



(10) **DE 10 2014 114 335 A1** 2015.04.09

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2014 114 335.3**

(22) Anmeldetag: **02.10.2014**

(43) Offenlegungstag: **09.04.2015**

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

(30) Unionspriorität:

61/886,752 **04.10.2013** **US**
14/503,969 **01.10.2014** **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:

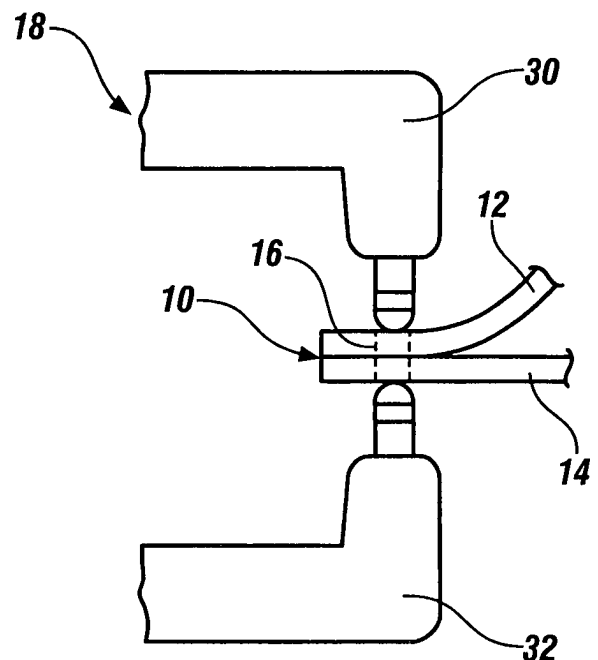
**Sigler, David R., Shelby Township, Mich., US;
Schroth, James G., Troy, Mich., US; Carlson, Blair
E., Ann Arbor, Mich., US; Myasnikova, Yelena,
Buffalo, N.Y., US; Yang, David, Shanghai, CN**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **ALUMINIUMLEGIERUNG-AN-STAHLSCHWEISSVERFAHREN**

(57) Zusammenfassung: Ein Widerstandspunktschweißverfahren kann beinhalten, dass ein Werkstückstapel punktgeschweißt wird, der ein Stahlwerkstück und ein Aluminiumlegierungs-Werkstück umfasst, die einander überlappen, um eine Stoß-Grenzfläche bereitzustellen. Ein Paar von entgegengesetzten Schweißelektroden wird gegen gegenüberliegende Seiten des Werkstückstapels gepresst, wobei eine Schweißelektrode mit dem Aluminiumlegierungs-Werkstück in Kontakt steht und die andere Schweißelektrode mit dem Stahlwerkstück in Kontakt steht. Die Schweißelektroden sind so aufgebaut, dass, wenn ein elektrischer Strom zwischen den Elektroden und durch den Werkstückstapel hindurch geleitet wird, der elektrische Strom in dem Stahlwerkstück eine höhere Stromdichte aufweist als in dem Aluminiumlegierungs-Werkstück, um dadurch Wärme innerhalb einer kleineren Zone in dem Stahlwerkstück zu konzentrieren. Man nimmt an, dass ein Konzentrieren von Wärme innerhalb einer kleineren Zone in dem Stahlwerkstück das Erstarrungsverhalten des resultierenden Aluminiumlegierungs-Schweißschmelzbades in einer wünschenswerten Art und Weise verändert.



BeschreibungQUERVERWEIS AUF
VERWANDTE ANMELDUNGEN

[0001] Diese Anmeldung beansprucht die Priorität der vorläufigen U.S.-Patentanmeldung Nummer 61/886 752, eingereicht am 4. Oktober 2013, deren vollständiger Inhalt hiermit durch Bezugnahme aufgenommen ist.

TECHNISCHES GEBIET

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

HINTERGRUND

[0003] Das Widerstandspunktschweißen ist ein Verfahren, das in einer Anzahl von Industrien verwendet wird, um zwei oder mehr Metallwerkstücke aneinander zu fügen. Die Automobilindustrie verwendet beispielsweise oft das Widerstandspunktschweißen, um vorgefertigte Metallwerkstücke während der Herstellung von, unter anderem, einer/s Fahrzeughür, -haube, -kofferraumdeckels oder -heckklappe aneinander zu fügen. Es werden in der Regel mehrere Punktschweißnähte entlang eines Umfangsbereiches der Metallwerkstücke oder an einem anderen Bindungsgebiet gebildet, um sicherzustellen, dass das Teil strukturell einwandfrei ist. Während das Punktschweißen typischerweise praktiziert wurde, um bestimmte, ähnlich zusammengesetzte Metallwerkstücke – z. B. Stahl an Stahl und Aluminiumlegierung an Aluminiumlegierung – aneinander zu fügen, hat der Wunsch, leichtgewichtigeren Materialien in eine Fahrzeugplattform einzubauen, das Interesse am Fügen von Stahlwerkstücken an Aluminiumlegierungs-Werkstücke durch Widerstandspunktschweißen mit sich gebracht. Überdies würde die Möglichkeit des Widerstandspunktschweißens von Werkstückstapeln, die unterschiedliche Werkstück-Kombinationen (z. B. Aluminiumlegierung/Aluminiumlegierung, Stahl/Stahl und Aluminiumlegierung/Stahl) enthalten, mit einem Anlagenteil die Produktionsflexibilität erhöhen und Herstellungskosten reduzieren.

[0004] Das Widerstandspunktschweißen im Allgemeinen beruht auf dem Widerstand gegenüber dem Fluss eines elektrischen Stromes durch überlappende stehende Metallwerkstücke und über ihre Stoß-Grenzfläche hinweg, um Wärme zu erzeugen. Um solch einen Schweißprozess durchzuführen, wird ein Paar entgegengesetzter Punktschweißelektroden in der Regel an diametral ausgerichteten Punkten auf gegenüberliegenden Seiten der Werkstücke an einer vorbestimmten Schweißstelle eingespannt. Dann

wird ein elektrischer Strom durch die Metallwerkstücke hindurch von einer Elektrode zu der anderen geleitet. Der Widerstand gegenüber dem Fluss dieses elektrischen Stromes erzeugt Wärme innerhalb der Metallwerkstücke und an ihrer Stoß-Grenzfläche. Wenn die Metallwerkstücke, die punktwerschweißt werden, ein Stahlwerkstück und ein Aluminiumlegierungs-Werkstück sind, initiiert die an der Stoß-Grenzfläche erzeugte Wärme ein Schweißschmelzbad, das sich von der Stoß-Grenzfläche in das Aluminiumlegierungs-Werkstück hinein erstreckt. Das Aluminiumlegierungs-Schweißschmelzbad benetzt die benachbarte Oberfläche des Stahlwerkstückes und erstarrt nach dem Beenden des Stromflusses zu einer Schweißlinse, die eine ganze oder einen Teil einer Schweißverbindung zwischen den beiden Werkstücken bildet.

[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 – insbesondere die Abschälfestigkeit – der Schweißverbindung nachteilig beeinflussen kann. Zum einen enthält das Aluminiumlegierungs-Werkstück üblicherweise eine oder mehrere hitzebeständige Oxidschichten (hierin nachfolgend kollektiv als „Oxidschicht“ bezeichnet) auf seiner Oberfläche. Die Oxidschicht, die hauptsächlich aus Aluminiumoxiden zusammengesetzt ist, aber auch andere Oxide wie z. B. Magnesiumoxide umfassen kann, ist elektrisch isolierend und mechanisch robust. Die Oberflächen-Oxidschicht erhöht daher den elektrischen Kontaktwiderstand eines Aluminiumlegierungs-Werkstückes – insbesondere an seiner Stoßfläche und an seinem Elektrodenkontaktpunkt – was es schwierig macht, die Wärme innerhalb des Aluminiumlegierungs-Werkstückes effektiv zu steuern und zu konzentrieren, weshalb sie dazu neigt, die Fähigkeit der Schweißbadschmelze zu behindern, das Stahlwerkstück zu benetzen. Und während in der Vergangenheit Anstrengungen unternommen wurden, zu versuchen, die Oxidschicht vor dem Punktschweißen von dem Aluminiumlegierungs-Werkstück zu entfernen, können solche Vorgehensweisen unpraktisch sein, da die Oxidschicht die Fähigkeit besitzt, sich in der Gegenwart von Sauerstoff, insbesondere mit der Anwendung von Wärme von Punktschweißanwendungen, zu regenerieren.

