



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2015 108 796.0**

(22) Anmeldetag: **03.06.2015**

(43) Offenlegungstag: **10.12.2015**

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

(30) Unionspriorität:

**62/010,204**      **10.06.2014**    **US**  
**14/724,070**      **28.05.2015**    **US**

(74) Vertreter:

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

(71) Anmelder:

**GM Global Technology Operations LLC (n. d. Ges.  
d. Staates Delaware), Detroit, Mich., US**

(72) Erfinder:

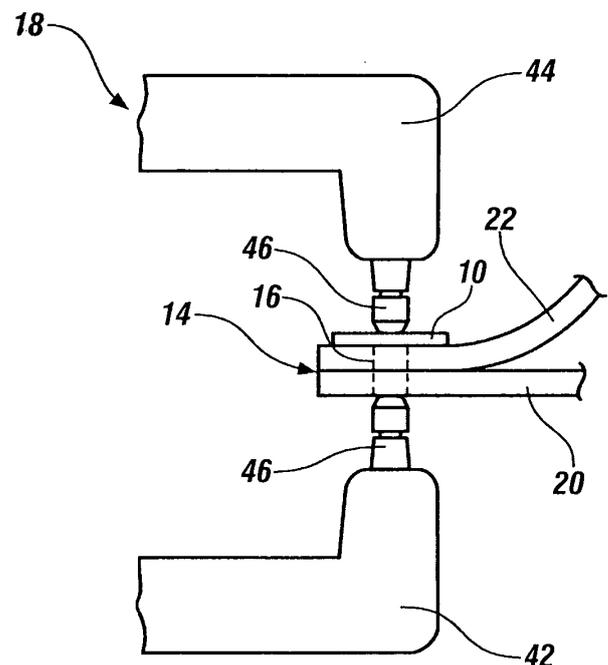
**Sigler, David R., Shelby Township, Mich., US;  
Carlson, Blair E., Ann Arbor, Mich., US; Yang,  
David, Shanghai, CN; Wang, Hui-Ping, Troy, Mich.,  
US**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

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

(54) Bezeichnung: **Abdeckplatte mit Eindringmerkmal zum Verbessern des Punktschweißens von AL an Stahl**

(57) Zusammenfassung: Ein Verfahren zum Punktschweißen eines Werkstückstapels, der ein Stahlwerkstück und ein benachbartes Aluminiumlegierungs-Werkstück umfasst, beinhaltet, dass ein elektrischer Strom durch die Werkstücke und zwischen entgegengesetzte Schweißelektroden geleitet wird. Die Ausbildung einer Schweißverbindung zwischen den benachbarten Stahl- und Aluminiumlegierungs-Werkstücken wird durch eine Abdeckplatte unterstützt, die zwischen dem Aluminiumlegierungs-Werkstück, das benachbart zu dem Stahlwerkstück liegt, und der auf der gleichen Seite des Werkstückstapels angeordneten Schweißelektrode angeordnet ist. Die Abdeckplatte, die ein Eindringmerkmal umfasst, führt ein Flussmuster und eine Dichte des elektrischen Stromes, der durch die benachbarten Stahl- und Aluminiumlegierungs-Werkstücke fließt, in einer Weise herbei, die dabei hilft, die Festigkeit der Schweißverbindung zu verbessern.



**Beschreibung**QUERVERWEIS AUF  
VERWANDTE ANMELDUNGEN

**[0001]** Diese Anmeldung beansprucht die Priorität der vorläufigen U.S.-Anmeldung Nr. 62/010 204, eingereicht am 10 Juni 2014, deren gesamter Inhalt hiermit durch Bezugnahme aufgenommen ist.

## TECHNISCHES GEBIET

**[0002]** Das technische Gebiet der Offenbarung betrifft allgemein das Widerstandspunktschweißen und im Spezielleren das Widerstandspunktschweißen eines Stahlwerkstückes an Aluminiumlegierungs-Werkstück.

## HINTERGRUND

**[0003]** Das Widerstandspunktschweißen ist ein Prozess, der in einer Anzahl von Industrien verwendet wird, um zwei oder mehr Metallwerkstücke zusammenzufügen. Beispielsweise verwendet die Automobilindustrie das Widerstandspunktschweißen oft, um vorgefertigte Metallwerkstücke während der Fertigung u. a. einer/s Fahrzeughür, -haube, -Kofferraumdeckels, oder -Heckklappe zusammenzufügen. In der Regel wird eine Anzahl von Punktschweißnähten entlang einer umlaufenden Kante der Metallwerkstücke oder einer anderen Bindungsregion gebildet, um sicherzustellen, dass das Teil strukturell einwandfrei ist. Während das Punktschweißen in der Regel praktiziert wurde, um bestimmte, ähnlich zusammengesetzte Metallwerkstücke – z. B. Stahl an Stahl und Aluminiumlegierung an Aluminiumlegierung – zusammenzufügen, hat der Wunsch, leichtere Materialien in eine Fahrzeugkarosseriestruktur einzubauen zu einem Interesse daran geführt, Stahlwerkstücke mittels Widerstandspunktschweißen an Aluminiumlegierungs-Werkstücke zu fügen. Insbesondere würde die Möglichkeit des Widerstandspunktschweißens von Werkstückstapeln, die unterschiedliche Werkstückkombinationen (z. B. Stahl/Stahl, Aluminiumlegierung/Stahl und Aluminiumlegierung/Aluminiumlegierung) enthalten, die Produktionsflexibilität fördern und Fertigungskosten reduzieren, da viele Fahrzeugmontagewerke bereits Punktschweiß-Infrastrukturen vor Ort haben. Der zuvor erwähnte Wunsch des Widerstandspunktschweißens von artungleichen Metallwerkstücken ist nicht nur der Automobilindustrie eigen; tatsächlich ist er in viele Industrien vorhanden, die das Punktschweißen als ein Fügeverfahren nutzen können, umfassend u. a. die Luftfahrt, die Schifffahrt, die Eisenbahn und die Bauindustrie.

**[0004]** Das Widerstandspunktschweißen beruht allgemein auf dem Widerstand gegen den Fluss eines elektrischen Stromes durch überlappende Metallwerkstücke und über deren Stoßgrenzfläche(n)

hinweg, um Wärme zu erzeugen. Um solch einen Schweißprozess auszuführen, wird ein Satz aus zwei entgegengesetzten Punktschweißelektroden an ausgerichteten Punkten auf gegenüberliegende Seiten des Werkstückstapels geklemmt, der in der Regel zwei oder drei Metallwerkstücke umfasst, die in einer überlappenden Konfiguration an einer vorbestimmten Schweißstelle angeordnet sind. Dann wird ein elektrischer Strom von einer Schweißelektrode zu der anderen durch die Metallwerkstücke hindurch geleitet. Der Widerstand gegen den Fluss dieses elektrischen Stromes erzeugt Wärme innerhalb der Metallwerkstücke und an deren Stoßgrenzfläche(n). Wenn der Werkstückstapel ein Stahlwerkstück und ein benachbartes Aluminiumlegierungs-Werkstück umfasst, initiiert und bringt die an der Stoßgrenzfläche und innerhalb des Hauptmaterials dieser artungleichen Metallwerkstücke erzeugte Wärme ein Schmelzbad aus geschmolzener Aluminiumlegierung zum Wachsen, das sich von der Stoßgrenzfläche weg in das Aluminiumlegierungs-Werkstück hinein erstreckt. Dieses Schmelzbad aus geschmolzener Aluminiumlegierung benetzt die benachbarte Stoßfläche des Stahlwerkstückes und erstarrt nach Beenden des Stromflusses zu einer Schweißlinse, welche eine ganze Schweißverbindung oder einen Teil davon bildet, welche die beiden Werkstücke aneinander bindet.

**[0005]** In der Praxis stellt das Punktschweißen eines Stahlwerkstückes an ein Aluminiumlegierungs-Werkstück allerdings eine Herausforderung dar, da eine Anzahl von Eigenschaften dieser beiden Metalle die Festigkeit – vor allem die Abschälfestigkeit – der Schweißverbindung nachteilig beeinflussen kann. Zum einen enthält das Aluminiumlegierungs-Werkstück üblicherweise eine oder mehrere mechanisch zähe, elektrisch isolierende und selbstregenerierende, feuerfeste Oxidschichten auf seiner Oberfläche. Die Oxidschicht(en) besteht/en in der Regel aus Aluminiumoxiden, können aber auch andere Metalloxidverbindungen einschließlich Magnesiumoxide umfassen, wenn das Aluminiumlegierungs-Werkstück aus einer magnesiumhaltigen Aluminiumlegierung besteht. Infolge ihrer physikalischen Eigenschaften neigt/en die feuerfeste/n Oxidschicht(en) dazu, an der Stoßgrenzfläche intakt zu bleiben, wo sie die Fähigkeit des Schmelzbades aus geschmolzener Aluminiumlegierung, das Stahlwerkstück zu benetzen, behindern können, und auch eine Quelle für Fehlstellen nahe der Grenzfläche innerhalb des wachsenden Schmelzbades bereitstellen. Die isolierende Beschaffenheit der Oberflächenoxidschicht(en) erhöht auch den elektrischen Kontaktwiderstand des Aluminiumlegierungs-Werkstückes – und zwar an seiner Stoßgrenzfläche und an seinem Elektrodenkontaktpunkt – was es schwierig macht, die Wärme innerhalb des Aluminiumlegierungs-Werkstückes effektiv zu steuern und zu konzentrieren. Man hat sich in der Vergangenheit bemüht, die Oxidschicht

(en) vor dem Punktschweißen von dem Aluminiumlegierungs-Werkstück zu entfernen. Derartige Entferungsverfahren können jedoch unpraktisch sein, da die Oxidschicht(en) die Fähigkeit besitzt/en, sich in Gegenwart von Sauerstoff zu regenerieren, insbesondere mit der Anwendung von Wärme von Punktschweißvorgängen.

**[0006]** Das Stahlwerkstück und das Aluminiumlegierungs-Werkstück besitzen auch unterschiedliche Eigenschaften, die dazu neigen, den Punktschweißprozess kompliziert zu machen. Insbesondere weist Stahl einen relativ hohen Schmelzpunkt ( $-1500^{\circ}\text{C}$ ) und einen relativ hohen elektrischen und thermischen Widerstand auf, wohingegen das Aluminiumlegierungsmaterial einen relativ niedrigen Schmelzpunkt ( $-600^{\circ}\text{C}$ ) und einen relativ niedrigen elektrischen und thermischen Widerstand aufweist. Infolge dieser physikalischen Unterschiede wird während eines Stromflusses der Großteil der Wärme in dem Stahlwerkstück erzeugt. Dieses Wärmeungleichgewicht bildet einen Temperaturgradienten zwischen dem Stahlwerkstück (höhere Temperatur) und dem Aluminiumlegierungs-Werkstück (niedrigere Temperatur), der ein schnelles Schmelzen des Aluminiumlegierungs-Werkstückes initiiert. Die Kombination aus dem während des Stromflusses erzeugten Temperaturgradienten und der hohen thermischen Leitfähigkeit des Aluminiumlegierungs-Werkstückes bedeutet, dass unmittelbar nachdem der elektrische Strom beendet wird, eine Situation auftritt, in der Wärme nicht symmetrisch von der Schweißstelle verteilt wird. Vielmehr wird Wärme von dem heißeren Stahlwerkstück durch das Aluminiumlegierungs-Werkstück hindurch in Richtung der Schweißelektrode auf der anderen Seite des Aluminiumlegierungs-Werkstückes geleitet, was einen steilen Temperaturgradienten zwischen dem Stahlwerkstück und dieser bestimmten Schweißelektrode erzeugt.

**[0007]** Man nimmt an, dass die Entwicklung eines steilen Temperaturgradienten zwischen dem Stahlwerkstück und der Schweißelektrode auf der anderen Seite des Aluminiumlegierungs-Werkstückes die Integrität der resultierenden Schweißverbindung auf zwei primäre Arten schwächt. Erstens, da das Stahlwerkstück Wärme für eine längere Dauer zurückhält als das Aluminiumlegierungs-Werkstück, nachdem der elektrische Strom aufgehört hat, erstarrt das Schmelzbad aus geschmolzener Aluminiumlegierung gerichtet, beginnend mit der Region, die der kälteren Schweißelektrode (oft wassergekühlt) am nächsten liegt, in Verbindung mit dem Aluminiumlegierungs-Werkstück, und sich in Richtung der Stoßgrenzfläche ausbreitend. Eine Erstarrungsfront dieser Art neigt dazu, Fehlstellen – z. B. Gasporosität, Schrumpfungshohlräume, Mikrorissbildung und Oberflächenoxidrückstände – in Richtung und entlang der Stoßgrenzfläche innerhalb der Schweißlinse mitzureißen oder treiben. Zweitens begünstigt die an-

haltend hohe Temperatur in dem Stahlwerkstück das Wachstum von spröden, intermetallischen Fe-Al-Verbindungen an und entlang der Stoßgrenzfläche. Die intermetallischen Verbindungen neigen dazu, dünne Reaktionsschichten zwischen der Schweißlinse und dem Stahlwerkstück zu bilden. Diese intermetallischen Schichten werden, wenn sie vorhanden sind, allgemein als Teil der Schweißverbindung zusätzlich zu der Schweißlinse betrachtet. Das Vorhandensein einer Verteilung von Schweißlinsefehlstellen zusammen mit dem übermäßigen Wachstum von intermetallischen Fe-Al-Verbindungen entlang der Stoßgrenzfläche neigt dazu, die Abschälbarkeit der endgültigen Schweißverbindung herabzusetzen.

**[0008]** Im Licht der zuvor erwähnten Herausforderungen haben bisherige Bemühungen, ein Stahlwerkstück und ein Werkstück auf Aluminiumbasis punktschweißen, einen Schweißplan verwendet, der höhere Ströme, längere Schweißzeiten oder beides (verglichen mit dem Punktschweißen von Stahl an Stahl) vorschreibt, um eine vernünftige Schweißverbindungsfläche zu versuchen und zu erhalten. Diese Bemühungen waren großteils erfolglos in einer Fertigungsumgebung und haben die Tendenz, die Schweißelektroden zu beschädigen. Da die bisherigen Punktschweißbemühungen nicht besonders erfolgreich waren, wurden stattdessen vorwiegend mechanische Verbindungselemente wie z. B. Schlagniete und Flow-Drill-Schrauben verwendet. Es dauert jedoch viel länger, solche mechanischen Verbindungselemente an Ort und Stelle zu setzen, und sie bringen verglichen mit dem Punktschweißen hohe Verbrauchsmaterialkosten mit sich. Sie fügen der Fahrzeugkarosseriestruktur auch Gewicht hinzu – Gewicht, das vermieden wird, wenn das Fügen mittels Punktschweißen bewerkstelligt wird – das einige der durch die Verwendung von Aluminiumlegierungs-Werkstücken erreichten Gewichtseinsparungen von vornherein aufhebt. Fortschritte beim Punktschweißen, die den Prozess besser in die Lage versetzen würden, Stahl- an Aluminiumlegierungs-Werkstücke zu fügen, wären daher eine willkommene Ergänzung auf dem technischen Gebiet.

