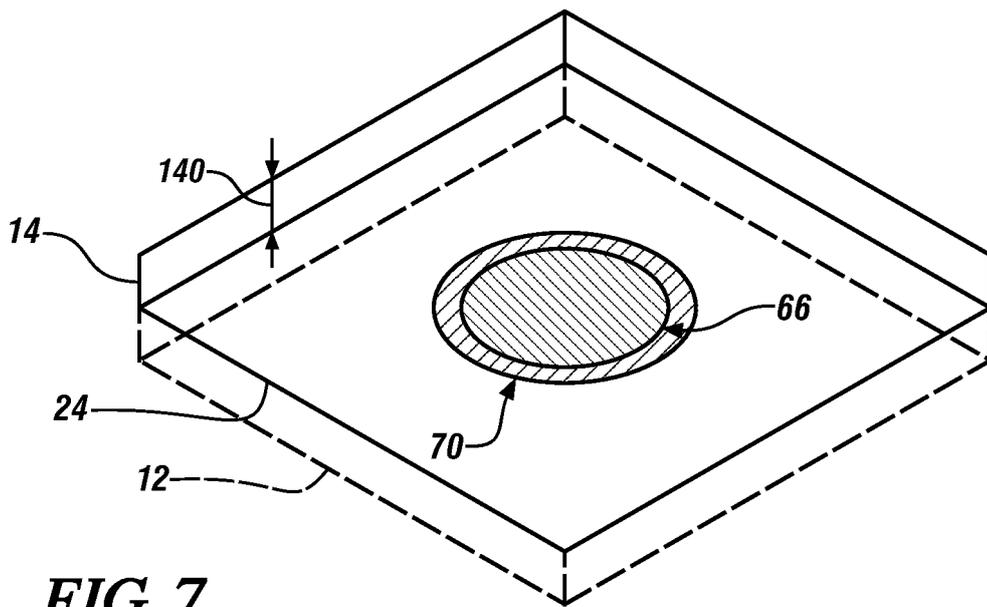


**FIG. 4**





**FIG. 6B**



**FIG. 7**