[0006] Das Stahlwerkstück und das Aluminiumlegierungs-Werkstück besitzen auch verschiedene Eigenschaften, die dazu neigen, den Punktschweißprozess zu verkomplizieren. Insbesondere weist Stahl einen relativ hohen Schmelzpunkt (~1500°C) und einen relativ hohen thermischen und elektrischen Widerstand auf, während die Aluminiumlegierung einen relativ niedrigen Schmelzpunkt (~600°C) und einen relativ niedrigen thermischen und elektrischen Widerstand aufweist. Infolge dieser physikalischen Unterschiede

de wird während des elektrischen Stromflusses der Großteil der Wärme in dem Stahlwerkstück erzeugt. Dieses Wärme-Ungleichgewicht errichtet 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 sich, unmittelbar nachdem der elektrische Strom aufgehört hat, eine Situation einstellt, 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 in Kontakt mit dem Aluminiumlegierungs-Werkstück geleitet, was steile thermische Gradienten in dieser Richtung erzeugt.

[0007] Man nimmt an, dass die Entwicklung von steilen thermischen Gradienten zwischen dem Stahlwerkstück und der Schweißelektrode in Kontakt mit dem Aluminiumlegierungs-Werkstück die Integrität der resultierenden Schweißverbindung auf zweierlei primäre Art und Weise schwächt. Erstens, da das Stahlwerkstück Wärme über eine längere Dauer zurückhält als das Aluminiumlegierungs-Werkstück, nachdem der elektrische Strom aufgehört hat, erstarrt das Schweißschmelzbad, das in dem Aluminiumlegierungs-Werkstück initiiert und zum Wachsen gebracht wurde, gerichtet, beginnend von dem Gebiet am nächsten bei der kälteren Schweißelektrode (oft wassergekühlt), welches dem Aluminiumlegierungs-Werkstück zugehörig ist, und sich in Richtung der Stoß-Grenzfläche ausbreitend. Eine Erstarungsfront dieser Art neigt dazu, Fehler – z. B. eine Gasporosität, Schrumpfungshohlräume, Mikrorissbildung und Oxidrückstände – in Richtung und entlang der Stoß-Grenzfläche innerhalb der Aluminiumlegierungs-Schweißlinse zu reißen oder zu treiben. Zweitens begünstigt die anhaltend erhöhte Temperatur in dem Stahlwerkstück das Wachstum von spröden intermetallischen Fe-Al-Verbindungen an und entlang der Stoß-Grenzfläche. Die intermetallischen Verbindungen neigen dazu, dünne Reaktionsschichten zwischen der Schweißlinse und dem Stahlwerkstück zu bilden. Diese intermetallischen Schichten werden allgemein als Teil der Schweißverbindung, falls vorhanden, zusätzlich zu der Schweißlinse betrachtet. Man nimmt an, dass das Vorhandensein einer Verteilung von Schweißlinsenfehlern zusammen mit übermäßigem Wachstum von intermetallischen Fe-Al-Verbindungen entlang der Stoß-Grenzfläche, die Abschälfestigkeit der fertigen Schweißverbindung herabsetzt.

[0008] Im Licht der zuvor erwähnten Herausforderungen haben bisherige Bemühungen zum Punktschweißen eines Stahlwerkstückes und eines Aluminiumlegierungs-Werkstückes einen Schweißplan

verwendet, der höhere Ströme, längere Schweißzeiten oder beides (verglichen mit dem Punktschweißen von Stahl an Stahl) bestimmt, um eine angemessene Schweißbindungsfläche zu versuchen und zu beschaffen. Diese Bemühungen waren großteils erfolglos in einer Produktionsumgebung und neigen dazu, die Schweißelektroden zu beschädigen. Unter der Maßgabe, dass die bisherigen Bemühungen zum Punktschweißen nicht besonders erfolgreich waren, wurden stattdessen vorwiegend mechanische Verfahren wie z. B. Schlagniete und Flow-Drill-Schrauben verwendet. Sowohl Schlagniete als auch Flow-Drill-Schrauben sind verglichen mit dem Punktschweißen wesentlich langsamer und sind mit hohen Gebrauchskosten verbunden. Sie fügen der Fahrzeugkarosseriestruktur auch Gewicht hinzu, was an einem bestimmten Punkt beginnen kann, die Gewichtseinsparungen zu konterkarieren, welche durch die hauptsächliche Verwendung von Aluminiumlegierungs-Werkstücken erzielt wurden. Somit wären auf dem technischen Gebiet Fortschritte beim Punktschweißen willkommen, welche den Prozess besser in die Lage versetzen würden, Stahl- und Aluminiumlegierungs-Werkstücke zu fügen.

ZUSAMMENFASSUNG

[0009] Ein Verfahren zum Widerstandspunktschweißen eines Stapels, der ein Stahlwerkstück und ein Aluminiumlegierungs-Werkstück umfasst, beinhaltet, dass gegenüberliegende Seiten des Stapels an einer vorbestimmten Schweißstelle mit entgegengesetzten Schweißelektroden in Kontakt gebracht werden. Eine Schweißelektrode steht mit dem Stahlwerkstück in Kontakt und wird gegen dieses gepresst, und die andere Schweißelektrode steht dem Aluminiumlegierungs-Werkstück in Kontakt und wird gegen dieses gepresst. Dann wird ein elektrischer Strom zwischen den Schweißelektroden und durch den Stapel hindurch geleitet, um ein Aluminiumlegierungs-Schweißschmelzbad innerhalb des Aluminiumlegierungs-Werkstückes und an einer Stoß-Grenzfläche der Werkstücke zu initiieren und zum Wachsen zu bringen. Die Schweißelektroden bilden in ihren jeweiligen Werkstücken eine Aufstandsfläche, und nach Beenden des Stromflusses weist die an dem Aluminiumlegierungs-Werkstück gebildete Aufstandsfläche eine größere Oberfläche auf als die an dem Stahlwerkstück gebildete Aufstandsfläche. Die Differenz der Aufstandsflächengrößen hat einen Durchgang des elektrischen Stromes durch das Stahlwerkstück bei einer höheren Stromdichte als in dem Aluminiumlegierungs-Werkstück zur Folge.

[0010] Die Differenz in der Stromdichte zwischen dem Stahl- und dem Aluminiumlegierungs-Werkstück (höhere Stromdichte in dem Stahlwerkstück) konzentriert Wärme innerhalb einer kleineren Zone in dem Stahlwerkstück verglichen mit dem Aluminiumlegierungs-Werkstück. Der Schweißstromplan kann

gleichmäßig geregelt werden, falls erwünscht, um ein Schweißschmelzbad innerhalb des Stahlwerkstückes zusätzlich dazu zu initiieren, dass das Aluminiumlegierungs-Schweißschmelzbad innerhalb des Aluminiumlegierungs-Werkstückes und an der Stoß-Grenzfläche initiiert wird. Der Vorgang des Konzentrierens von Wärme innerhalb einer kleineren Zone in dem Stahlwerkstück – möglicherweise in dem Ausmaß zum Initiieren eines Stahl-Schweißschmelzbad – verändert die Temperaturgradienten und dadurch das Erstarrungsverhalten des Aluminiumlegierungs-Schweißschmelzbad. Man nimmt an, dass diese thermisch induzierten Effekte eine Schweißverbindung an der Stoß-Grenzfläche zur Folge haben können, die eine verbesserte Abschälfestigkeit und eine bessere strukturelle Gesamtintegrität aufweist.