#### ZUSAMMENFASSUNG DER OFFENBARUNG

**[0009]** Es ist ein Verfahren zum Widerstandspunktschweißen eines Werkstückstapels offenbart, der zumindest ein Stahlwerkstück und ein überlappendes benachbartes Aluminiumlegierungs-Werkstück umfasst. Der Werkstückstapel kann auch ein zusätzliches Werkstück wie z. B. ein weiteres Stahlwerkstück oder ein weiteres Aluminiumlegierungs-Werkstück umfassen, solange das Aluminiumlegierungs-Werkstück eine Seite des Stapels bereitstellt und das Stahlwerkstück die andere Seite des Werkstückstapels bereitstellt. Der Werkstückstapel kann als solcher nur ein Stahlwerkstück und ein überlappen-

des Aluminiumlegierungs-Werkstück umfassen, oder er kann zwei aneinandergrenzende Stahlwerkstücke, die benachbart zu einem Aluminiumlegierungs-Werkstück angeordnet sind, oder zwei aneinandergrenzende Aluminiumlegierungs-Werkstücke umfassen, die benachbart zu einem Stahlwerkstück angeordnet sind. Außerdem können, wenn der Werkstückstapel drei Werkstücke umfasst, die zwei Werkstücke mit einer gleichartigen Zusammensetzung durch separate und eigene Teile vorgesehen sein, oder sie können alternativ durch das gleiche Teil vorgesehen sein.

**[0010]** Das offenbarte Verfahren umfasst, dass eine Abdeckplatte, die ein Eindringmerkmal umfasst, benachbart zu einem Aluminiumlegierungs-Werkstück auf einer Seite des Werkstückstapels an einer Schweißstelle angeordnet wird. Die Abdeckplatte kann so gebaut sein, dass sie einen höheren thermischen und elektrischen Widerstand aufweist als das Aluminiumlegierungs-Werkstück, neben dem sie angeordnet ist, muss aber nicht. Dann wird eine Schweißelektrode mit der Abdeckplatte über dem Eindringmerkmal in Kontakt gebracht und dagegen gepresst, während eine weitere Schweißelektrode in Kontakt mit einer entgegengesetzten Seite des Werkstückstapels in Kontakt gebracht und dagegen gepresst wird. Ein elektrischer Strom mit einer hinreichenden Stärke und Dauer (konstant oder gepulst) wird zwischen die Schweißelektroden durch die Werkstücke und die Abdeckplatte hindurch geleitet. Der Durchgang des elektrischen Stromes initiiert und bringt ein Schmelzbad aus geschmolzener Aluminiumlegierung innerhalb des Aluminiumlegierungs-Werkstückes zum Wachsen, das benachbart zu dem Stahlwerkstück liegt. Dieses Schmelzbad aus geschmolzener Aluminiumlegierung benetzt eine benachbarte Stoßfläche des Stahlwerkstückes und erstreckt sich von der Stoßgrenzfläche der benachbarten Werkstücke weg in das Aluminiumlegierungs-Werkstück hinein und möglicherweise durch dasselbe hindurch. Schließlich, nachdem der elektrische Strom aufgehört hat, kühlt das Schmelzbad aus geschmolzener Aluminiumlegierung ab und erstarrt zu einer Schweißverbindung, welche die benachbarten Stahl- und Aluminiumlegierungs-Werkstücke aneinander bindet.

**[0011]** Das Punktschweißverfahren wird durch das in der Abdeckplatte definierte Eindringmerkmal unterstützt. Im Speziellen bewirkt das Eindringmerkmal während des Punktschweißens, dass der elektrische Strom zwischen den Schweißelektroden ausgetauscht wird, um beim Einsetzen des Stromflusses und in einigen Fällen über die gesamte Dauer des Stromflusses ein konisches Flussmuster innerhalb des benachbart zu den Stahlwerkstücken befindlichen Aluminiumlegierungs-Werkstückes anzunehmen. Das konische Flussmuster hat eine Abnahme der Stromdichte innerhalb des Aluminiumlegierungs-Werkstückes – verglichen mit dem benach-

barten Stahlwerkstück – zur Folge, wodurch dreidimensionale Temperaturgradienten um das Schmelzbad aus geschmolzener Aluminiumlegierung herum gebildet werden, um dabei zu helfen, dass das Schmelzbad auf wünschenswertere Art und Weise zu der Schweißverbindung erstarrt. Dieses wünschenswertere Erstarrungsverhalten wird weiter begünstigt, wenn die Abdeckplatte aus einem thermisch und elektrisch widerstandsfähigeren Material als das benachbart zu dem Stahlwerkstück befindliche Aluminiumlegierungs-Werkstück gebaut ist, da in diesem Szenario die Abdeckplatte zusätzliche Wärme erzeugt und auch nach Beenden des Stromflusses Wärme für eine längere Dauer zurückhält als das Aluminiumlegierungs-Werkstück. Wenn außerdem die Abdeckplatte in direktem Kontakt mit dem Aluminiumlegierungs-Werkstück angeordnet wird, das benachbart zu dem Stahlwerkstück liegt, und das Eindringmerkmal an dem angrenzenden Aluminiumlegierungs-Werkstück offen ist, stellt das Eindringmerkmal ein/en offenen/s Raum oder Volumen bereit, welcher/s eine Bewegung des Schmelzbades aus geschmolzener Aluminiumlegierung während eines Stromflusses zulässt, die dabei hilft, durch Oxidreste in der Nähe der Stoßgrenzfläche verursachte Fehlstellen aufzubrechen und umzuverteilen, um so die mechanischen Eigenschaften der Schweißverbindung zu verbessern.

**[0012]** Es können viele Schweißelektroden-gestaltungen in Verbindung mit der Abdeckplatte verwendet werden. Dies erleichtert die Prozessflexibilität. Es besteht insbesondere keine Notwendigkeit, Schweißelektroden zu verwenden, die strengen Größen- und Formanforderungen genügen, um Werkstückstapel erfolgreich punktschweißen, die benachbarte Stahl- und Aluminiumlegierungs-Werkstücke umfassen. Jede der Schweißelektroden kann daher mit anderen Zwecken im Sinn wie z. B. das Punktschweißen von Stahl an Stahl oder Aluminiumlegierung an Aluminiumlegierung gebaut werden. Als solche können die gleichen Schweißelektroden, die in der Regel zum Punktschweißen eines Aluminiumlegierungs-Werkstückes an ein Aluminiumlegierungs-Werkstück verwendet werden, auch zum Punktschweißen eines Stahlwerkstückes an ein Aluminiumlegierungs-Werkstück mithilfe der Abdeckplatte verwendet werden, was bedeutet, dass der gleiche Schweißpistolenaufbau verwendet werden kann, um beide Sätze von Werkstückstapeln punktschweißen, ohne dass es notwendig ist, eine oder beide der Schweißelektroden auszuwechseln. Das Gleiche gilt auch für Schweißelektroden, die in der Regel zum Punktschweißen von Stahl an Stahl verwendet werden. Tatsächlich können einige Schweißelektroden sogar verwendet werden, um alle drei Sätze von Stapeln – d. h. Stahl an Stahl, Aluminiumlegierung an Aluminiumlegierung und Stahl an Aluminiumlegierung (mithilfe der Abdeckplatte) punktschweißen.

## KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0013] Fig. 1** ist eine seitliche Aufrissansicht eines Werkstückstapels gemäß einer Ausführungsform, der ein Stahlwerkstück und ein Aluminiumlegierungs-Werkstück umfasst, die in überlappender Weise zum Widerstandspunktschweißen zusammengesetzt sind, und wobei eine Abdeckplatte benachbart zu dem Aluminiumlegierungs-Werkstück angeordnet ist, sodass sich der Stapel und die Abdeckplatte zwischen einem Paar entgegengesetzter Schweißelektroden befinden;

**[0014] Fig. 2** ist eine partielle, vergrößerte Querschnittsansicht des Stapels, der Abdeckplatte und der entgegengesetzten Schweißelektroden, die in **Fig. 1** abgebildet sind;

**[0015] Fig. 3** ist eine partielle, auseinandergezogene seitliche Querschnittsansicht des Stapels, der Abdeckplatte und der entgegengesetzten Schweißelektroden, die in **Fig. 2** abgebildet sind;

**[0016] Fig. 4** ist eine Querschnittsansicht eines in der Abdeckplatte umfassten Eindringmerkmals gemäß einer Ausführungsform;

**[0017] Fig. 5** ist eine Querschnittsansicht eines in der Abdeckplatte umfassten Eindringmerkmals gemäß einer anderen Ausführungsform;

**[0018] Fig. 6** ist eine Querschnittsansicht eines in der Abdeckplatte umfassten Eindringmerkmals gemäß einer noch anderen Ausführungsform;

**[0019] Fig. 7** ist eine partielle Querschnittsansicht eines Werkstückstapels, der gemäß einer Ausführungsform ein Stahlwerkstück und ein Aluminiumlegierungs-Werkstück umfasst, und einer Abdeckplatte, die benachbart zu dem Aluminiumlegierungs-Werkstück angeordnet ist, vor dem Durchgang eines elektrischen Stromes zwischen entgegengesetzten Schweißelektroden, wobei eine erste Schweißelektrode mit einer äußeren Oberfläche des Stahlwerkstückes in Kontakt steht und eine zweite Schweißelektrode mit der Abdeckplatte in Kontakt steht;

**[0020] Fig. 8** ist eine partielle Querschnittsansicht des Stapels und einer Abdeckplatte, wie in **Fig. 7** gezeigt, während des Punktschweißens, bei dem ein Schmelzbad aus geschmolzener Aluminiumlegierung innerhalb des Aluminiumlegierungs-Werkstückes und an der Stoßgrenzfläche des Stahl- und des Aluminiumlegierungs-Werkstückes initiiert wurde;

**[0021] Fig. 9** ist eine partielle Querschnittsansicht des Stapels von **Fig. 8** nach Unterbrechen des elektrischen Stromes, Zurückziehen der Schweißelektroden und Entfernen der Abdeckplatte, wobei eine Schweißverbindung an der Stoßgrenzfläche des

Stahl- und des Aluminiumlegierungs-Werkstückes gebildet wurde;

**[0022] Fig. 10** ist eine idealisierte Illustration, welche die Richtung der Erstarrungsfront in einem Schmelzbad aus geschmolzener Aluminiumlegierung zeigt, die von dem Punkt der kälteren Schweißelektrode am nächsten, die gegen das Aluminiumlegierungs-Werkstück angeordnet ist, in Richtung der Stoßgrenzfläche erstarrt, wenn keine Abdeckplatte gemäß der vorliegenden Offenbarung verwendet wird;

**[0023] Fig. 11** ist eine idealisierte Illustration, welche die Richtung der Erstarrungsfront in einem Schmelzbad aus geschmolzener Aluminiumlegierung zeigt, wenn das Schmelzbad aus geschmolzener Aluminiumlegierung infolge einer Abdeckplatte, die ein Eindringmerkmal umfasst, von seinem äußeren Umfang in Richtung seines Zentrums erstarrt;

**[0024] Fig. 12** ist eine partielle Querschnittsansicht des Stapels und einer Abdeckplatte während des Punktschweißens, bei dem ein Schmelzbad aus geschmolzener Aluminiumlegierung innerhalb des Aluminiumlegierungs-Werkstückes und an der Stoßgrenzfläche initiiert wurde und zusätzlich ein Schmelzbad aus geschmolzenem Stahl innerhalb des Stahlwerkstückes initiiert wurde;

**[0025] Fig. 13** ist eine partielle Querschnittsansicht des Stapels von **Fig. 12** nach Unterbrechen des elektrischen Stromes, Zurückziehen der Schweißelektroden und Entfernen der Abdeckplatte, wobei eine Schweißverbindung an der Stoßgrenzfläche gebildet wurde und eine Stahlschweißlinse innerhalb des Stahlwerkstückes gebildet wurde;

**[0026] Fig. 14** ist eine seitliche Aufrissansicht eines Werkstückstapels, der gemäß einer anderen Ausführungsform ein Stahlwerkstück, ein benachbartes Aluminiumlegierungs-Werkstück und ein zusätzliches Stahlwerkstück umfasst, die in überlappender Weise zum Widerstandspunktschweißen zusammengesetzt sind, und wobei eine Abdeckplatte benachbart zu dem Aluminiumlegierungs-Werkstück angeordnet ist, sodass sich der Stapel und die Abdeckplatte zwischen einem Paar entgegengesetzter Schweißelektroden befinden; und

**[0027] Fig. 15** ist eine seitliche Aufrissansicht eines Werkstückstapels, der gemäß einer noch anderen Ausführungsform ein Stahlwerkstück, ein benachbartes Aluminiumlegierungs-Werkstück und ein zusätzliches Aluminiumlegierungs-Werkstück umfasst, die in überlappender Weise zum Widerstandspunktschweißen zusammengesetzt sind, und wobei eine Abdeckplatte benachbart zu dem zusätzlichen Aluminiumlegierungs-Werkstück angeordnet ist, sodass sich der Stapel und die Abdeckplatte zwischen einem Paar entgegengesetzter Schweißelektroden befinden.

## DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

**[0028]** Bevorzugte und exemplarische Ausführungsformen eines Verfahrens zum Punktschweißen eines Werkstückstapels, der ein Stahlwerkstück und ein benachbartes Aluminiumlegierungs-Werkstück umfasst, sind in den **Fig. 1–Fig. 15** gezeigt und unten stehend beschrieben. Die beschriebenen Ausführungsformen verwenden eine Abdeckplatte **10**, die ein Eindringmerkmal **12** umfasst. Die Abdeckplatte **10** ist benachbart zu einem Aluminiumlegierungs-Werkstück auf einer Seite des Werkstückstapels zwischen einer Schweißelektrode und dem Werkstückstapel angeordnet, um so das Flussmuster und die Dichte des elektrischen Stromes zu beeinflussen, der durch die mehreren überlappenden Werkstücke fließt. Außerdem stellt die Abdeckplatte **10** in einigen Fällen eine Mittel auf der Seite des Werkstückstapels zwischen und dem Aluminiumlegierungs-Werkstück, das benachbart zu dem Stahlwerkstück liegt, und der Schweißelektrode, die der speziellen Seite des Stapels gegenübersteht, bereit. Auf diese Weise kann die Abdeckplatte **10** Wärme während eines Stromflusses erzeugen und Wärme für eine längere Dauer zurückhalten als das benachbart zu dem Stahlwerkstück an der Schweißstelle befindliche Aluminiumlegierungs-Werkstück. Überdies, wenn die Abdeckplatte in direktem Kontakt mit dem Aluminiumlegierungs-Werkstück angeordnet wird, das benachbart zu dem Stahlwerkstück liegt, und das Eindringmerkmal an dem angrenzenden Aluminiumlegierungs-Werkstück offen ist, lässt das Eindringmerkmal eine Bewegung des Schmelzbades aus geschmolzener Aluminiumlegierung während eines Stromflusses zu, die dabei hilft, durch Oxidreste in der Nähe der Stoßgrenzfläche verursachte Fehlstellen aufzubrechen und umzuverteilen. Diese funktionellen Wirkungen der Abdeckplatte **10** helfen dabei, eine starke Schweißverbindung zwischen den benachbarten Stahl- und Aluminiumlegierungs-Werkstücken zu bilden, indem das Erstarrungsverhalten des innerhalb des Aluminiumlegierungs-Werkstückes gebildeten Schmelzbades aus geschmolzener Aluminiumlegierung verändert wird.

**[0029]** Die **Fig. 1–Fig. 3** zeigen allgemein die Abdeckplatte **10** und einen Werkstückstapel **14**, die in überlappender Weise zum Widerstandspunktschweißen an einer vorbestimmten Schweißstelle **16** mithilfe einer Schweißpistole **18** gestapelt sind. Der Werkstückstapel **14** umfasst ein Stahlwerkstück **20** und ein Aluminiumlegierungs-Werkstück **22**. Das Stahlwerkstück **20** ist bevorzugt ein verzinkter (mit Zink beschichteter) kohlenstoffarmer Stahl. Es können selbstverständlich auch andere Arten von Stahlwerkstücken, u. a. kohlenstoffarmer, blanker Stahl oder verzinkter „Advanced High Strength“ Stahl (AHSS) verwendet werden. Einige spezifische Arten von Stählen, die in dem Stahlwerkstück **20** verwendet werden können, umfassen Interstitial-free

(IF)-Stahl, Dualphasen(DP)-Stahl, „Transformation-Induced Plasticity“ (TRIP)-Stahl und pressgehärteten Stahl (PHS vom engl. presshardened steel). Was das Aluminiumlegierungs-Werkstück **22** betrifft, so kann es eine Aluminium-Magnesium-Legierung, eine Aluminium-Silizium-Legierung, eine Aluminium-Magnesium-Silizium-Legierung oder eine Aluminium-Zink-Legierung sein, und es kann mit einer natürlichen feuerfesten Oxidschicht beschichtet sein, oder es kann alternativ mit Zink, Zinn oder einer Konversionsbeschichtung beschichtet sein, um das Klebevermögen zu verbessern. Einige spezifische Aluminiumlegierungen, die in dem Aluminiumlegierungs-Werkstück **22** verwendet werden können, umfassen die Aluminium-Magnesium-Legierung AA5754, die Aluminium-Magnesium-Silizium-Legierung AA6111 und AA6022 und die Aluminium-Zink-Legierung AA7003. Der Ausdruck „Werkstück“ und seine Stahl- und Aluminiumvarianten werden in der vorliegenden Offenbarung weitläufig verwendet, um sich auf eine bearbeitete Metallblechschicht, ein Gussteil, ein Strangpresseteil oder jedes andere widerstandspunktschweißbare Substrat einschließlich jeglicher Oberflächenschichten oder -beschichtungen, falls vorhanden, zu beziehen.

**[0030]** Wenn es zum Punktschweißen gestapelt ist, wie am besten in den **Fig. 2–Fig. 3** gezeigt, umfasst das Stahlwerkstück **20** eine Stoßfläche **24** und eine äußere Oberfläche **26**. Gleichermaßen umfasst das Aluminiumlegierungs-Werkstück **22** eine Stoßfläche **28** und eine äußere Oberfläche **30**. Die Stoßflächen **24, 28** der beiden Werkstücke **20, 22** überlappen einander, um eine Stoßgrenzfläche **32** an der Schweißstelle **16** bereitzustellen. Die Stoßgrenzfläche **32**, wie hierin verwendet, umfasst Fälle eines direkten Kontakts zwischen den Stoßflächen **24, 28** der Werkstücke **20, 22** wie auch Fälle eines indirekten Kontakts wie z. B., wenn sich die Stoßflächen **24, 28** nicht berühren, sich aber nahe genug nebeneinander befinden – z. B. wenn eine dünne Schicht aus Kleber, Porenfüller oder ein anderes dazwischen befindliches Material vorhanden ist – dass ein Widerstandspunktschweißen dennoch durchgeführt werden kann. In einigen Fällen kann eine dünne Beschichtung aus Porenfüller oder Kleber zwischen den Stoßflächen **24, 28** der Werkstücke **20, 22** aufgebracht werden, um dabei zu helfen, die Werkstücke **20, 22** entlang ihrer Stoßgrenzfläche **32** zusammenzuhalten.

**[0031]** Die äußeren Oberflächen **26, 30** des Stahl- und des Aluminiumlegierungs-Werkstückes **20, 22** weisen andererseits allgemein voneinander weg in entgegengesetzte Richtungen, um sie für ein Paar entgegengesetzter Punktschweißelektroden zugänglich zu machen. Hier, in dieser Ausführungsform, stellt die äußere Oberfläche **26** des Stahlwerkstückes **20** eine erste Seite **34** des Werkstückstapels **14** bereit und dar, und die äußere Oberfläche **30** des Aluminiumlegierungs-Werkstückes stellt eine entgegen-

gesetzte zweite Seite **36** des Stapels **12** bereit und dar. Jedes von dem Stahl- und dem Aluminiumlegierungs-Werkstück **20**, **22** weist bevorzugt eine Dicke **200**, **220** auf – die von der Stoßfläche **24**, **28** zu der äußeren Oberfläche **26**, **30** jedes Werkstückes **20**, **22** gemessen wird – welche in einem Bereich von 0,3 mm bis 6,0 mm, und stärker bevorzugt von 0,5 mm bis 4,0 mm zumindest an der Schweißstelle **16** liegt.

**[0032]** Die Abdeckplatte **10**, wie gezeigt, ist benachbart zu der zweiten Seite **36** des Werkstückstapels **14** neben dem Aluminiumlegierungs-Werkstück **22** angeordnet, sodass das Eindringmerkmal **12** an der Schweißstelle **16** vorhanden ist. Die Abdeckplatte **10** umfasst eine innere Oberfläche **38**, die der äußeren Oberfläche **30** des Aluminiumlegierungs-Werkstückes **22** gegenübersteht und bevorzugt einen Grenzflächenkontakt mit derselben herstellt, wenn sie angeordnet ist, und eine in die entgegengesetzte Richtung weisende äußere Oberfläche **40**. Die Abdeckplatte **10** weist eine Dicke **100** zwischen ihren Oberflächen **38**, **40** an der Schweißstelle **16** auf, die in einem Bereich von 0,2 mm bis 10 mm liegen kann. Im Hinblick auf ihre Zusammensetzung kann die Abdeckplatte **10** aus einem Material zusammengesetzt sein, das einen höheren thermischen und elektrischen Widerstand aufweist als das Aluminiumlegierungs-Werkstück **22**, oder aus einem Material sein, das einen niedrigeren thermischen und elektrischen Widerstand aufweist als das Aluminiumlegierungs-Werkstück **22**. Das Material der Abdeckplatte **10** ist bevorzugt auch nicht reaktiv oder beinahe nicht reaktiv mit dem Aluminiumlegierungs-Werkstück **22** während des Punktschweißens, um zu vermeiden, dass das Werkstück **22** mit Metallreaktionsprodukten verunreinigt wird.

**[0033]** Die Abdeckplatte **10** kann z. B. aus einem Material hergestellt sein, das einen thermischen Widerstand und einen elektrischen Widerstand aufweist, die nicht nur höher sind als bei dem Aluminiumlegierungs-Werkstück **22**, sondern zumindest doppelt so hoch wie der thermische Widerstand von handelsüblichem weich geglühtem, reinem Kupfer bzw. der elektrische Widerstand von handelsüblichem weich geglühtem, reinem Kupfer, wie durch den International Annealed Copper Standard definiert (d. h. 100% IACS). Der elektrische Widerstand von handelsüblichem, weich geglühtem, reinem Kupfer, wie durch den IACS definiert, beträgt  $1,72 \times 10^{-8} \Omega/\text{m}$ . Und der thermische Widerstand von handelsüblichem, reinem, weich geglühtem Kupfer, ist hierin mit  $2,6 \times 10^{-3} (\text{m}^\circ\text{K})/\text{W}$  definiert. Einige spezifische Materialien dieser Art umfassen Molybdän, Edelstahl oder eine Wolfram-Kupfer-Legierung wie z. B. eine Legierung mit 55 Gew.-% bis 85 Gew.-% Wolfram und 45 Gew.-% bis 15 Gew.-% Kupfer. Alternativ, als ein anderes Beispiel, kann die Abdeckplatte **10** aus einer Kupferlegierung hergestellt sein, die einen niedrigeren thermischen Widerstand und elektrischen Wider-

stand aufweist als das Aluminiumlegierungs-Werkstück **22**. Ein spezifisches Beispiel für eine geeignete Kupferlegierung ist eine Zirkonium-Kupfer-Legierung (ZrCu), die 0,10 Gew.-% bis 0,20 Gew.-% Zirkonium und als Rest Kupfer enthält, wenngleich selbstverständlich andere Kupferlegierungs-Zusammensetzungen verwendet werden können.

**[0034]** Die Schweißpistole **18**, die zum Punktschweißen des Werkstückstapels **14** und zum Zusammenfügen des Stahl- und des Aluminiumlegierungs-Werkstückes **20**, **22** an ihrer Stoßgrenzfläche **32** verwendet wird, kann von jeder bekannten Art sein. Zum Beispiel, wie hier in den **Fig. 1–Fig. 2** gezeigt, umfasst die Schweißpistole **18**, die Teil eines größeren automatisierten Schweißablaufes ist, einen ersten Pistolarm **42** und einen zweiten Pistolarm **44**, die mechanisch und elektrisch ausgestaltet sind, um wiederholt Punktschweißnähte gemäß einem definierten Schweißplan zu bilden. Der erste Pistolarm **42** weist eine erste Elektrodenhalterung **46** auf, welche eine erste Schweißelektrode **48** festhält, und der zweite Pistolarm **40** weist eine zweite Elektrodenhalterung **50** auf, welche eine zweite Schweißelektrode **52** festhält. Die erste und die zweite Schweißelektrode **48**, **52** sind jeweils bevorzugt aus einem elektrischen leitfähigen Material wie z. B. einer Kupferlegierung gebildet. Ein spezifisches Beispiel ist eine Zirkonium-Kupfer-Legierung (ZrCu), die 0,10 Gew.-% bis 0,20 Gew.-% Zirkonium und als Rest Kupfer enthält. Kupferlegierungen, die dieser Bestandteilzusammensetzung entsprechen und als C15000 bezeichnet werden, sind bevorzugt. Selbstverständlich können auch andere Kupferlegierungs-Zusammensetzungen verwendet werden, die geeignete mechanische und elektrische Leitfähigkeitseigenschaften besitzen. Die in den **Fig. 1–Fig. 2** gezeigte Schweißpistole **18** ist als für eine breite Vielfalt von Schweißpistolen, u. a. c- und x-Schweißpistolen wie auch andere Schweißpistolen, die hier nicht speziell erwähnt sind, sofern sie zum Punktschweißen des Werkstückstapels **14** in der Lage sind, stehend zu verstehen.

**[0035]** Die erste Schweißelektrode **48** umfasst eine erste Schweißfläche **54** und die zweite Schweißelektrode **52** umfasst eine zweite Schweißfläche **56**. Die Schweißflächen **54**, **56** der ersten und der zweiten Schweißelektroden **48**, **52** sind die Abschnitte der Elektroden **48**, **52**, die während des Punktschweißens gegen die erste Seite **34** des Werkstückstapels **14**, welche in dieser Ausführungsform auch die äußere Oberfläche **26** des Stahlwerkstückes **20**, bzw. die äußere Oberfläche **40** der Abdeckplatte **10** ist, welche über der zweiten Seite **36** des Werkstückstapels **14** liegt, gepresst werden. Jede der Schweißflächen **54**, **56** kann flach oder gewölbt sein und kann ferner Oberflächenmerkmale (z. B. Oberflächenrauigkeit, Ringmerkmale, ein Plateau etc.) umfassen, wie z. B. in den U.S.-Patenten Nr. 6,861,609, 8,222,560,

8,274,010, 8,436,269, 8,525,066 und 8,927,894 beschrieben. Ein Mechanismus zum Kühlen der Elektroden **48, 52** mit Wasser ist in der Regel in die Pistolennarme **42, 44** und die Elektrodenhalterungen **46, 50** eingebaut, um die Temperaturen der Schweißelektroden **48, 52** zu regeln.

**[0036]** Die Schweißpistolennarme **42, 44** sind während des Punktschweißens betreibbar, um die Schweißflächen **54, 56** der ersten und der zweiten Schweißelektroden **48, 52** gegen die äußere Oberfläche **26** des Stahlwerkstückes **20** bzw. die äußere Oberfläche **40** der Abdeckplatte **10** zu pressen. Die erste und die zweite Schweißfläche **54, 56** werden in der Regel gegen ihre jeweiligen äußeren Oberflächen **26, 40** in flächiger, axialer Ausrichtung zueinander an der vorgesehenen Schweißstelle **16** gepresst. Dann wird ein elektrischer Strom von einer steuerbaren Leistungsquelle (nicht gezeigt) in elektrischer Verbindung mit der Schweißpistole **18** zugeführt. Der angelegte elektrische Strom wird zwischen die Schweißelektroden **48, 52** geleitet. Die Stärke und die Dauer des elektrischen Stromes sind durch einen Schweißplan festgelegt, der spezifisch programmiert ist, um das Zusammenfügen des Stahl- und des Aluminiumlegierungs-Werkstückes **20, 22** zu bewirken.