[0011] Im Speziellen nimmt man an, dass das Konzentrieren von Wärme innerhalb einer kleineren Zone in dem Stahlwerkstück verglichen mit dem Aluminiumlegierungs-Werkstück bewirkt, dass Temperaturgradienten innerhalb des und um das Aluminiumlegierungs-Schweißschmelzbad/es herum gebildet werden, wodurch zugelassen wird, dass das Schweißbad von seinem äußeren Umfang in Richtung seines Zentrums erstarrt. Eine Erstarrungsfront, die sich von dem Schweißbadumfang einwärts in Richtung des Zentrums des Schweißbades bewegt, treibt wiederum Schweißfehler in Richtung des Zentrums der Schweißverbindung, wo sie weniger dafür anfällig sind, die mechanischen Eigenschaften der Schweißverbindung zu beeinflussen. Das Konzentrieren von Wärme, sodass ein Stahl-Schweißbad initiiert wird, kann ferner dabei helfen, Fehler in das Zentrum der Schweißverbindung hinein zu treiben, indem bewirkt wird, dass sich das Stahlwerkstück in Richtung der Stoß-Grenzfläche verdickt. Eine derartige Verdickung des Stahlwerkstückes hilft dabei, dass das Zentrum des Aluminiumlegierungs-Schweißschmelzbad erwärmt bleibt, sodass es zuletzt erstarrt. Die durch die Verdickung des Stahlwerkstückes geschaffene nicht ebene Stoß-Grenzfläche kann auch dabei helfen, einer Rissbildung in der letztlich gebildeten Schweißverbindung zu widerstehen.

[0012] Es gibt eine Vielfalt von Schweißelektroden-Bauformen und -Kombinationen, die zum Punktschweißen des Stahl- und des Aluminiumlegierungs-Werkstückes des Stapels verwendet werden können, sodass eine größere elektrische Stromdichte in dem Stahlwerkstück verglichen mit dem Aluminiumlegierungs-Werkstück erreicht wird. Die Schweißelektrode auf der Stahlseite kann z. B. eine ebene oder relativ ebene Schweißfläche mit einem kleinen Durchmesser aufweisen, während die Schweißelektrode auf der Aluminiumlegierungsseite eine ebene oder stärker gerundete Schweißfläche mit einem größeren Durchmesser aufweisen kann. Die beiden Schweißelektroden können auch Multifunktionselektroden mit

ähnlicher Bauform sein, die konstruiert sind, um Aufstandsflächen mit asymmetrischen Oberflächen an dem Stahl- und dem Aluminiumlegierungs-Werkstück zu bilden. Außer dass solche Schweißelektroden das Stahlwerkstück und das Aluminiumlegierungs-Werkstück besser punktschweißbar machen, können sie auch zum Punktschweißen von Stapeln aus Stahlwerkstücken und Stapeln aus Aluminiumlegierungs-Werkstücken verwendet werden, wenn Punktschweißprozess-Flexibilität erwünscht ist.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0013] Fig. 1 ist eine seitliche Aufrissansicht eines Werkstückstapels, der ein Stahlwerkstück und ein Aluminiumlegierungs-Werkstück umfasst, die in einer überlappenden Weise zum Widerstandspunktschweißen an einer vorbestimmten Schweißstelle mithilfe einer Schweißpistole zusammengestellt sind;

[0014] Fig. 2 ist eine partielle, vergrößerte Ansicht des Stapels und von entgegengesetzten Schweißelektroden, die in Fig. 1 abgebildet sind;

[0015] Fig. 3 ist eine partielle, auseinandergezogene Seitenansicht des Stapels und von entgegengesetzten Schweißelektroden, die in Fig. 2 abgebildet sind;

[0016] Fig. 4 ist eine seitliche Aufrissansicht der in Fig. 3 abgebildeten Stahl-Schweißelektrode;

[0017] Fig. 5 ist eine seitliche Aufrissansicht der in Fig. 3 abgebildeten Aluminiumlegierungs-Schweißelektrode;

[0018] Fig. 6 ist eine partielle Querschnittsansicht (der Stapel ist im Querschnitt gezeigt) des Stapels während des Punktschweißens, bei dem die Stahl-Schweißelektrode mit einer Elektroden-Kontaktfläche des Stahlwerkstückes in Kontakt steht und eine Aluminiumlegierungs-Schweißelektrode mit einer Elektroden-Kontaktfläche des Aluminiumlegierungs-Werkstückes in Kontakt steht;

[0019] Fig. 7 ist eine partielle Querschnittsansicht (der Stapel ist im Querschnitt gezeigt) des Stapels nach dem Aufhören des elektrischen Stromes, bei dem sich eine Schweißverbindung an der Stoß-Grenzfläche gebildet hat und sich eine Stahl-Schweißlinse innerhalb des Stahlwerkstückes gebildet hat;

[0020] Fig. 8 ist eine seitliche Aufrissansicht einer Multifunktions-Schweißelektrode, die während des Punktschweißens des in den Fig. 1–Fig. 3 abgebildeten Stapels als die Stahl-Schweißelektrode, die Aluminiumlegierungs-Schweißelektrode oder beide Schweißelektroden verwendet werden kann;

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

[0021] Fig. 9 ist eine partielle Querschnittsansicht (der Stapel ist im Querschnitt gezeigt) des Stapels während des Punktschweißens, bei dem die in Fig. 8 gezeigte Multifunktions-Schweißelektrode sowohl als die Stahl-Schweißelektrode als auch die Aluminiumlegierungs-Schweißelektrode verwendet wird;

[0022] Fig. 10 ist eine seitliche Aufrissansicht einer weiteren Multifunktions-Schweißelektrode, die während des Punktschweißens des in den Fig. 1–Fig. 3 abgebildeten Stapels als die Stahl-Schweißelektrode, die Aluminiumlegierungs-Schweißelektrode oder beide Schweißelektroden verwendet werden kann;

[0023] Fig. 11 ist eine partielle Querschnittsansicht (der Stapel ist im Querschnitt gezeigt) des Stapels während des Punktschweißens, bei dem die in Fig. 10 gezeigte Multifunktions-Schweißelektrode mit einer Elektroden-Kontaktfläche des Stahlwerkstückes in Kontakt steht und die in Fig. 5 gezeigte eine Aluminiumlegierungs-Schweißelektrode mit einer Elektroden-Kontaktfläche des Aluminiumlegierungs-Werkstückes in Kontakt steht;

[0024] Fig. 12 ist eine Mikroaufnahme eines Aluminiumlegierungs-Werkstückes (oberes Substrat) und eines Stahlwerkstückes (unteres Substrat), die mithilfe eines Paares von Schweißelektroden miteinander widerstandspunktverschweißt worden sind, welche einen elektrischen Strom mit einer höheren Stromdichte verglichen mit dem Aluminiumlegierungs-Werkstück durch das Stahlwerkstück hindurch geleitet haben;

[0025] Fig. 13 ist eine Mikroaufnahme der in Fig. 12 gezeigten Struktur, nachdem sie geätzt wurde, um die Stahl-Schweißlinse besser zu zeigen, die in dem Stahlwerkstück gebildet wurde;

[0026] Fig. 14 ist eine Mikroaufnahme eines Aluminiumlegierungs-Werkstückes (oberes Substrat) und eines Stahlwerkstückes (unteres Substrat), die auf eine herkömmliche Art und Weise miteinander widerstandspunktverschweißt worden sind;

[0027] Fig. 15 ist eine partielle Querschnittsansicht eines Stapels, der ein Paar Aluminiumlegierungs-Werkstücke umfasst, nachdem sie unter Verwendung der in Fig. 8 gezeigten Multifunktions-Schweißelektrode auf jeder Seite des Stapels miteinander widerstandspunktverschweißt wurden; und

[0028] Fig. 16 ist eine partielle Querschnittsansicht eines Stapels, der ein Paar Stahlwerkstücke umfasst, nachdem sie unter Verwendung der in Fig. 8 gezeigten Multifunktions-Schweißelektrode auf jeder Seite des Stapels miteinander widerstandspunktverschweißt wurden.