**[0037]** Nunmehr Bezug nehmend auf **Fig. 4** kann sich das innerhalb der Abdeckplatte **10** definierte Eindringmerkmal **12** teilweise oder vollständig zwischen der inneren und der äußeren Oberfläche **38, 40** der Abdeckplatte **10** erstrecken, um einen Leerraum innerhalb der Platte **10** bereitzustellen. Wenn sie zu Beginn des Stromflusses gegen die äußere Oberfläche **40** der Abdeckplatte **10** gepresst wird, stellt die Schweißfläche **56** der zweiten Schweißelektrode **52** einen Kontakt mit der äußeren Oberfläche **40** über dem Eindringmerkmal **12** her. Anders ausgedrückt, wenn die umlaufende Grenze des Oberflächenbereiches der äußeren Oberfläche **40**, die zu Beginn des Stromflusses durch die Schweißfläche **56** kontaktiert wird, zu der äußeren Oberfläche **30** des Aluminiumlegierungs-Werkstückes **22** extrapoliert wird, wie hier durch die Bezugsziffer **58** illustriert, würde das Eindringmerkmal **12** vollständig innerhalb der dargestellten Region eingeschlossen. Diese Beziehung zwischen dem kontaktierten Bereich der äußeren Oberfläche **40** der Abdeckplatte **10** und dem Eindringmerkmal **12** ist unabhängig davon gültig, ob das Aluminiumlegierungs-Werkstück **22** das obere oder das untere Werkstück in dem Stapel **14** ist. Demzufolge ist der Ausdruck „über“ nicht so zu verstehen, dass das Aluminiumlegierungs-Werkstück **22** sich immer oben auf dem Stahlwerkstück **20** befinden muss, sodass sich die zweite Schweißelektrode **48** genau genommen über dem Eindringmerkmal **12** befindet.

**[0038]** Das Eindringmerkmal **12** bewirkt, dass der elektrische Strom zwischen den Schweißelektroden **48, 52** ausgetauscht wird, um ein konisches Fluss-

muster innerhalb des Aluminiumlegierungs-Werkstückes **22** zumindest beim Einsetzen des Stromflusses anzunehmen, wie durch die Pfeile **60** dargestellt. Das durch das Eindringmerkmal **12** induzierte konische elektrische Stromflussmuster **60** dehnt sich radial von der Stoßgrenzfläche **32** in Richtung der zweiten Schweißelektrode **52** aus. Durch Induzieren des konischen Flussmusters **60** und somit Verringern der Stromdichte in dem Aluminiumlegierungs-Werkstück **22** gerichtet von der Stoßgrenzfläche **32** in Richtung der zweiten Schweißelektrode **52** wird Wärme innerhalb einer kleineren Zone in dem Stahlwerkstück **20** verglichen mit dem Aluminiumlegierungs-Werkstück **22** konzentriert. Diese Funktion der Abdeckplatte **10** erzeugt dreidimensionale Temperaturgradienten – insbesondere radiale Temperaturgradienten, die in der Ebene der Werkstücke **20, 22** wirksam sind – die das Erstarrungsverhalten des an der Stoßgrenzfläche **32** initiierten und zum Wachsen gebrachten Schmelzbades aus geschmolzener Aluminiumlegierung verändern, sodass Fehlstellen in der schließlich gebildeten Schweißverbindung an eine ungefährlichere Stelle geleitet werden. Und wenn die Abdeckplatte **10** aus einem Material gebaut ist, das einen höheren thermischen und elektrischen Widerstand aufweist als das Aluminiumlegierungs-Werkstück **22**, z. B. Molybdän, stellt sie auch ein Mittel zwischen dem Aluminiumlegierungs-Werkstück **22** und der zweiten Schweißelektrode **52** bereit, das Wärme während eines Stromflusses erzeugt, und hält außerdem Wärme über eine längere Dauer zurück als das Aluminiumlegierungs-Werkstück **22**, nachdem der Durchgang des elektrischen Stromes zwischen den Elektroden **48, 52** aufgehört hat. Eine derartige zusätzliche Erwärmung begünstigt ferner das durch das konische elektrische Stromflussmuster **60** induzierte Erstarrungsverhalten.

**[0039]** Das Eindringmerkmal **12** kann in vielerlei Weise gebaut sein. Gemäß einer spezifischen Ausführungsform, die in **Fig. 4** gezeigt ist, kann das Eindringmerkmal **12** eine Durchgangsbohrung **62** sein, die sich zwischen der inneren und der äußeren Oberfläche **28, 40** der Abdeckplatte **10** erstreckt, um die Dicke **100** der Abdeckplatte **10** vollständig zu queren. Das Eindringmerkmal **12** muss sich jedoch nicht unbedingt in dieser Weise über die ganze Strecke durch die Abdeckplatte **10** hindurch erstrecken. Gemäß einer anderen Ausführungsform, wie in **Fig. 5** gezeigt, kann das Eindringmerkmal **12** z. B. eine Vertiefung **64** sein, welche die Dicke **100** der Abdeckplatte **10** teilweise quert und sich von der äußeren Oberfläche **40** der Platte **10** weg erstreckt, aber die innere Oberfläche **38** nicht erreicht. In ähnlicher Weise kann das Eindringmerkmal **12** gemäß einer anderen Ausführungsform, wie in **Fig. 6** gezeigt, eine Vertiefung **66** sein, welche die Dicke **100** der Abdeckplatte **10** teilweise quert, sich aber dieses Mal von der inneren Oberfläche **38** der Platte **10** weg erstreckt, aber die äußere Oberfläche **40** nicht erreicht.

**[0040]** Die Eindringmerkmale **62, 66**, wie in den **Fig. 4** und **Fig. 6** gezeigt, sind Beispiele für Merkmale, die zu der äußeren Oberfläche **30** des Aluminiumlegierungs-Werkstückes **22** offen sind, wenn die innere Oberfläche **38** der Abdeckplatte **10** in direktem Kontakt mit der äußeren Oberfläche **30** des Aluminiumlegierungs-Werkstückes **22** angeordnet ist. Unter diesen Umständen stellen die Eindringmerkmale **62, 66** in den **Fig. 4** bzw. **Fig. 6** wie auch andere ähnlich offene Eindringmerkmale ein/en offenen/s Raum oder Volumen bereit, welcher/s eine Bewegung des Schmelzbades aus geschmolzener Aluminiumlegierung zulässt, insbesondere, wenn das Schmelzbad vollständig durch das Aluminiumlegierungs-Werkstück **22** hindurch bis zu seiner äußeren Oberfläche **30** eindringt. Diese Art von Bewegung oder Rühren des Schmelzbades aus geschmolzener Aluminiumlegierung kann die mechanischen Eigenschaften der Schweißverbindung verbessern, indem Oxidrest-Fehlstellen, die oft in der Nähe der Stoßgrenzfläche **32** anzutreffen sind, aufgebrochen und umverteilt werden.

**[0041]** Die **Fig. 1–Fig. 2** und **Fig. 7–Fig. 9** illustrieren eine Ausführungsform eines Punktschweißprozesses, bei dem der Werkstückstapel **14** an der Schweißstelle **16** punktgeschweißt wird, um das Stahl- und das Aluminiumlegierungs-Werkstück **20, 22** an ihrer Stoßgrenzfläche **32** mithilfe der Abdeckplatte **10** zusammenzufügen. Die Abdeckplatte **10** weist hier einen höheren thermischen und elektrischen Widerstand auf als das Aluminiumlegierungs-Werkstück **22** und ist bevorzugt aus Molybdän, Edelstahl oder einer Wolfram-Kupfer-Legierung gebaut. Zunächst wird der Werkstückstapel **14** zwischen der ersten und der zweiten Schweißelektrode **48, 52** angeordnet, sodass die Schweißflächen **54, 56** der Elektroden **48, 52** an der Schweißstelle **16** ausgerichtet und einander zugewandt sind. Der Werkstückstapel **14** kann an eine solche Stelle gebracht werden, wie es oft der Fall ist, wenn die Pistolendarme **42, 44** Teil eines feststehenden Sockelschweißgeräts sind, oder die Pistolendarme **42, 44** können robotertechnisch bewegt werden, um die Schweißelektroden **48, 52** bezüglich der Schweißstelle **16** anzuordnen. Während die erste und die zweite Schweißelektrode **48, 52** noch getrennt sind, wird die Abdeckplatte **10** benachbart zu dem Aluminiumlegierungs-Werkstück **22** angeordnet, sodass das Eindringmerkmal **12** an der Schweißstelle **16** vorhanden und mit der bevorstehenden Bahn der zweiten Schweißelektrode **52** ausgerichtet ist. Wie gezeigt, liegt die innere Oberfläche **38** der Abdeckplatte **10** bevorzugt gegen die äußere Oberfläche **30** des Aluminiumlegierungs-Werkstückes **22** und in direktem Kontakt damit an.

**[0042]** Sobald der Werkstückstapel **14** und die Abdeckplatte **10** korrekt angeordnet sind, laufen der erste und der zweite Pistolendarm **42, 44** relativ zueinander zusammen, um die erste Schweißelektrode **48** in

Kontakt mit dem Stahlwerkstück **20** zu bringen und die zweite Schweißelektrode **52** in Kontakt mit der Abdeckplatte **10** zu bringen, jede an der Schweißstelle **16**, wie in **Fig. 7** gezeigt. Insbesondere wird die Schweißfläche **54** der ersten Schweißelektrode **48** gegen die äußere Oberfläche **26** des Stahlwerkstückes **20** an der ersten Seite **34** des Werkstückstapels **14** gepresst, und die Schweißfläche **56** der zweiten Schweißelektrode **52** wird über dem Eindringmerkmal **12** gegen die äußere Oberfläche **40** der Abdeckplatte **10** gepresst. Die Schweißfläche **56** der zweiten Schweißelektrode **52** stellt einen Kontakt mit einem kreisringförmigen Abschnitt der äußeren Oberfläche **40** der Abdeckplatte **10** her, welcher das Eindringmerkmal **12** umgibt, um den Stromfluss zu der Schweißelektrode **52** in dem gewünschten konischen Flussmuster **60** zu erleichtern. Die durch die Pistolendarme **42, 44** festgelegte Klemmkraft hilft dabei, einen guten mechanischen und elektrischen Kontakt zwischen den Schweißelektroden **48, 52** und den äußeren Oberflächen **26, 40**, in die sie eingreifen, herzustellen.

**[0043]** Dann wird ein elektrischer Strom – in der Regel ein Gleichstrom zwischen etwa 5 kA und etwa 50 kA – zwischen die Schweißflächen **54, 56** und durch die Abdeckplatte **10** und den Werkstückstapel **14** an der Schweißstelle **16** geleitet, wie durch den Schweißplan vorgegeben. Der elektrische Strom wird in der Regel als ein konstanter Strom oder als eine Reihe von Stromimpulsen über eine Dauer von etwa 40 Millisekunden bis etwa 1000 Millisekunden durchgeleitet. Zumindest zu Beginn des Stromflusses bewirkt das Eindringmerkmal **12** in der Abdeckplatte **10**, dass der Strom das konische Flussmuster **60** innerhalb des Aluminiumlegierungs-Werkstückes **22** annimmt. Das konische Flussmuster **60** entwickelt sich, da das Eindringmerkmal **12** als ein elektrisch isolierender Leerraum innerhalb der Abdeckplatte **10** zwischen dem Aluminiumlegierungs-Werkstück **22** und der zweiten Schweißelektrode **52** dient. Das Vorhandensein solch eines elektrisch isolierenden Leerraumes zwingt den elektrischen Strom dazu, sich radial von der Stoßgrenzfläche **32** in Richtung der Schweißfläche **56** der zweiten Schweißelektrode **52** auszudehnen, wie zuvor beschrieben. Andererseits leitet die erste Schweißelektrode **48** den elektrischen Strom durch eine stärker konzentrierte Querschnittsfläche innerhalb des Stahlwerkstückes **20**.

**[0044]** Der Durchgang des elektrischen Stromes zwischen den Schweißelektroden **48, 52** bewirkt, dass sich die Abdeckplatte **10** und das Stahlwerkstück **20** infolge ihrer relativ höheren thermischen und elektrischen Widerstände anfänglich schneller erwärmen als das Aluminiumlegierungs-Werkstück **22**. Die aus dem Widerstand gegen den Fluss von elektrischem Strom über die Stoßgrenzfläche **32** hinweg erzeugte Wärme bringt schließlich das Aluminiumlegierungs-Werkstück **22** an der Schweißstelle **16** zum

Schmelzen und initiiert ein Schmelzbad **68** aus geschmolzener Aluminiumlegierung, wie in **Fig. 8** gezeigt. Das fortgesetzte Leiten des elektrischen Stromes durch die Werkstücke **20**, **22** bringt schließlich das Schmelzbad **68** aus geschmolzener Aluminiumlegierung zum Wachsen bis zu der erwünschten Größe, was in vielen Fällen, wie hier gezeigt, zur Folge hat, dass das Schmelzbad **68** vollständig durch die gesamte Dicke **220** des Aluminiumlegierungs-Werkstückes **22** eindringt, sodass es mit der benachbarten inneren Oberfläche **38** der Abdeckplatte **10** in Kontakt gelangt. Das Eindringmerkmal **12** kann zu diesem Zeitpunkt teilweise oder vollständig mit der Aluminiumlegierungsschmelze gefüllt werden, wenn das Merkmal **12** an der äußeren Oberfläche **30** des Aluminiumlegierungs-Werkstückes **22** zugänglich ist, wie z. B. jene Eindringmerkmale **12**, die in den **Fig. 4** und **Fig. 6** gezeigt sind. Dieser Vorgang gestattet eine Bewegung des Schmelzbades **68** aus geschmolzener Aluminiumlegierung und hilft somit dabei, in der Nähe der Stoßgrenzfläche **32** befindliche Oxidrückstand-Fehlstellen aufzubrechen und umzuverteilen. Während seiner Initiierungs- und Wachstumsphasen benetzt das Schmelzbad **68** aus geschmolzener Aluminiumlegierung einen benachbarten Bereich der Stoßfläche **24** des Stahlwerkstückes **20**.