[0029] Die Fig. 1–Fig. 3 zeigen allgemein einen Werkstückstapel 10, der ein Stahlwerkstück 12 und ein Aluminiumlegierungs-Werkstück 14 umfasst, die in überlappender Weise zum Widerstandspunktschweißen an einer vorbestimmten Schweißstelle 16 mithilfe einer Schweißpistole 18 zusammengestellt sind. Das Stahlwerkstück 12 ist bevorzugt ein galvanisierter oder verzinkter kohlenstoffarmer Stahl. Es können selbstverständlich andere Arten von Stahlwerkstücken, unter anderem z. B. ein kohlenstoffarmer, blanker Stahl oder ein galvanisierter, moderner, hochfester unlegierter Stahl (AHSS, vom engl. advanced high strength steel), verwendet werden. Einige spezifische Arten von Stahl, die in dem Stahlwerkstück 12 verwendet werden können, umfassen „Interstitial-free“ (IF)-Stahl, Dualphasen (DP)-Stahl, „Transformation-Induced Plasticity“ (TRIP)-Stahl und pressgehärteten Stahl (PHS vom engl. press-hardened steel). Was das Aluminiumlegierungs-Werkstück 14 betrifft, so kann es eine Aluminium-Magnesium-Legierung, eine Aluminium-Silizium-Legierung, eine Aluminium-Magnesium-Silizium-Legierung oder eine Aluminium-Zink-Legierung sein oder es kann mit Zink oder einer Konversionsbeschichtung beschichtet sein, um das Klebevermögen zu verbessern, falls erwünscht. Einige spezifische Aluminiumlegierungen, die in dem Aluminiumlegierungs-Werkstück 14 verwendet werden können, sind die Aluminium-Magnesium-Legierung 5754, die Aluminium-Magnesium-Silizium-Legierung 6022 und die Aluminium-Zink-Legierung 7003. Der Ausdruck „Werkstück“ und seine Stahl- und Aluminiumvarianten werden in der vorliegenden Offenbarung weitläufig verwendet, um sich auf eine Metallblechlage, ein Gussteil, einen Strangguss oder irgendein anderes Teil zu beziehen, das widerstandspunktschweißbar ist, einschließlich jeglicher Oberflächenlagen oder -schichten, falls vorhanden.

[0030] Wenn es zum Punktschweißen aufgestapelt ist, umfasst das Stahlwerkstück 12 eine Stoßfläche 20 und eine Elektroden-Kontaktfläche 22. Gleichermaßen umfasst das Aluminiumlegierungs-Werkstück 14 eine Stoßfläche 24 und eine Elektroden-Kontaktfläche 26. Die Stoßflächen 20, 24 der beiden Werkstücke 12, 14 stehen miteinander in Kontakt, um eine Stoß-Grenzfläche 28 an der Schweißstelle 16 vorzusehen. Die Elektroden-Kontaktflächen 22, 26 des Stahl- und des Aluminiumlegierungs-Werkstückes 12, 14 weisen andererseits allgemein in entgegengesetzten Richtungen voneinander weg, um sie für ein Paar gegenüberliegender Punktschweißelektroden zugänglich zu machen. Jedes von dem Stahl- und dem Aluminiumlegierungs-Werkstück 12, 14 weist bevorzugt eine Dicke 120, 140 auf, die in einem Bereich von etwa 0,3 mm bis etwa 6,0 mm und stärker bevorzugt von etwa 0,5 mm bis etwa 4,0 mm zumindest an der Schweißstelle 16 liegt.

[0031] Die Schweißpistole **18** ist üblicherweise Teil eines größeren automatisierten Schweißablaufes und umfasst einen ersten Pistolarm **30** und einen zweiten Pistolarm **32**, die mechanisch und elektrisch ausgestaltet sind, um wiederholt Punktschweißnähte gemäß einem definierten Schweißplan zu bilden. Der erste Pistolarm **30** weist eine erste Elektrodenhalterung **34** auf, welche eine Stahl-Schweißelektrode **36** festhält, und der zweite Pistolarm **32** weist eine zweite Elektrodenhalterung **38** auf, welche eine Aluminiumlegierungs-Schweißelektrode **40** festhält. Die Schweißpistolarme **30**, **32** werden während des Punktschweißens betrieben, um ihre jeweiligen Schweißelektroden **36**, **40** gegen die in entgegengesetzte Richtungen weisenden Elektroden-Kontaktflächen **22**, **26** der überlappenden Stahl- und Aluminiumlegierungs-Werkstücke **12**, **14** zu pressen. Die erste und die zweite Schweißelektrode **36**, **40** werden in der Regel in diametraler Ausrichtung miteinander an der vorgesehenen Schweißstelle **16** gegen ihre jeweiligen Elektroden-Kontaktflächen **22**, **26** gepresst.

[0032] Die Stahl-Schweißelektrode **36** und die Aluminiumlegierungs-Schweißelektrode **40** sind jeweils aus einem elektrisch leitfähigen Material wie z. B. einer Kupferlegierung gebildet. Die beiden Schweißelektroden **36**, **40**, wie nachfolgend weiter erklärt, sind gebaut, um nach dem Aufhören des Durchganges von elektrischem Strom zwischen den Elektroden **36**, **40** eine Aufstandsfläche an der Elektroden-Kontaktfläche **26** des Aluminiumlegierungs-Werkstückes **14** bereitzustellen, die eine größere Oberfläche aufweist als eine Aufstandsfläche an der Elektroden-Kontaktfläche **22** des Stahlwerkstückes **12**. Die Aluminiumlegierungs-Aufstandsfläche weist bevorzugt eine Oberfläche auf, die zu diesem Zeitpunkt um ein Verhältnis von etwa 1,5:1 bis etwa 16:1 und stärker bevorzugt von etwa 2:1 bis etwa 6:1 größer ist als eine Oberfläche der Stahl-Aufstandsfläche. Die Differenz in den Aufstandsflächengrößen hat eine höhere Stromdichte in dem Stahlwerkstück **12** als in dem Aluminiumlegierungs-Werkstück **14** zur Folge.

[0033] Die Differenz in der Stromdichte zwischen dem Stahl- und dem Aluminiumlegierungs-Werkstück **12**, **14** konzentriert Wärme innerhalb einer kleineren Zone in dem Stahlwerkstück **12** verglichen mit dem Aluminiumlegierungs-Werkstück **14**. Der Schweißstromplan kann gleichmäßig geregelt werden, falls erwünscht, um ein Stahl-Schweißschmelzbad innerhalb des Stahlwerkstückes **12** zusätzlich dazu zu initiieren, dass ein Aluminiumlegierungs-Schweißschmelzbad innerhalb des Aluminiumlegierungs-Werkstückes **14** und an der Stoß-Grenzfläche **28** initiiert wird. Der Vorgang des Konzentrierens von Wärme innerhalb einer kleineren Zone in dem Stahlwerkstück **12** – möglicherweise in dem Ausmaß zum Initiieren eines Stahl-Schweißschmelzbades – verändert die Temperaturgradienten, insbesondere

die radialen Temperaturgradienten, um das Erstarrungsverhalten des Aluminiumlegierungs-Schweißschmelzbades, welches sich an der Stoß-Grenzfläche **28** befindet, zu ändern, sodass Fehler in der letztlich gebildeten Schweißverbindung an einen wünschenswerteren Ort gezwungen werden. In einigen Fällen, insbesondere wenn ein Stahl-Schweißbad in dem Stahlwerkstück **12** initiiert wird, können die Konzentration von Wärme in dem Stahlwerkstück und die resultierenden thermischen Gradienten Schweißfehler dazu treiben, sich an oder nahe dem Zentrum der Schweißverbindung an der Stoß-Grenzfläche **28** zusammenzuballen, was eine bessere Schweißverbindungs-Integrität und -Abschälfestigkeit fördert.

[0034] Die Aluminiumlegierungs-Schweißelektrode **40** umfasst einen Körper **42** und eine Schweißfläche **44**. Der Körper **42**, wie am besten in **Fig. 5** gezeigt, definiert eine zugängliche hohle Ausnehmung **46** an einem Ende **48** zum Einsetzen der und Befestigen mit der zweiten Elektrodenhalterung **38** in bekannter Art und Weise.

[0035] Eine Übergangsnase **50** kann sich von einem entgegengesetzten Ende **52** des Körpers **42** nach oben bis zu der Schweißfläche **44** erstrecken, muss es aber nicht, da sich die Schweißfläche **44** direkt von dem Körper **42** weg erstrecken kann, um das bereitzustellen, was man üblicherweise als eine „Vollflächen-Elektrode“ bezeichnet. Der Körper **42** weist bevorzugt eine zylindrische Form mit einem Durchmesser **420** auf, der in einem Bereich von etwa 12 mm bis etwa 22 mm oder enger von etwa 16 mm bis etwa 20 mm liegt. Die Übergangsnase **50** ist bevorzugt kegelförmig, wenngleich andere alternative Formen wie z. B. eine Kugel- und Ellipsenform ebenso geeignet sein können.

[0036] Die Schweißfläche **44** ist der Abschnitt der Aluminiumlegierungs-Schweißelektrode **40**, der während des Punktschweißens einen Kontakt mit der Elektroden-Kontaktfläche **26** des Aluminiumlegierungs-Werkstückes **26** herstellt und in diese eingedrückt wird, um eine Aufstandsfläche herzustellen. Die Schweißfläche **44** weist einen Durchmesser **440** und einen Krümmungsradius auf, die zusammen hinreichend sind, um ein übermäßiges Eindringen in das Aluminiumlegierungs-Schweißschmelzbad und die erweichte Werkstückregion, welche das Schweißbad umgibt, zu verhindern. Ein übermäßiges Eindringen ist in der Regel als ein Eindringen definiert, das 50% oder mehr der Dicke **140** des Aluminiumlegierungs-Werkstückes **14** entspricht. Solch ein Eindringen kann vermieden werden, indem z. B. die Schweißfläche **44** mit einem Durchmesser **440** von etwa 6 mm bis etwa 20 mm und einem Krümmungsradius von etwa 15 mm bis eben versehen wird. In einer bevorzugten Ausführungsform beträgt der Durchmesser **440** der Schweißfläche **44** etwa 8 mm bis etwa 12 mm, und der Krümmungsradius beträgt et-

wa 50 mm bis etwa 250 mm. Falls erwünscht, kann die Schweißfläche **44** außerdem strukturiert sein oder Oberflächenmerkmale wie jene aufweisen, die in den U.S.-Patenten Nr. 6 861 609, 8 222 560, 8 274 010, 8 436 269 und 8 525 066 und dem U.S.-Patent mit der Veröffentlichungsnummer 2009/025 5 908 beschrieben sind.

[0037] Die Stahl-Schweißelektrode **36** weist die gleichen Grundkomponenten auf wie die Aluminiumlegierungs-Schweißelektrode **40** – nämlich einen Körper **54**, der eine zugängliche hohle Ausnehmung **56** an einem Ende **58** definiert, eine Schweißfläche **60** und eine optionale Übergangsnase **62**, die sich von dem Körper **54** an einem entgegengesetzten Ende **64** nach oben bis zu der Schweißfläche **60** erstreckt, wie in **Fig. 4** gezeigt. Der Körper **54** weist bevorzugt eine zylindrische Form mit einem Durchmesser **540** auf, der in einem Bereich von etwa 12 mm bis etwa 22 mm oder enger von etwa 16 mm bis etwa 20 mm liegt. Die Übergangsnase **62** ist bevorzugt kugelförmig, wengleich andere alternative Formen wie z. B. elliptisch und kegelstumpfförmig ebenso geeignet sein können. Während einige oder alle Abschnitte der Aluminiumlegierungs- und der Stahl-Schweißelektrode **40**, **36** die gleichen sein können – aber nicht unbedingt müssen – ist es die Wechselwirkung ihrer Schweißflächen **44**, **60** mit ihren jeweiligen Elektroden-Kontaktflächen **26**, **22**, was die Stromdichte innerhalb der Werkstücke **12**, **14** unterschiedlich macht.

[0038] Die Schweißfläche **60** ist wie zuvor der Abschnitt der Stahl-Schweißelektrode **36**, der während des Punktschweißens einen Kontakt mit der Elektroden-Kontaktfläche **22** des Stahlwerkstückes **12** herstellt und in diese eingedrückt wird, um eine Aufstandsfläche herzustellen. Hier ist die Schweißfläche **60** so aufgebaut, dass ihre Aufstandsfläche (d. h. die, welche an der Elektroden-Kontaktfläche **22** des Stahlwerkstückes **12** hergestellt ist) kleiner ist als die durch die Schweißfläche **44** der Aluminiumlegierungs-Schweißelektrode **40** an der Elektroden-Kontaktfläche **26** des Aluminiumlegierungs-Werkstückes **14** hergestellte Aufstandsfläche. In der Ausführungsform, die in **Fig. 4** gezeigt ist, weist die Schweißfläche **60** der Stahl-Schweißelektrode **36** einen Durchmesser **600** auf, der in einem Bereich von etwa 4 mm bis etwa 16 mm und stärker bevorzugt von etwa 5 mm bis etwa 8 mm liegt, und ist eben oder weist einen Krümmungsradius auf, der größer ist als etwa 20 mm.

[0039] Die **Fig. 1–Fig. 3** und **Fig. 6–Fig. 7** illustrieren einen Punktschweißprozess, in dem der Stapel **10** an der Schweißstelle **16** unter Verwendung der oben beschriebenen Schweißelektroden **36**, **40** punktgeschweißt wird. Die Schweißpistole **18** (teilweise gezeigt) ist ausgestaltet, um den elektrischen Strom und den Kontaktdruck bereitzustellen, die zum Punktschweißen des Stahlwerkstückes **12** an das Aluminiumlegierungs-Werkstück **14** notwendig sind.

Die Pistolendarme **30**, **32** der Schweißpistole **18** können feststehend (Sockel-Schweißgerät) oder robotertechnisch bewegbar sein, wie es auf dem technischen Gebiet üblich ist, und werden während des Punktschweißens betrieben, um die Schweißelektroden **36**, **40** an der Schweißstelle **16** mit den in entgegengesetzte Richtungen weisenden Elektroden-Kontaktflächen **22**, **26** des Stahl- und des Aluminiumlegierungs-Werkstückes **12**, **14** in diametraler Ausrichtung miteinander in Kontakt zu bringen und dagegen zu pressen. Die durch die Pistolendarme **30**, **32** festgelegte Einspannkraft hilft dabei, einen guten mechanischen und elektrischen Kontakt zwischen den Schweißelektroden **36**, **40** und ihren jeweiligen Elektroden-Kontaktflächen **22**, **26** herzustellen.

[0040] Der Widerstandspunktschweißprozess beginnt damit, dass der Stapel **10** zwischen der Stahl- und der Aluminiumlegierungs-Schweißelektrode **36**, **40** angeordnet wird, sodass die Schweißstelle **16** allgemein mit den gegenüberliegenden Schweißflächen **60**, **44** ausgerichtet ist. Der Werkstückstapel **10** kann an solch einen Ort gebracht werden, wie es oft der Fall ist, wenn die Pistolendarme **30**, **32** Teil eines feststehenden Sockel-Schweißgeräts sind, oder die Pistolendarme **30**, **32** können robotertechnisch bewegt werden, um die Elektroden **36**, **40** in Bezug auf die Schweißstelle **16** anzuordnen. Sobald der Stapel **10** korrekt angeordnet ist, werden der erste und der zweite Pistolendarme **30**, **32** zusammengeführt, um die Schweißflächen **60**, **44** der Stahl-Schweißelektrode **36** und der Aluminiumlegierungs-Schweißelektrode **40** an der Schweißstelle **16** mit den in entgegengesetzte Richtungen weisenden Elektroden-Kontaktflächen **22**, **26** des Stahl- und des Aluminiumlegierungs-Werkstückes **12**, **14** in Kontakt zu bringen und dagegen zu pressen, wie in **Fig. 6** gezeigt ist. Der durch die Schweißelektroden **36**, **40** übertragene Kontaktdruck bewirkt, dass die Schweißfläche **60** der Stahl-Schweißelektrode **36** beginnt, eine Aufstandsfläche **66** an der Elektroden-Kontaktfläche **22** des Stahlwerkstückes **12** zu bilden, und gleichermaßen die Schweißfläche **44** der Aluminiumlegierungs-Schweißelektrode **40** beginnt, eine Aufstandsfläche **68** an der Elektroden-Kontaktfläche **26** des Aluminiumlegierungs-Werkstückes **14** zu bilden.