**[0045]** Das Induzieren des konischen elektrischen Stromflussmusters **60** innerhalb des Aluminiumlegierungs-Werkstückes **22** hat zur Folge, dass Wärme innerhalb einer kleineren Zone in dem Stahlwerkstück **20** verglichen mit dem Aluminiumlegierungs-Werkstück **22** konzentriert wird. Da in dem Aluminiumlegierungs-Werkstück **22** Wärme weniger konzentriert wird, wird den umliegenden Abschnitten des Aluminiumlegierungs-Werkstückes **22** außerhalb der Schweißstelle **16** weniger Schaden zugefügt. Schließlich, wenn der elektrische Stromfluss beendet wird, erstarrt das Schmelzbad **68** aus geschmolzener Aluminiumlegierung, um eine Schweißverbindung **70** zu bilden, welche das Stahl- und das Aluminiumlegierungs-Werkstück **20**, **22** an der Stoßgrenzfläche **32** aneinander bindet, wie allgemein in **Fig. 9** illustriert. Die Schweißverbindung **70** umfasst eine Aluminiumlegierungs-Schweißlinse **72** und in der Regel eine oder mehrere Reaktionsschichten **74** der intermetallischen Fe-Al-Verbindungen. Die Aluminiumlegierungs-Schweißlinse **72** dringt bis zu einer Distanz in das Aluminiumlegierungs-Werkstück **22** ein, die 20% der Dicke **220** des Aluminiumlegierungs-Werkstückes **22** übersteigt und dringt oft vollständig durch die gesamte Dicke **220** (d. h. 100%) des Werkstückes **22** hindurch ein.

**[0046]** Die eine oder mehreren Reaktionsschichten **74** aus intermetallischen Fe-Al-Verbindungen befindet/n sich, falls vorhanden, zwischen der Masse der Aluminiumlegierungs-Schweißlinse **72** und dem Stahlwerkstück **20**. Diese Schichten werden hauptsächlich infolge einer Reaktion zwischen dem

Schmelzbad **68** aus geschmolzener Aluminiumlegierung und dem Stahlwerkstück **20** bei Punktschweißtemperaturen während eines Stromflusses und für eine kurze Zeitspanne nach einem Stromfluss, wenn das Stahlwerkstück **20** noch immer heiß ist, erzeugt. Die eine oder mehreren Schicht/en aus intermetallischen Fe-Al-Verbindungen kann/können Intermetalle wie z. B.  $\text{FeAl}_3$  und  $\text{Fe}_2\text{Al}_5$  wie auch andere umfassen, und deren kombinierte Dicke liegt in der Regel in einem Bereich von 1  $\mu\text{m}$  bis 3  $\mu\text{m}$ , wenn sie in der gleichen Richtung wie die Dicken **200**, **220** der Werkstücke **20**, **22** in zumindest dem Abschnitt der Schweißverbindung **70** unter der Stelle, wo das Eindringmerkmal **12** vorhanden ist, gemessen wird. Eine Gesamtdicke der intermetallischen Reaktionsschichten von 1  $\mu\text{m}$  bis 3  $\mu\text{m}$  an dieser Stelle ist dünner, als zu erwarten wäre, wenn die Abdeckplatte **10** nicht verwendet würde.

**[0047]** Man nimmt an, dass die Verwendung der Abdeckplatte **10** die Festigkeit und Integrität der Schweißverbindung **70** auf zumindest zweierlei Art und Weise verbessert. Erstens verringert die hinzugefügte Wärme von der Abdeckplatte **10** die Wärmemenge, die erforderlich ist, um von dem Stahlwerkstück **20** eingebracht zu werden, um das Schmelzbad **68** aus geschmolzener Aluminiumlegierung zu erzeugen, was wiederum die Menge spröder intermetallischer Verbindungen verringert, die an der Stoßgrenzfläche **32** gebildet werden. Zweitens induziert die Abdeckplatte **10** das konische elektrische Stromflussmuster **60** und erleichtert auch die Schaffung einer Region zurückgehaltener Wärme auf jeder Seite des Aluminiumlegierungs-Werkstückes **22** nach Beenden des elektrischen Stromflusses. Im Speziellen wird infolgedessen, dass die Abdeckplatte **10** das konische elektrische Stromflussmuster **60** induziert, Wärme innerhalb einer kleineren Zone in dem Stahlwerkstück **20** an der Schweißstelle **16** verglichen mit dem Aluminiumlegierungs-Werkstück **22** konzentriert. Und da das Stahlwerkstück **20** einen höheren thermischen Widerstand aufweist als das Aluminiumlegierungs-Werkstück **22**, hält die innerhalb des Stahlwerkstückes **20** erzeugte Wärme länger an als sie es in dem Aluminiumlegierungs-Werkstück **22** tun würde. In einer ähnlichen Weise hält die Abdeckplatte **10** selbst auf der anderen Seite des Aluminiumlegierungs-Werkstückes **22** an der Schweißstelle **16** erzeugte Wärme zurück, da sie ebenfalls einen höheren thermischen Widerstand aufweist als das Aluminiumlegierungs-Werkstück **22**. Die innerhalb der Abdeckplatte **10** erzeugte Wärme ist das Ergebnis des elektrischen Stromes, der zuletzt durchgeleitet wurde. Überdies gestattet das Eindringmerkmal **12**, wenn die Abdeckplatte **10** in direktem Kontakt mit dem Aluminiumlegierungs-Werkstück **22** angeordnet ist und das Eindringmerkmal **12** an dem Aluminiumlegierungs-Werkstück **22** offen ist, wie in den **Fig. 4** und **Fig. 6** gezeigt, die Bewegung oder das Rühren des Schmelzbades aus geschmolzener Aluminiumle-

gierung während des Stromflusses, von der/dem man annimmt, dass sie/es von Vorteil ist, wie zuvor beschrieben.

**[0048]** Das Induzieren des konischen Flussmusters **60** und das Vorhandensein einer Region zurückgehaltener Wärme auf jeder Seite des Aluminiumlegierungs-Werkstückes **22** bewirken, dass das Schmelzbad **68** aus geschmolzener Aluminiumlegierung in einer wünschenswerteren Weise – das heißt, von seinem äußeren Umfang in Richtung seines Zentrums – erstarrt. Dies geschieht deshalb, da sich Wärme von dem Stahlwerkstück **20** nicht länger einen starken Temperaturgradienten nach unten zu der kälteren zweiten Schweißelektrode **52** streuen kann. Stattdessen verändern das konische Flussmuster **60** und die Regionen zurückgehaltener Wärme hier die Temperaturverteilung durch die Schweißstelle **16** durch Erzeugen von dreidimensionalen radialen Temperaturgradienten innerhalb der Ebene des Stahlwerkstückes **20**, die in der Ebene des Aluminiumlegierungs-Werkstückes **22** reflektiert werden. Diese Gradienten helfen dabei, Wärme seitlich durch die Werkstücke **20**, **22** hindurch zu streuen, sodass sich die Erstarrungsfront des Schmelzbades **68** aus geschmolzener Aluminiumlegierung von dem Umfang des Schmelzbades **68** einwärts im Gegensatz zu gerichtet in Richtung der Stoßgrenzfläche **32** bewegt. Ein derartiges Erstarrungsverhalten reißt oder treibt Schweißfehler von dem Linsenumfang weg und in Richtung des Zentrums der Schweißverbindung **70**, wo sie weniger dazu neigen, die Fügestelle **68** zu schwächen und ihre strukturelle Integrität zu stören.

**[0049]** Die **Fig. 10–Fig. 11** helfen dabei, das Erstarrungsverhalten zu visualisieren, von dem man annimmt, dass es auftritt, wenn die Abdeckplatte **10** verwendet wird. In **Fig. 10**, wo keine Abdeckplatte vorhanden ist, die ein Eindringmerkmal umfasst, erstarrt ein Schmelzbad **76** aus geschmolzener Aluminiumlegierung gerichtet von dem Punkt, welcher der kälteren Schweißelektrode **78**, die gegen die äußere Oberfläche **80** des Aluminiumlegierungs-Werkstückes **22** angeordnet ist, am nächsten liegt, in Richtung der Stoßgrenzfläche **82**, was demzufolge Schweißfehler in Richtung und entlang der Stoßgrenzfläche **82** treibt. Hingegen erstarrt in **Fig. 11**, wo eine Abdeckplatte **10** vorhanden ist, die eine höhere thermische und elektrische Leitfähigkeit aufweist als das Aluminiumlegierungs-Werkstück **22**, das Schmelzbad aus geschmolzener Aluminiumlegierung **76** von seinem äußeren Umfang **84** in Richtung seines Zentrum, was Schweißfehler dazu treibt, sich mehr in dem Zentrum der schließlich gebildeten Schweißverbindung anzusammeln, und deren Verteilung an und entlang der Stoßgrenzfläche **82** begrenzt, was zu einer stärkeren Schweißverbindung führt.

**[0050]** Die **Fig. 1–Fig. 2** und **Fig. 12–Fig. 13** illustrieren eine andere Ausführungsform eines Punktschweißprozesses, in dem der Stapel **14** an der Schweißstelle **16** mithilfe der Abdeckplatte **10** punktschweiß wird. Die Abdeckplatte **10** weist hier einen niedrigeren thermischen und elektrischen Widerstand auf als das Aluminiumlegierungs-Werkstück **22** und ist bevorzugt aus einer Kupferlegierung wie z. B. einer Zirkonium-Kupfer-Legierung (ZrCu) gebaut. Der in den **Fig. 12–Fig. 13** gezeigte Punktschweißprozess ist in vielerlei Hinsicht dem in den **Fig. 8–Fig. 9** gezeigten Punktschweißprozess ähnlich. Von daher wird ein Großteil der obigen Prozessbeschreibung nicht wiederholt, und nachfolgend werden nur die Hauptunterschiede in näherem Detail erörtert.

**[0051]** Nachdem die erste Schweißelektrode **48** mit dem Stahlwerkstück **20** an der ersten Seite **34** des Werkstückstapels **14** in Kontakt gebracht wurde und die zweite Schweißelektrode **52** mit der Abdeckplatte **10** über dem Eindringmerkmal **12** in Kontakt gebracht wurde, wie in **Fig. 17** gezeigt, wird ein elektrischer Strom zwischen die Elektrodenschweißflächen **54**, **56** und durch die Abdeckplatte **10** und den Werkstückstapel **14** an der Schweißstelle **16** geleitet, wie durch den Schweißplan vorgegeben. Der Durchgang des Schweißstromes bewirkt, dass sich das Stahlwerkstück **20** anfänglich schneller erwärmt als das Aluminiumlegierungs-Werkstück **22**, da es einen höheren thermischen und elektrischen Widerstand aufweist als das Aluminiumlegierungs-Werkstück **22**. Die Abdeckplatte **10** erwärmt sich bezüglich des Aluminiumlegierungs-Werkstückes **22** nicht in der gleichen Weise, da sie einen niedrigeren thermischen und elektrischen Widerstand aufweist. Schließlich initiiert, wie zuvor, die Wärme, die von dem Widerstand gegen den Fluss des elektrischen Stromes über die Stoßgrenzfläche **32** hinweg erzeugt wird, das Schmelzbad **68** aus geschmolzener Aluminiumlegierung innerhalb des Aluminiumlegierungs-Werkstückes **22**, wie in **Fig. 12** gezeigt. Der fortgesetzte Durchgang des elektrischen Stromes bringt schließlich das Schmelzbad **68** aus geschmolzener Aluminiumlegierung zum Wachsen bis zu der erwünschten Größe, welche in der Regel in das Aluminiumlegierungs-Werkstück **22** bis zu einer Distanz eindringt, die in einem Bereich von etwa 20% bis etwa 100% der Dicke **220** des Werkstückes **22** liegt.

**[0052]** Der zwischen die Schweißelektroden **48**, **52** geleitete elektrische Strom nimmt das oben beschriebene konische Flussmuster **60** an. Das Induzieren des konischen elektrischen Stromflussmusters **60** innerhalb des Aluminiumlegierungs-Werkstückes **22** hat zur Folge, dass Wärme innerhalb einer kleineren Zone in dem Stahlwerkstück **20** verglichen mit dem Aluminiumlegierungs-Werkstück **22** konzentriert wird. In dieser Ausführungsform kann der Schweißplan, falls erwünscht, sogar festgelegt sein, um ein

Schmelzbad **86** aus geschmolzenem Stahl innerhalb der Grenzen des Stahlwerkstückes **20** zu initiieren und zum Wachsen zu bringen, zusätzlich dazu, dass das Schmelzbad **68** aus geschmolzener Aluminiumlegierung innerhalb des Aluminiumlegierungs-Werkstückes **22** und an der Stoßgrenzfläche **32** initiiert und zum Wachsen gebracht wird, sodass das Schmelzbad **68** aus geschmolzener Aluminiumlegierung die Stoßfläche **24** des Stahlwerkstückes **20** benetzt. **Fig. 12** illustriert das Vorhandensein des Schmelzbades **68** aus geschmolzener Aluminiumlegierung und des Schmelzbades **86** aus geschmolzenem Stahl. Die durch den elektrischen Strom erzeugte Wärme muss jedoch nicht immer so innerhalb des Stahlwerkstückes **20** konzentriert werden, dass das Schmelzbad **86** aus geschmolzenem Stahl initiiert und zum Wachsen gebracht wird.

**[0053]** Nach Beenden des elektrischen Stromflusses erstarrt das Schmelzbad **68** aus geschmolzener Aluminiumlegierung, um die Schweißverbindung **70** zu bilden, welche das Stahl- und das Aluminiumlegierungs-Werkstück **20, 22** an der Stoßgrenzfläche **32** aneinander bindet, wie in **Fig. 13** gezeigt. Gleichermaßen erstarrt zu diesem Zeitpunkt das Schmelzbad **86** aus geschmolzenem Stahl, falls gebildet, zu einer Stahlschweißlinse **88** innerhalb des Stahlwerkstückes **20**, wenngleich es sich bevorzugt nicht bis zu entweder der Stoßfläche **24** oder der äußeren Oberfläche **26** des Werkstückes **20** erstreckt. Die Schweißverbindung **70** umfasst die Aluminiumlegierungs-Schweißlinse **72** und in der Regel die eine oder mehreren Reaktionsschichten **74** der intermetallischen Fe-Al-Verbindungen, wie zuvor beschrieben. Hier dringt die Aluminiumlegierungs-Schweißlinse **72**, wie in **Fig. 13** gezeigt, bis zu einer Distanz ein, die bevorzugt in einem Bereich von etwa 20% bis 100% der Dicke **220** des Aluminiumlegierungs-Werkstückes **22** liegt. Die eine oder mehreren Reaktionsschichten **74** aus intermetallischen Fe-Al-Verbindungen, falls vorhanden, ist/sind üblicherweise in zumindest dem Abschnitt der Schweißverbindung **70** unter der Stelle, wo das Eindringmerkmal **12** vorhanden war, 1 µm bis 3 µm dick, wenngleich sie in einigen Fällen dicker als dieses sein kann/können, da in dem Stahlwerkstück **20** mehr Wärme erzeugt wird als in der Abdeckplatte **10**.