[0041] Dann wird gemäß einem entsprechenden Schweißplan ein elektrischer Strom – in der Regel ein Gleichstrom zwischen etwa 5 kA und etwa 50 kA – an der Schweißstelle **16** zwischen den Schweißflächen **60**, **44** der Stahl- und der Aluminiumlegierungs-Schweißelektrode **36**, **40** und durch den Stapel **10** hindurch geleitet. Der Widerstand gegenüber dem Fluss des elektrischen Stromes durch die Werkstücke **12**, **14** hindurch bewirkt anfänglich, dass sich das Stahlwerkstück **12** schneller erwärmt als das Aluminiumlegierungs-Werkstück **14**, da es einen höheren thermischen und elektrischen Widerstand aufweist. Dieses Wärme-Ungleichgewicht bewirkt, dass

ein Temperaturgradient von dem Stahlwerkstück **12** zu dem Aluminiumlegierungs-Werkstück **14** entsteht. Der Fluss von Wärme den Temperaturgradienten hinunter in Richtung der wassergekühlten Aluminiumlegierungs-Schweißelektrode **40** in Verbindung mit der erzeugten Wärme, die von dem Widerstand gegenüber dem Fluss des elektrischen Stromes über die Stoß-Grenzfläche **28** hinweg resultiert, bringt schließlich das Aluminiumlegierungs-Werkstück **14** zum Schmelzen und bildet ein Aluminiumlegierungs-Schweißschmelzbad **70**, das die Stoßfläche **20** des Stahlwerkstückes **12** benetzt.

[0042] Während dieser Zeit, in der elektrischer Strom geleitet wird, die irgendwo zwischen etwa 40 Millisekunden und etwa 1000 Millisekunden dauern kann, wächst die Stahl-Aufstandsfläche **66** sehr wenig, während die Aluminiumlegierungs-Aufstandsfläche **68** deutlich mehr wächst, da die Schweißfläche **44** der Aluminiumlegierungs-Schweißelektrode **40** in das erweichte Aluminiumlegierungs-Werkstück **14** eindringt. Da in dieser Ausführungsform die Schweißfläche **44** der Aluminiumlegierungs-Schweißelektrode **40** größer ist als die Schweißfläche **60** der Stahl-Schweißelektrode **36**, weist zu dem Zeitpunkt, zu dem der Durchgang des elektrischen Stromes aufhört, die Aluminiumlegierungs-Aufstandsfläche **68** eine größere Oberfläche auf als die Stahl-Aufstandsfläche **66**. Diese Differenz in den Aufstandsflächen-größen hat zur Folge, dass während des elektrischen Stromflusses innerhalb des Stahlwerkstückes **12** eine höhere Stromdichte vorhanden ist als in dem Aluminiumlegierungs-Werkstück **14**. Die Erhöhung der Stromdichte in dem Stahlwerkstück **12** während des elektrischen Stromflusses hat eine konzentriertere Wärmezone innerhalb des Stahlwerkstückes **12** zur Folge, welche die Integrität und die Abschälfestigkeit der fertigen Schweißverbindung verbessern kann, wie nachfolgend in näherem Detail erörtert wird. Die konzentrierte Wärmezone kann – muss aber nicht unbedingt – ein Stahl-Schweißschmelzbad **72** innerhalb des Stahlwerkstückes **12** initiieren.

[0043] Nach dem Aufhören des elektrischen Stromes erstarrt das Aluminiumlegierungs-Schweißbad **70**, um eine Schweißverbindung **74** an der Stoß-Grenzfläche **28** zu bilden, wie in **Fig. 7** allgemein illustriert ist. Das Stahl-Schweißbad **72**, falls es gebildet wird, erstarrt zu diesem Zeitpunkt ebenso zu einer Stahl-Schweißlinse **76** innerhalb des Stahlwerkstückes **12**, wenngleich es sich bevorzugt nicht bis zu entweder der Stoßfläche **20** oder der Elektroden-Kontaktfläche **22** des Werkstückes **12** erstreckt. Die Schweißverbindung **74** umfasst eine Aluminiumlegierungs-Schweißlinse **78** und in der Regel eine intermetallische Fe-Al-Schicht **80**. Die Aluminiumlegierungs-Schweißlinse **78** erstreckt sich bis zu einer Distanz in das Aluminiumlegierungs-Werkstück **14** hinein, die oft in einem Bereich von etwa 20% bis etwa 80% der Dicke **140** des Aluminiumlegierungs-Werkstückes **14**

liegt, wenngleich sich die Schweißlinse **78** gelegentlich die ganze Strecke bis zu der Elektroden-Kontaktfläche **26** (d. h. 100% oder vollständige Durchdringung) erstrecken kann. Die intermetallische Fe-Al-Schicht **80** befindet sich zwischen der Aluminiumlegierungs-Schweißlinse **78** und dem Stahlwerkstück **12** an der Stoß-Grenzfläche **28**. Diese Schicht wird allgemein infolge einer Reaktion zwischen dem Aluminiumlegierungs-Schweißschmelzbad **70** und dem Stahlwerkstück **12** während eines Stromflusses und für eine kurze Dauer nach dem Stromfluss gebildet, wenn das Stahlwerkstück noch heiß ist. Sie kann FeAl_3 , Fe_2Al_5 und andere Verbindungen umfassen. Wenn in der Richtung des elektrischen Stromflusses gemessen wird, ist die intermetallische Fe-Al-Schicht **80** typischerweise etwa 1 μm bis etwa 5 μm dick.

[0044] Die Ausbildung einer konzentrierten Wärmezone in dem Stahlwerkstück **12** – ob durch Initiieren und zum Wachsen bringen des Stahl-Schweißschmelzbades **72** oder nicht – verbessert die Festigkeit und die Integrität der Schweißverbindung **74** auf zumindest zweierlei Art und Weise. Erstens ändert die konzentrierte Wärme die Temperaturverteilung durch die Schweißstelle **16** hindurch, indem sie radiale Temperaturgradienten verändert und erzeugt, die wiederum bewirken, dass das Aluminiumlegierungs-Schweißschmelzbad **70** von seinem äußeren Umfang in Richtung seines Zentrums erstarrt. Dieses Erstarrungsverhalten treibt Schweißfehler in Richtung des Zentrums der Schweißverbindung **74**, wo sie weniger dafür anfällig sind, ihre mechanischen Eigenschaften zu schwächen. Zweitens neigt in jenen Fällen, in denen das Stahl-Schweißbad **72** initiiert und zum Wachsen gebracht wird, die Stoßfläche **20** des Stahlwerkstückes **12** dazu, sich von der Elektroden-Kontaktfläche **22** weg zu verdrehen. Eine derartige Verdrehung kann das Stahlwerkstück **12** an der Schweißstelle **16** um bis zu 50% dicker machen. Das Vergrößern der Dicke des Stahlwerkstückes **12** auf diese Weise hilft dabei, das Zentrum des Aluminiumlegierungs-Schweißschmelzbades **70** heiß zu halten, sodass es zuletzt abkühlt und erstarrt, was die radialen Temperaturgradienten weiter erhöhen und Schweißfehler dazu treiben kann, sich an oder nahe dem Zentrum der Schweißverbindung **74** zusammenzuballen. Das Ausbuchen der Stoßfläche **20** des Stahlwerkstückes **12** kann auch eine Rissbildung entlang der Stoß-Grenzfläche **28** stören, indem es Risse entlang eines nicht bevorzugten Weges in die Schweißverbindung **74** hinein ablenkt.

[0045] Die **Fig. 12–Fig. 14** zeigen ein Beispiel des Einflusses, den das Initiieren und zum Wachsen bringen des Stahl-Schweißbades **72** auf die zwischen dem Stahlwerkstück **12** und dem Aluminiumlegierungs-Werkstück **14** gebildete Schweißverbindung **74** haben kann. Beginnend mit **Fig. 14** zeigt diese die Mikrostruktur einer Schweißverbindung **82**, die durch einen herkömmlichen Widerstandspunktschweißpro-

zess gebildet wurde, in dem keine konzentrierte Wärmezone in dem Stahlwerkstück (dem unteren Substrat) erzeugt wurde. Hier in diesem Beispiel wurden Fehler D an und entlang der Stoß-Grenzfläche **84** entdeckt. Diese Fehler D können unter anderem Schrumpfporen, Gasporosität, Oxidrückstandsbildung und Mikrorissbildung umfassen. Es wurde festgestellt, dass die Fehler D, wenn sie vorhanden und entlang der Stoß-Grenzfläche **84** akkumuliert sind, die Abschälfestigkeit der Schweißverbindung **82** herabsetzen können und allgemeiner die Gesamtintegrität der Schweißverbindung **82** negativ beeinflussen und schwächen können. Überdies kann/können zusätzlich zu den Fehlern D eine oder mehrere intermetallische Al-Fe-Schichten (zu klein, um gezeigt zu werden) zwischen dem Stahl- (dem unteren) und dem Aluminiumlegierungs-(dem oberen)-Werkstück **12**, **14** und an und entlang der Stoß-Grenzfläche **84** wachsen.

[0046] Ohne an eine Theorie gebunden zu sein, nimmt man an, dass die Akkumulation der Fehler D an und entlang der Stoß-Grenzfläche **84** zumindest teilweise auf das Erstarrungsverhalten des Aluminiumlegierungs-Schweißschmelzbades zurückzuführen ist. Es kann sich insbesondere aufgrund der ungleichen physikalischen Eigenschaften der zwei Materialien – und zwar des viel höheren thermischen und elektrischen Widerstandes des Stahls – ein Wärme-Ungleichgewicht zwischen dem viel heißeren Stahlwerkstück (dem unteren Substrat) und dem Aluminiumlegierungs-Werkstück **14** (dem oberen Substrat) entwickeln. Somit wirkt das Stahlwerkstück als eine Wärmequelle, während das Aluminiumlegierungs-Werkstück als ein Wärmeleiter wirkt, der einen starken Temperaturgradienten in der vertikalen Richtung erzeugt, welcher bewirkt, dass das Aluminiumlegierungs-Schweißschmelzbad von der Region nahe bei der kühleren (z. B. wassergekühlten) Schweißelektrode in Kontakt mit dem Aluminiumlegierungs-Werkstück in Richtung der Stoß-Grenzfläche **84** abkühlt und erstarrt. Der Weg und die Richtung der Erstarrungsfront sind in **Fig. 14** allgemein durch gestrichelte Pfeile P dargestellt, und eine Grenze der Schweißverbindung **82** ist allgemein durch Strichlinien B dargestellt. Wenn die Erstarrungsfront entlang des Weges P fortschreitet, werden die Fehler D in Richtung der Stoß-Grenzfläche **84** getrieben und können entlang der Stoß-Grenzfläche **84** verteilt enden, wie gezeigt ist. Die schräge Grenze B ist das Ergebnis der Erstarrung in Richtung der Stoß-Grenzfläche **84**.

[0047] Die **Fig. 12–Fig. 13** zeigen die Mikrostruktur einer Schweißverbindung **86**, die durch einen Widerstandspunktschweißprozess gebildet wurde, in dem die Stromdichte in dem Stahlwerkstück (dem unteren Substrat) höher war, sodass das Stahl-Schweißschmelzbad innerhalb des Werkstückes initiiert und zum Wachsen gebracht wurde. Hier geht man da-

von aus, dass die Initiierung und das Wachstum des Stahl-Schweißschmelzbades durch die zusätzliche, innerhalb des Stahlwerkstückes erzeugte Wärme verursacht wurden, indem der Strom in einer kleineren Zone konzentriert wurde als es sonst der Fall gewesen wäre. Da die Wärme an einer lokal begrenzten Region innerhalb des Stahlwerkstückes (dem unteren Substrat) konzentriert wurde, werden an der Schweißstelle mehr Möglichkeiten zur Wärmeabfuhr und größere radiale Temperaturgradienten bereitgestellt. Insbesondere kann Wärme von dem Aluminiumlegierungs-Schweißschmelzbad seitlich in benachbarte kältere Abschnitte des Aluminiumlegierungs-Werkstückes abgeführt werden. Wärme von dem Stahl-Schweißschmelzbad kann auch nach oben in das Aluminiumlegierungs-Schweißschmelzbad hinein und dann durch das Aluminiumlegierungs-Werkstück hindurch wandern, wenn es abkühlt und zu der Stahl-Schweißlinse **88** (**Fig. 13**) erstarrt, was dabei hilft, das Zentrum des Aluminiumlegierungs-Schweißbades über längere Zeit bei erhöhten Temperaturen zu halten.

[0048] Die veränderten Temperaturgradienten an der Schweißstelle ändern die Kühlwirkung des Aluminiumlegierungs-Schweißschmelzbades, wenn es erstarrt, um zu der Schweißverbindung **86** innerhalb des Aluminiumlegierungs-Werkstückes (des oberen Substrats) und an der Stoß-Grenzfläche **90** erstarrt. Anstatt dass die Erstarrungsfront in Richtung der Stoß-Grenzfläche **90** fortschreitet, wie in **Fig. 14** gezeigt, kühlt das Aluminiumlegierungs-Schweißschmelzbad radial ab und erstarrt von seinem äußeren Umfang in Richtung seines Zentrums. Der Weg und die Richtung der Erstarrungsfront sind in **Fig. 12** allgemein durch gestrichelte Pfeile P dargestellt, und eine Grenze der Schweißverbindung **86** ist durch Strichlinien B dargestellt. Der Weg P zeigt in Richtung der zentralen Region und die Grenze B ist infolge des veränderten Erstarrungsweges (verglichen mit der in **Fig. 14** gezeigten) orthogonal bezüglich der Stoß-Grenzfläche **90**. Das Erstarren des Aluminiumlegierungs-Schweißschmelzbades auf diese Weise neigt dazu, die Fehler D in Richtung des Zentrums der Fügung **86** zu drücken, wie gezeigt. Die in dem Stahlwerkstück (dem unteren Substrat) gebildete Stahl-Schweißlinse **88** ist am besten in **Fig. 13** gezeigt (in der das fotografierte Material geätzt wurde, um die Stahl-Schweißlinse zu zeigen).

[0049] Es ist zu sehen, dass das Initiieren und das Wachstum des Stahl-Schweißschmelzbades die Stoßfläche des Stahlwerkstückes (des unteren Substrats) nach außen in das Aluminiumlegierungs-Werkstück (das obere Substrat) hinein gedrückt hat. Das Stahlwerkstück ist somit an der Schweißstelle dicker geworden. Der dickere Abschnitt des Stahlwerkstückes stellt eine größere, thermisch wirksame Hochtemperatur-Masse an dem Zentrum des Aluminiumlegierungs-Schweißschmelzbades bereit, die

dabei hilft, das Zentrum des Aluminiumlegierungs-Schweißbades heiß zu halten, sodass es zuletzt erstarrt. Infolgedessen wurden die Schweißfehler D in diesem Beispiel nicht nur zu dem Zentrum der Schweißverbindung getrieben, sondern haben sich zusätzlich an dem Zentrum der Schweißverbindung **86** benachbart zu der Stoß-Grenzfläche **90** gesammelt. Das Platzieren der Fehler an dieser Stelle ist für eine gute Abschälfestigkeit und Fugestellen-Integrität förderlicher, als wenn die Fehler entlang der Stoß-Grenzfläche **90** verstreut sind, wie in **Fig. 14** gezeigt ist.