**[0054]** Man nimmt an, dass die Verwendung der Kupferplatte **10** in dieser Ausführungsform die Festigkeit und Integrität der Schweißverbindung **70** durch Induzieren des konischen elektrischen Stromflussmusters **60** in dem Aluminiumlegierungs-Werkstück **22** verbessert. Wie bereits erklärt, konzentriert das Induzieren des konischen elektrischen Stromflussmusters **60** Wärme innerhalb einer kleineren Zone in dem Stahlwerkstück **20** an der Schweißstelle **16** verglichen mit dem Aluminiumlegierungs-Werkstück **22**, was die Temperaturverteilung durch die Schweißstelle **16** durch Erzeugen von dreidimensio-

nen radialen Temperaturgradienten innerhalb der Ebene des Stahlwerkstückes **20**, die in der Ebene des Aluminiumlegierungs-Werkstückes **22** reflektiert werden, verändert. Diese Gradienten helfen dabei, Wärme seitlich durch die Werkstücke **20, 22** hindurch zu streuen, sodass sich die Erstarrungsfront des Schmelzbades **68** aus geschmolzener Aluminiumlegierung von dem Umfang des Schmelzbades **68** einwärts im Gegensatz zu gerichtet in Richtung der Stoßgrenzfläche **32** bewegt, wie oben beschrieben. Wenn überdies die Abdeckplatte **10** in direktem Kontakt mit dem Aluminiumlegierungs-Werkstück **22** angeordnet ist und das Eindringmerkmal **12** an dem Aluminiumlegierungs-Werkstück **22** offen ist, wie z. B. in den **Fig. 4** und **Fig. 6** gezeigt, gestattet das Eindringmerkmal **12** die Bewegung oder das Rühren des Schmelzbades aus geschmolzener Aluminiumlegierung während des Stromflusses, von der/dem man annimmt, dass sie/es von Vorteil ist, wie zuvor beschrieben.

**[0055]** Außerdem neigt in Fällen, in denen das Schmelzbad **86** aus geschmolzenem Stahl initiiert wird, die Stoßfläche **24** des Stahlwerkstückes **20** dazu, sich von der äußeren Oberfläche **26** weg zu verziehen. Dieses Verziehen kann bewirken, dass sich das Stahlwerkstück **20** an der Schweißstelle **16** um bis zu 50% verdickt. Das Vergrößern der Dicke **200** des Stahlwerkstückes **20** in dieser Weise hilft dabei, eine erhöhte Temperatur an dem Zentrum des Schmelzbades **68** aus geschmolzener Aluminiumlegierung aufrechtzuerhalten – wodurch zugelassen wird, dass es zuletzt abkühlt und erstarrt – was ferner radiale Temperaturgradienten erhöhen und Schweißfehler in Richtung des Zentrums der Schweißverbindung **70** treiben kann. Die Verdickung der Stoßfläche **24** des Stahlwerkstückes **20** kann auch die Bildung der einen oder mehreren Reaktionsschichten **74** aus intermetallischen Fe-Al-Verbindungen behindern oder unterbrechen, welche dazu neigt/en, sich an der Grenzfläche des Schmelzbades **68** aus geschmolzener Aluminiumlegierung und der Stoßfläche **24** des Stahlwerkstückes **20** zu bilden. Überdies kann, sobald die Schweißverbindung **70** in Gebrauch ist, die Verdickung der Stoßfläche **24** des Stahlwerkstückes **20** eine Rissfortpflanzung um die Schweißverbindung **70** herum durch Ablenken von Rissen entlang eines nicht bevorzugten Weges behindern.

**[0056]** Die oben beschriebenen und in den **Fig. 1–Fig. 13** gezeigten Ausführungsformen zielen auf Fälle ab, in denen der Werkstückstapel **14** ein Stahlwerkstück **20**, das eine äußere Oberfläche **26** umfasst, welche die erste Seite **34** des Stapels **14** bereitstellt und darstellt, und ein Aluminiumlegierungs-Werkstück **22** umfasst, das benachbart zu dem Stahlwerkstück **20** liegt und eine äußere Oberfläche **30** umfasst, welche eine entgegengesetzte zweite Seite **36** des Stapels **14** bereitstellt und darstellt. In anderen Fällen kann ein Werkstückstapel jedoch ein zu-

sätzliches Stahlwerkstück oder ein zusätzliches Aluminiumlegierungs-Werkstück – zusätzlich zu den benachbarten Stahl- und Aluminiumlegierungs-Werkstücken **20, 22** – umfassen, solange das Aluminiumlegierungs-Werkstück eine Seite des Werkstückstapels **14** bereitstellt und darstellt und das Stahlwerkstück die entgegengesetzte andere Seite des Stapels **14** bereitstellt und darstellt. Wenn die Abdeckplatte **10** mit Stapeln aus drei Werkstücken dieser Variante verwendet wird, funktioniert sie allgemein in der gleichen Weise und hat die gleiche allgemeine Wirkung auf die Schweißverbindung, die zwischen den benachbarten Stahl- und Aluminiumlegierungs-Werkstücken gebildet wird, wie zuvor beschrieben.

**[0057]** Wie in **Fig. 14** gezeigt, kann der Werkstückstapel **14** z. B. die benachbarten Stahl- und Aluminiumlegierungs-Werkstücke **20, 22**, wie oben beschrieben, zusätzlich zu einem weiteren Stahlwerkstück **90** umfassen. Wie gezeigt überlappt hier das zusätzliche Stahlwerkstück **90** die benachbarten Stahl- und Aluminiumlegierungs-Werkstücke **20, 22** und ist neben dem Stahlwerkstück **20** positioniert. Wenn das zusätzliche Stahlwerkstück **90** so positioniert ist, stellt die äußere Oberfläche **30** des Aluminiumlegierungs-Werkstückes **22** die zweite Seite **36** des Werkstückstapels **14** bereit und dar, wie zuvor, während das Stahlwerkstück **20**, das benachbart zu dem Aluminiumlegierungs-Werkstück **22** liegt, nun ein Paar entgegengesetzter Stoßflächen **24, 92** umfasst. Die Stoßfläche **24** des Stahlwerkstückes **20**, die der benachbarten Stoßfläche **28** des Aluminiumlegierungs-Werkstückes **22** gegenüber und mit dieser in Kontakt steht, stellt die Stoßgrenzfläche **32** zwischen den beiden Werkstücken **20, 22** her. Die Stoßfläche **92** des Stahlwerkstückes **20**, die in die entgegengesetzte Richtung weist, steht einer Stoßfläche **94** des zusätzlichen Stahlwerkstückes **92** gegenüber und stellt einen überlappenden Kontakt mit dieser her. In dieser speziellen Anordnung von überlappenden Werkstücken **20, 22, 92** stellt eine äußere Oberfläche **96** des zusätzlichen Stahlwerkstückes **92** als solche nun die erste Seite **34** des Werkstückstapels **14** bereit und dar.

**[0058]** In einem anderen Beispiel, das in **Fig. 15** gezeigt ist, kann der Werkstückstapel **14** die benachbarten Stahl- und Aluminiumlegierungs-Werkstücke **20, 22**, die oben beschrieben sind, zusätzlich zu einem weiteren Aluminiumlegierungs-Werkstück **98** umfassen. Wie gezeigt, überlappt hier das zusätzliche Aluminiumlegierungs-Werkstück **98** die benachbarten Stahl- und Aluminiumlegierungs-Werkstücke **20, 22** und ist neben dem Aluminiumlegierungs-Werkstück **22** positioniert. Wenn das zusätzliche weiteren Aluminiumlegierungs-Werkstück **98** so positioniert ist, stellt die äußere Oberfläche **26** des Stahlwerkstückes **20** die erste Seite **34** des Werkstückstapels **14** bereit und dar, wie zuvor, während das Aluminiumlegierungs-Werkstück **22**, das benachbart zu dem Stahlwerk-

stück **20** liegt, nun ein Paar entgegengesetzter Stoßflächen **28, 100** umfasst. Die Stoßfläche **28** des Aluminiumlegierungs-Werkstückes **22**, die der benachbarten Stoßfläche **24** des Stahlwerkstückes **20** gegenüber und mit dieser in Kontakt steht, stellt die Stoßgrenzfläche **32** zwischen den beiden Werkstücken **20, 22** her. Die Stoßfläche **100** des Aluminiumlegierungs-Werkstückes **20**, die in die entgegengesetzte Richtung weist, steht einer Stoßfläche **102** des zusätzlichen Aluminiumlegierungs-Werkstückes **98** gegenüber und stellt einen überlappenden Kontakt mit dieser her. In dieser speziellen Anordnung von überlappenden Werkstücken **20, 22, 98** stellt eine äußere Oberfläche **104** des zusätzlichen Aluminiumlegierungs-Werkstückes **98** als solche nun die zweite Seite **36** des Werkstückstapels **14** bereit und dar.

**[0059]** Die Abdeckplatte **10** kann verwendet werden, um dabei zu helfen, die in jeder der **Fig. 14** und **Fig. 15** gezeigten Werkstückstapel **14** punktzu-schweißen und die Festigkeit einer Schweißverbindung zu erhöhen, die zwischen den innerhalb der Stapel **14** enthaltenen benachbarten Stahl- und Aluminiumlegierungs-Werkstücken **20, 22** gebildet ist, in der gleichen allgemeinen Weise wie zuvor gebildet ist. Die Abdeckplatte **10** ist insbesondere benachbart zu der zweiten Seite **36** des Werkstückstapels **14** angeordnet und liegt bevorzugt in direktem Kontakt gegen dieselbe, welche die äußere Oberfläche **30** des Aluminiumlegierungs-Werkstückes **22**, die benachbart zu dem Stahlwerkstück **20** liegt (**Fig. 14**), oder die äußere Oberfläche **104** des zusätzlichen Aluminiumlegierungs-Werkstückes **98** (**Fig. 15**) sein kann. Die Abdeckplatte **10** ist so angeordnet, dass das Eindringmerkmal **12** an der Schweißstelle **16** vorhanden ist. Die Abdeckplatte **10** kann außerdem einen thermischen und elektrischen Widerstand aufweisen, die höher oder niedriger sind als der thermische und elektrische Widerstand des Aluminiumlegierungs-Werkstückes **22**, das zu dem Stahlwerkstück **20** benachbart liegt.

**[0060]** Nachdem die Abdeckplatte **10** korrekt angeordnet wurde, wird die Schweißfläche **54** der ersten Schweißelektrode **48** gegen die erste Seite des Werkstückstapels **14** gepresst, welche die äußere Oberfläche **26** des Stahlwerkstückes **20**, die benachbart zu dem Aluminiumlegierungs-Werkstück **22** liegt (**Fig. 15**), oder die äußere Oberfläche **96** des zusätzlichen Stahlwerkstückes **92** (**Fig. 14**) sein kann, und die Schweißfläche **56** der zweiten Schweißelektrode **52** wird gegen die äußere Oberfläche **40** der Abdeckplatte **10** über dem Eindringmerkmal **12** gepresst. Dann wird ein elektrischer Strom zwischen den axial und flächig ausgerichteten Schweißflächen **54, 56** der Schweißelektroden **48, 52** ausgetauscht, um eine Schweißverbindung zu bilden, welche die benachbarten Stahl- und Aluminiumlegierungs-Werkstücke **20, 22** aneinander bindet, wie oben beschrieben. Die Abdeckplatte **10** induziert wie zuvor das konische

elektrische Stromflussmuster innerhalb des Aluminiumlegierungs-Werkstückes **22**, welches benachbart zu dem Stahlwerkstück **20** liegt, um dabei zu helfen, dass das darin durch den elektrischen Strom erzeugte Schmelzbad aus geschmolzener Aluminiumlegierung in einer wünschenswerteren Weise zu der Schweißverbindung erstarrt. Die Abdeckplatte **10** kann auch verwendet werden, um Wärme an der zweiten Seite **36** des Werkstückstapels **14** zu erzeugen und zurückzuhalten.

**[0061]** Die obige Beschreibung beispielhafter bevorzugter Ausführungsformen und spezifischer Beispiele ist rein beschreibender Natur; diese sollen den Schutzzumfang der nachfolgenden Ansprüche nicht einschränken. Jeder der in den beigefügten Ansprüchen verwendeten Ausdrücke soll seine gebräuchliche und übliche Bedeutung haben, es sei denn, in der Patentbeschreibung wird ausdrücklich und unmissverständlich etwas anderes zum Ausdruck gebracht.

**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 [0035]
- US 8222560 [0035]
- US 8274010 [0035]
- US 8436269 [0035]
- US 8525066 [0035]
- US 8927894 [0035]

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Punktschweißen eines Werkstückstapels, der ein Stahlwerkstück und ein benachbartes Aluminiumlegierungs-Werkstück umfasst, wobei das Verfahren umfasst, dass:

ein Werkstückstapel vorgesehen wird, welcher ein Stahlwerkstück und ein Aluminiumlegierungs-Werkstück umfasst, welches das Stahlwerkstück überlappt und zu diesem benachbart liegt, um eine Stoßgrenzfläche an einer Schweißstelle herzustellen, wobei der Werkstückstapel eine erste Seite und eine zweite Seite aufweist, wobei die erste Seite des Werkstückstapels nahe dem Stahlwerkstück liegt und die zweite Seite des Werkstückstapels nahe dem Aluminiumlegierungs-Werkstück liegt;

eine Abdeckplatte benachbart zu der zweiten Seite des Werkstückstapels angeordnet wird, wobei die Abdeckplatte eine innere Oberfläche, die der zweiten Seite des Werkstückstapels gegenübersteht, und eine äußere Oberfläche aufweist, die in die entgegengesetzte Richtung von der inneren Oberfläche weist, wobei die Abdeckplatte ferner ein Eindringmerkmal umfasst, das mit der Schweißstelle ausgerichtet ist; eine erste Schweißfläche einer ersten Schweißelektrode gegen die erste Seite des Werkstückstapels gepresst wird und eine zweite Schweißfläche einer zweiten Schweißelektrode gegen die äußere Oberfläche der Abdeckplatte über dem Eindringmerkmal gepresst wird, wobei die erste und die zweite Schweißfläche der ersten und der zweiten Schweißelektrode an der Schweißstelle flächig ausgerichtet sind; und ein elektrischer Strom zwischen die erste und die zweite Schweißelektrode und durch den Werkstückstapel an der Schweißstelle hindurch geleitet wird, um ein Schmelzbad aus geschmolzener Aluminiumlegierung innerhalb des Aluminiumlegierungs-Werkstückes zu erzeugen, wobei das Schmelzbad aus geschmolzener Aluminiumlegierung eine benachbarte Stoßfläche des Stahlwerkstückes benetzt, und wobei das Schmelzbad aus geschmolzener Aluminiumlegierung zu einer Schweißverbindung erstarrt, welche die benachbarten Stahl- und Aluminiumlegierungs-Werkstücke an deren Stoßgrenzfläche nach Beenden des Leitens des elektrischen Stromes durch den Werkstückstapel aneinander bindet.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Stahlwerkstück eine äußere Oberfläche aufweist, welche die erste Seite des Werkstückstapels bereitstellt und darstellt, und das Aluminiumlegierungs-Werkstück eine äußere Oberfläche aufweist, welche die zweite Seite des Werkstückstapels bereitstellt und darstellt.

3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Werkstückstapel ferner ein zusätzliches Stahlwerkstück umfasst, welches das Stahlwerkstück überlappt und neben diesem positioniert ist, das benachbart zu dem Aluminiumlegierungs-Werkstück liegt, und wobei das zusätzliche Stahlwerkstück eine äußere Oberfläche

aufweist, welche die erste Seite des Werkstückstapels bereitstellt und darstellt, und das Aluminiumlegierungs-Werkstück eine äußere Oberfläche aufweist, welche die zweite Seite des Werkstückstapels bereitstellt und darstellt.

4. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Werkstückstapel ferner ein zusätzliches Aluminiumlegierungs-Werkstück umfasst, welches das Aluminiumlegierungs-Werkstück überlappt und neben diesem positioniert ist, das benachbart zu dem Stahlwerkstück liegt, und wobei das Stahlwerkstück eine äußere Oberfläche aufweist, welche die erste Seite des Werkstückstapels bereitstellt und darstellt und das zusätzliche Aluminiumlegierungs-Werkstück eine äußere Oberfläche aufweist, welche die zweite Seite des Werkstückstapels bereitstellt und darstellt.

5. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Abdeckplatte aus einem Material gebaut ist, das einen thermischen Widerstand und einen elektrischen Widerstand aufweist, die größer sind als ein thermischer Widerstand bzw. ein elektrischer Widerstand des Aluminiumlegierungs-Werkstückes, das benachbart zu dem Stahlwerkstück liegt.

6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei die Abdeckplatte aus Molybdän, Edelstahl oder einer Wolfram-Kupfer-Legierung gebaut ist.

7. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Abdeckplatte aus einem Material gebaut ist, das einen thermischen Widerstand und einen elektrischen Widerstand aufweist, die kleiner sind als ein thermischer Widerstand bzw. ein elektrischer Widerstand des Aluminiumlegierungs-Werkstückes, das benachbart zu dem Stahlwerkstück liegt.

8. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Eindringmerkmal eine Durchgangsbohrung ist, welche sich vollständig durch die Abdeckplatte von der inneren Oberfläche der Abdeckplatte zu der äußeren Oberfläche der Abdeckplatte hindurch erstreckt.

9. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Eindringmerkmal eine Vertiefung ist, welche die Dicke der Abdeckplatte teilweise durchquert.

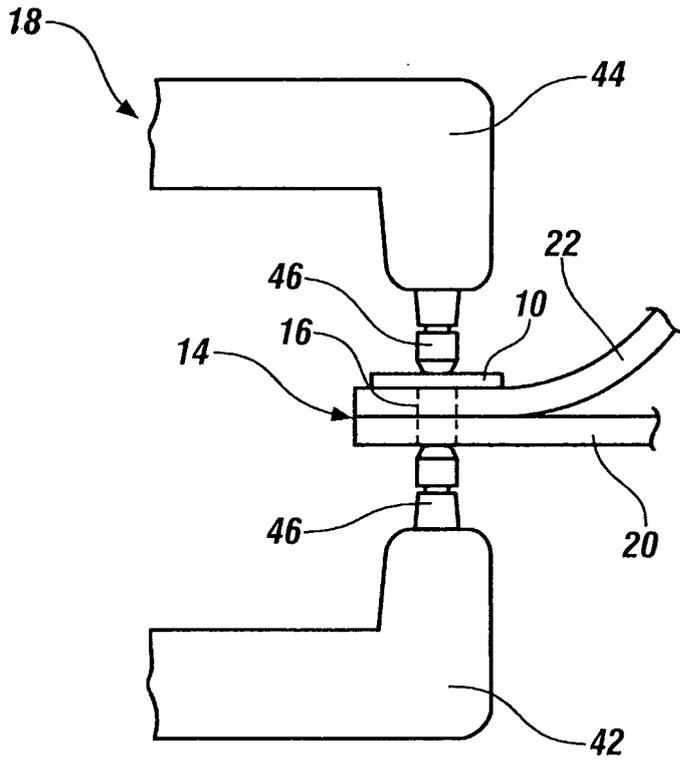
10. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Schritt zum Leiten von elektrischem Strom zwischen der ersten und der zweiten Schweißelektrode ferner umfasst, dass:

ein Schmelzbad aus geschmolzenem Stahl innerhalb des Stahlwerkstückes erzeugt wird, das benachbart zu dem Aluminiumlegierungs-Werkstück liegt, wobei das Schmelzbad aus geschmolzenem Stahl bewirkt, dass eine Dicke des Stahlwerkstückes in Richtung des benachbarten Aluminiumlegierungs-Werkstückes um bis zu 50% an der Schweißstelle zunimmt, und wobei das Schmelzbad aus geschmolze-

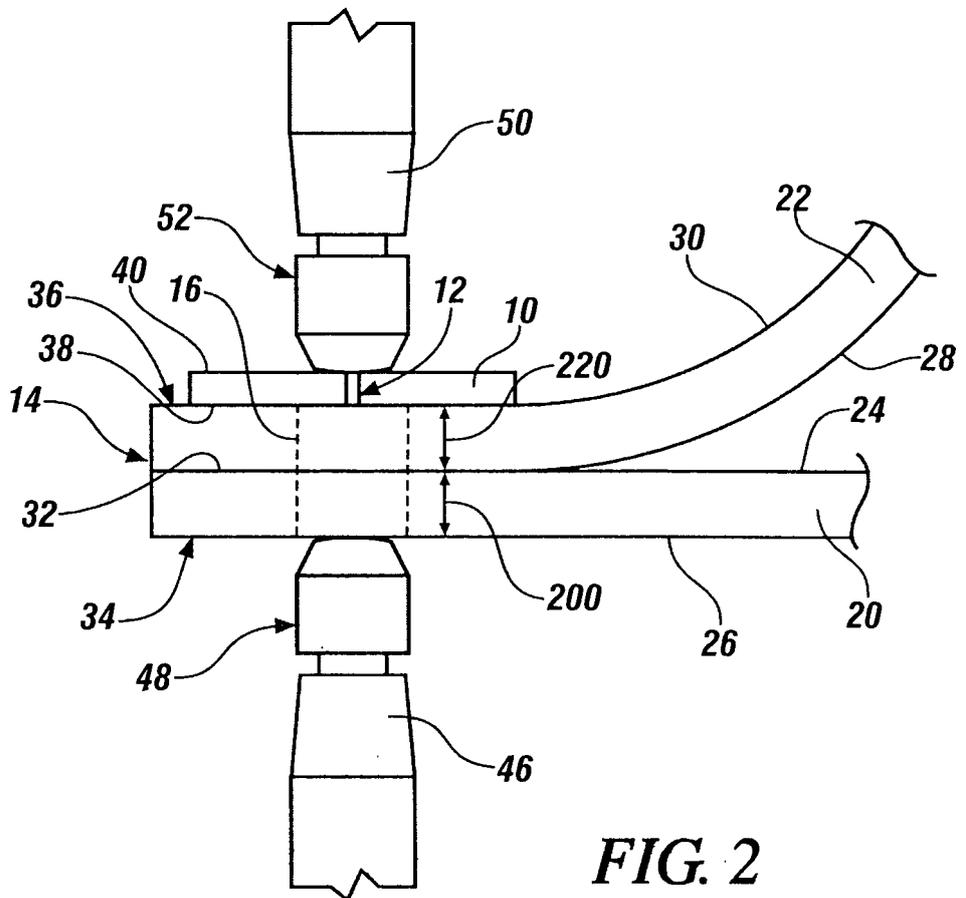
nem Stahl nach Beenden des Leitens des elektrischen Stromes durch den Werkstückstapel zu einer Stahlschweißlinse erstarrt.

Es folgen 7 Seiten Zeichnungen

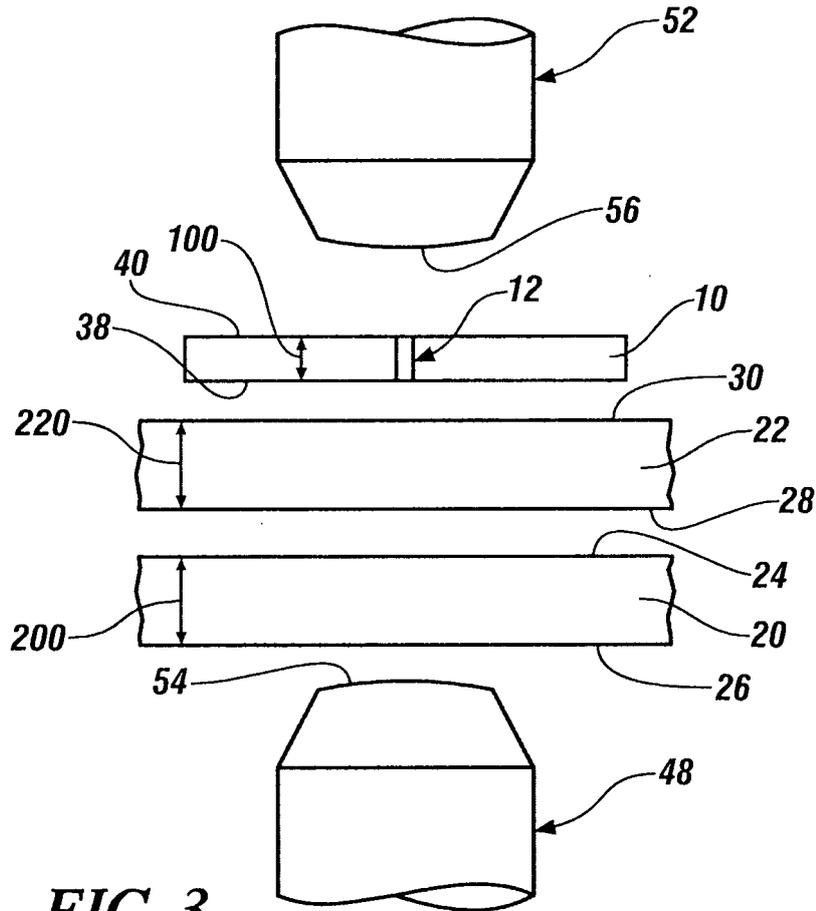
Anhängende Zeichnungen



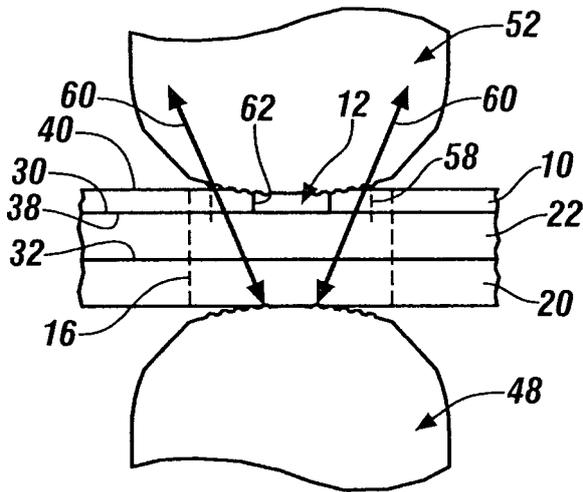
**FIG. 1**



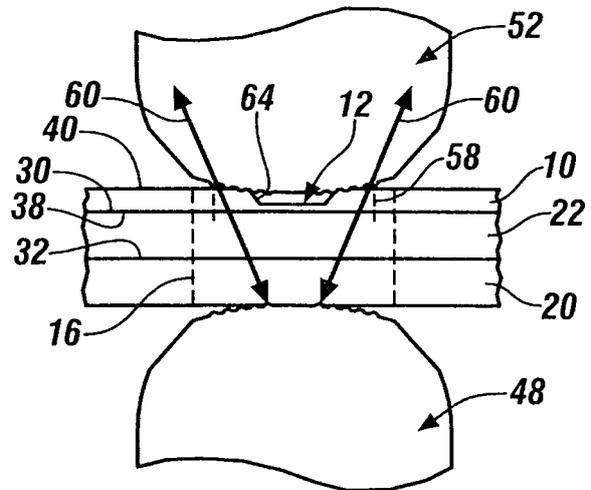
**FIG. 2**



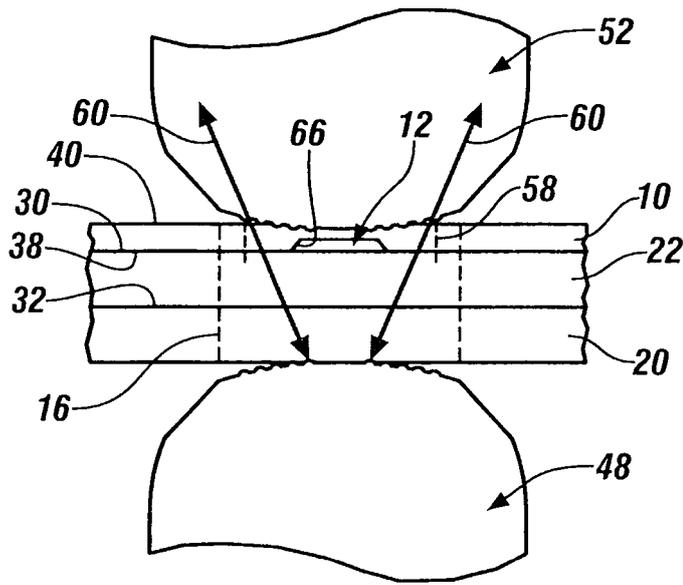
**FIG. 3**



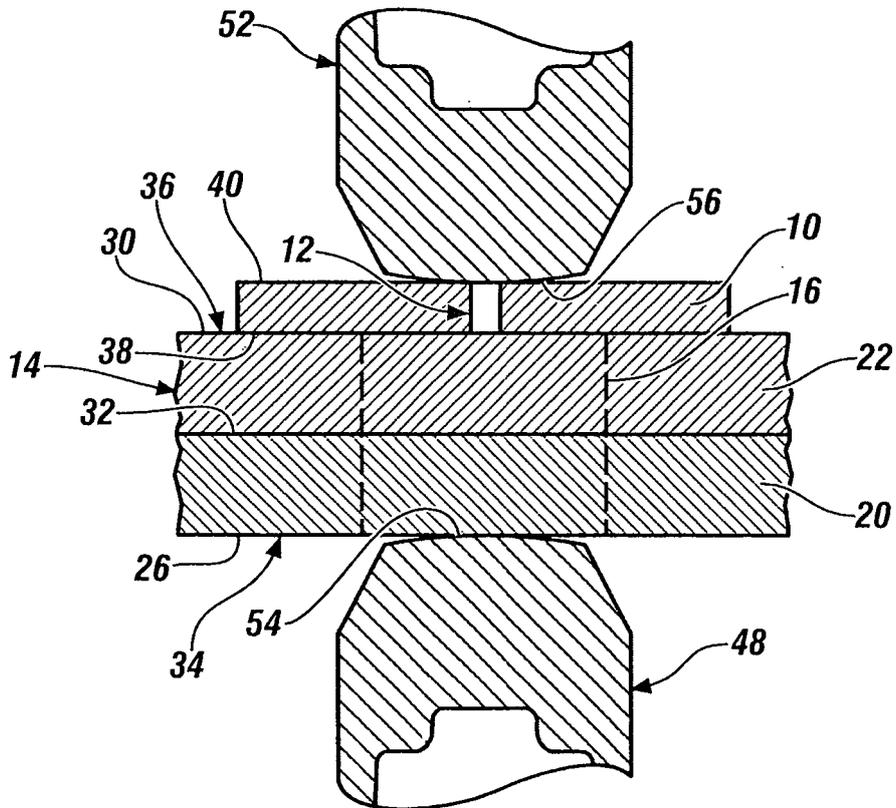
**FIG. 4**



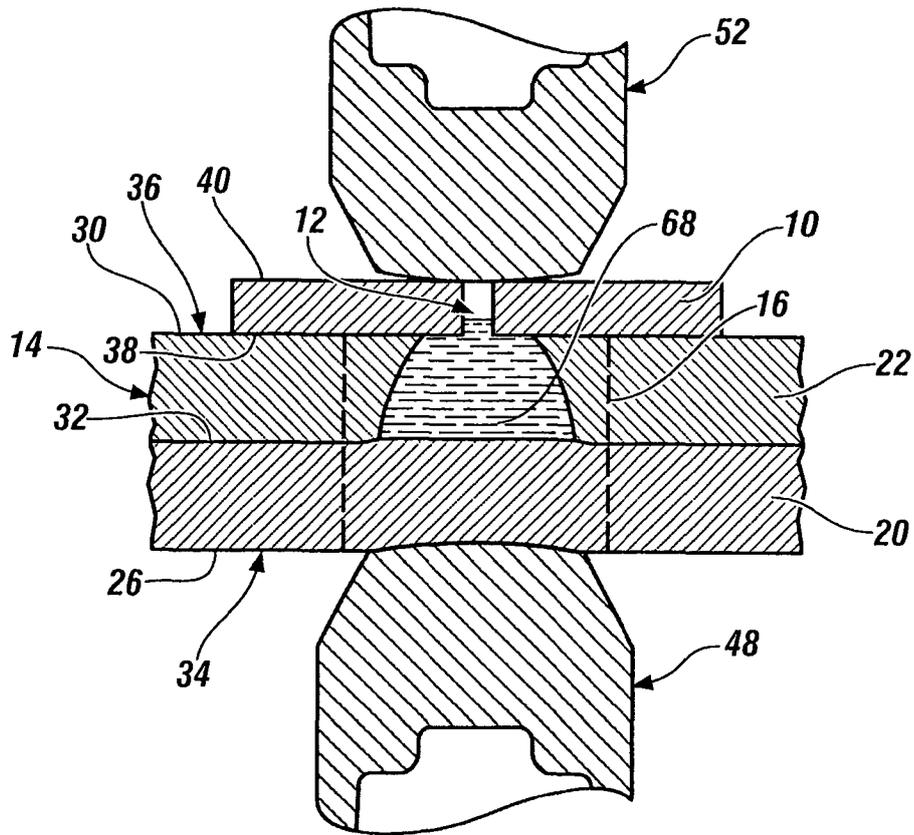
**FIG. 5**



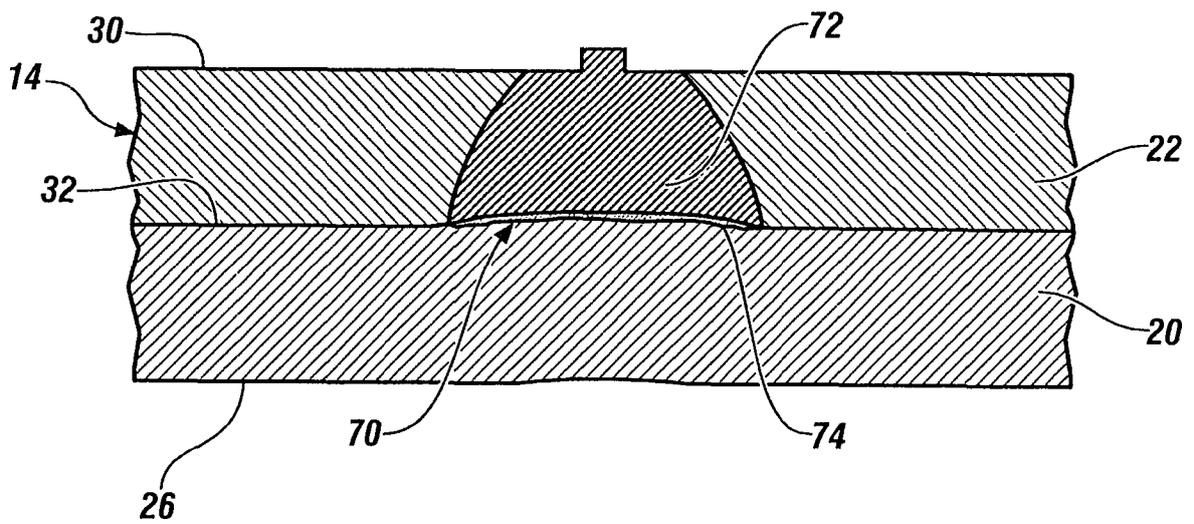
**FIG. 6**



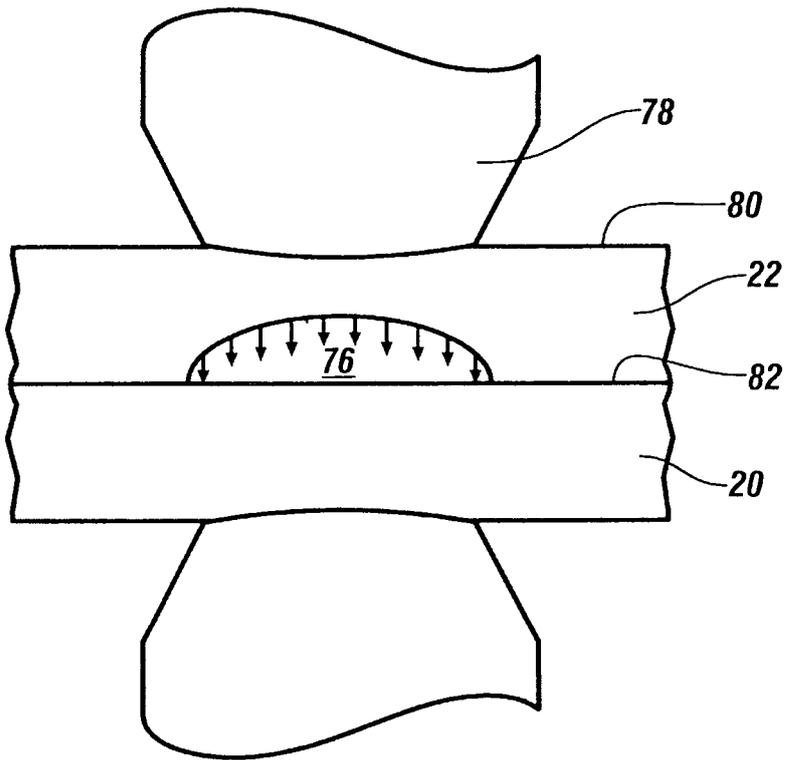
**FIG. 7**



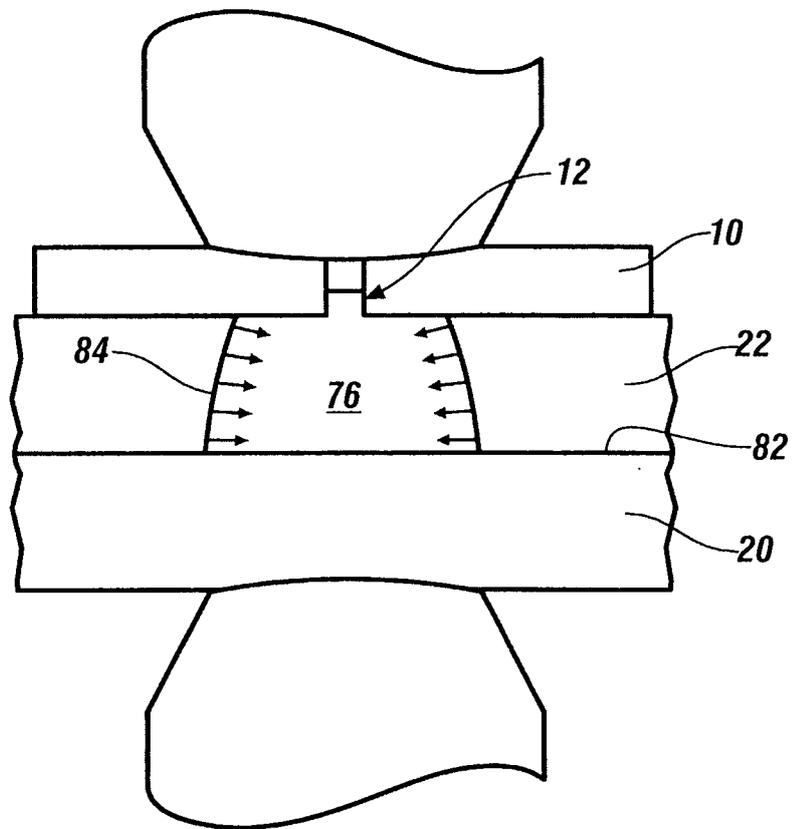
**FIG. 8**



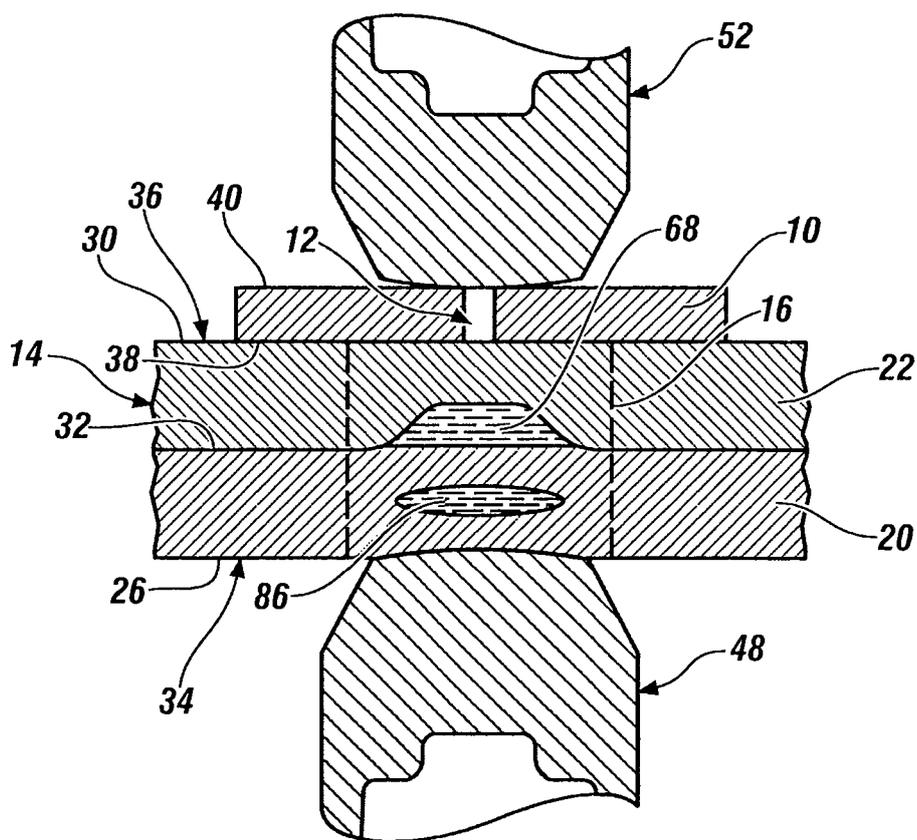
**FIG. 9**



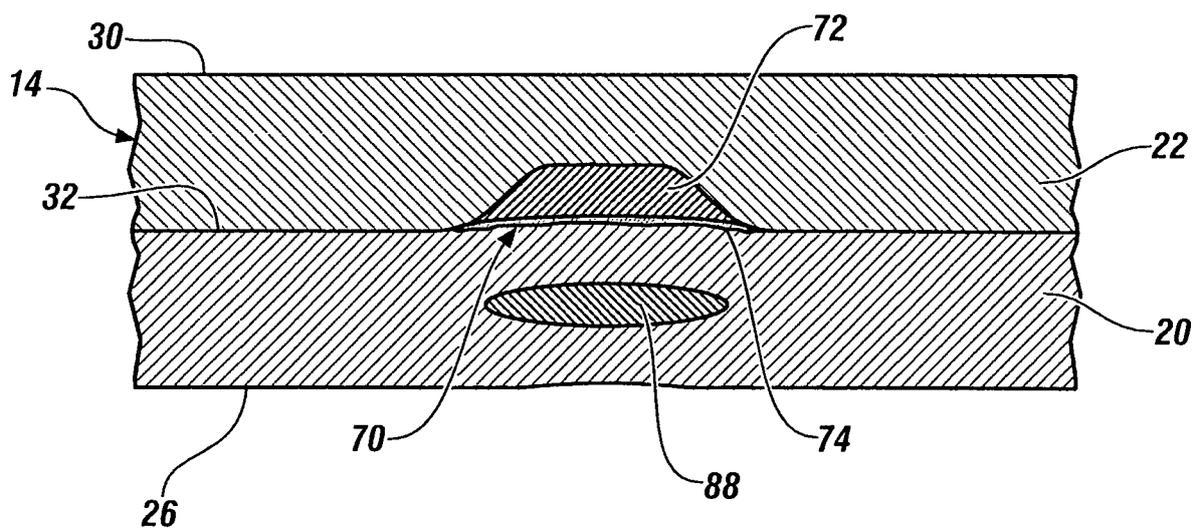
**FIG. 10**



**FIG. 11**



**FIG. 12**



**FIG. 13**