[0050] Nunmehr erneut Bezug nehmend auf die **Fig. 6–Fig. 7** werden die Stahl- und die Aluminiumlegierungs-Schweißelektrode **36, 40** von ihren Einspannpositionen zurückgezogen, bald nachdem der Durchgang des elektrischen Stromes zwischen den Schweißelektroden **36, 40** aufgehört hat, und lassen Aufstandsflächen **66, 68** mit einer asymmetrischen Oberfläche auf den Elektroden-Kontaktflächen **22, 26** des Stahl- und des Aluminium-Werkstückes **12, 14** zurück. Der Stapel **10** wird dann erneut zwischen der Stahl- und der Aluminiumlegierungs-Schweißelektrode **36, 40** an einer anderen Schweißstelle **16** angeordnet oder wird wegbewegt, sodass ein anderer Stapel **10** zum Punktschweißen angeordnet werden kann. Dann werden weitere Punktschweißnähte in der gleichen Art und Weise gebildet.

[0051] Die **Fig. 8–Fig. 9** illustrieren einen anderen Punktschweißprozess, in dem der Stapel **10** an der Schweißstelle **16** punktgeschweißt wird, um grundsätzlich die gleichen Wirkungen wie zuvor zu erzielen, aber in dieser Ausführungsform werden ähnlich gebaute Multifunktions-Schweißelektroden **104** auf jeder Seite des Stapels **10** anstelle der in den **Fig. 4** und **Fig. 5** gezeigten Schweißelektroden **36, 40** verwendet. Wie in **Fig. 8** gezeigt, weist jede der Schweißelektroden **104** die gleichen Grundkomponenten auf wie die in **Fig. 5** gezeigte Aluminiumlegierungs-Schweißelektrode **40**, mit Ausnahme eines wesentlichen Unterschiedes – und zwar umfasst jede Schweißelektrode **104** eine Schweißfläche **106** und ein Plateau **108**, das um eine zentrale Achse **110** der Schweißfläche **106** herum ansteigt. Die Schweißfläche **106** weist einen Durchmesser **1060** von etwa 6 mm bis 12 mm und einen Krümmungsradius von etwa 20 mm bis etwa 100 mm auf. Das Plateau **108** weist eine Plateaufläche **112** auf, die von der Schweißfläche **106** um etwa 0,1 mm bis etwa 0,5 mm zwangsverschieben ist. Die Plateaufläche **112** weist einen Durchmesser **1120** von etwa 3 mm bis etwa 7 mm auf und ist flacher als die Schweißfläche **106** – die Plateaufläche **112** ist bevorzugt eben oder weist einen Krümmungsradius von etwa 40 mm oder mehr auf. Außerdem kann/können die Plateaufläche **112** und/oder die Schweißfläche **106** der beiden Schweißelektroden **104**, falls erwünscht, strukturiert sein oder

Oberflächenintrusionen oder -vorsprünge umfassen, wie in dem U.S.-Patent Nr. 8 525 066 beschrieben.

[0052] Die in **Fig. 8** gezeigte Schweißelektrode **104** ist multifunktionell infolge ihrer Fähigkeit, anders zu fungieren, wenn sie mit dem Stahlwerkstück **12** in Kontakt steht, als wenn sie mit dem Aluminiumlegierungs-Werkstück **14** in Kontakt steht, wie in **Fig. 9** illustriert ist. Im Speziellen stellt, wenn sie auf der Stahlseite verwendet wird, die Plateaufläche **112** des zentral angeordneten Plateaus **108** einen Kontakt mit der Elektroden-Kontaktfläche **22** des Stahlwerkstückes **12** her und drückt in diese hinein. Während eines Stromflusses verhindert die relative Härte des Stahlwerkstückes **12**, dass die umgebende Schweißfläche **106** einen Kontakt mit der Elektroden-Kontaktfläche **22** herstellt und in einem großen Ausmaß in diese eindrückt. Wenn sie hingegen auf der Aluminiumlegierungsseite verwendet wird, stehen das gesamte Plateau **108** und die umgebende Schweißfläche **106** mit der Elektroden-Kontaktfläche **26** des erweichten Aluminiumlegierungs-Werkstückes **14** in Kontakt und drücken in diese hinein. Die gleiche Schweißelektroden-Ausgestaltung bildet somit eine Aufstandsfläche **114** in der Elektroden-Kontaktfläche **26** des Aluminiumlegierungs-Werkstückes **14**, die eine größere Oberfläche aufweist als eine Aufstandsfläche **116**, die sie in der Elektroden-Kontaktfläche **22** des Stahlwerkstückes **12** während des Punktschweißens bildet. Nach Beenden des elektrischen Stromes weist die in der Elektroden-Kontaktfläche **26** des Aluminiumlegierungs-Werkstückes **14** gebildete Aufstandsfläche **114** wie zuvor eine um ein Verhältnis von etwa 1,5:1 bis etwa 16:1, und stärker bevorzugt von etwa 2:1 bis etwa 6:1, größere Oberfläche auf als die in der Elektroden-Kontaktfläche **22** des Stahlwerkstückes **12** gebildete Aufstandsfläche **16**.

[0053] Die Aufstandsflächen **114, 116**, die durch die Schweißelektroden **104** an den Elektroden-Kontaktflächen **22, 26** des Stahl- und des Aluminiumlegierungs-Werkstückes **12, 14** gebildet werden, haben die gleiche Wirkung wie zuvor. Das heißt, die Stromdichte ist an der Schweißstelle **16** in dem Stahlwerkstück **12** höher als in dem Aluminiumlegierungs-Werkstück **14**, was bewirkt, dass sich verglichen mit dem Aluminiumlegierungs-Werkstück **14** Wärme in einer kleineren Zone innerhalb des Stahlwerkstückes **12** konzentriert. Die konzentrierte Wärme kann auch verwendet werden, um ein Stahl-Schweißschmelzbad **118** innerhalb des Stahlwerkstückes **12** zu initiieren und zum Wachsen zu bringen. Die konzentrierte Wärmezone kann wiederum das Aluminiumlegierungs-Schweißschmelzbad **120** in der gleichen Art und Weise beeinflussen, wie bereits erörtert. Des Weiteren besitzt die Verwendung von ähnlich gebauten Schweißelektroden **104** auf jeder Seite des Stapels **10** den zusätzlichen Vorteil, dass der Stapel **10** nicht orientiert werden muss, sodass die Werkstücke **12, 14** mit einer speziellen Schweißelektrode zusam-

menpassen. Es können somit viele Stapel **10** nacheinander punktgeschweißt werden, ohne dass es notwendig ist, den Stapel **10** nötigenfalls umzudrehen oder neu zu orientieren, um eine spezifische Elektroden/Werkstück-Paarung zu erreichen.

[0054] Nach dem Punktschweißen des Stapels **10** – der das Stahlwerkstück **12** und das Aluminiumlegierungs-Werkstück **14** umfasst – ist es möglich, den Ablauf zu ändern und die zwei ähnlich gebauten Schweißelektroden **104** zum Punktschweißen eines Stapels **130** zu verwenden, der zwei oder mehr Aluminiumlegierungs-Werkstücke **132** umfasst, wie in **Fig. 15** gezeigt ist. Während des Punktschweißprozesses werden die Schweißelektroden **104** an einer Schweißstelle **136** in Kontakt mit gegenüberliegenden Elektroden-Kontaktflächen **134** gebracht und ein elektrischer Strom wird zwischen denselben geleitet. Anfänglich steht nur die Plateaufläche **112** jeder der Schweißelektroden **104** mit ihrer jeweiligen Elektroden-Kontaktfläche **134** in Kontakt. Die Plateauflächen **112** drücken bald in die Elektroden-Kontaktflächen **134** ein, und schließlich tun das die umgebenden Schweißflächen **106**, wenn die Aluminiumlegierungs-Werkstücke **132** weich werden, um Aufstandsflächen **138** mit annähernd der gleichen Größe und Form zu bilden. Der Widerstand gegen den Fluss des elektrischen Stromes, der durch die Werkstücke **132** hindurch und über eine Stoß-Grenzfläche **140** hinweg geleitet wird, erzeugt Wärme und initiiert ein Aluminiumlegierungs-Schweißschmelzbad (in **Fig. 15** nicht gezeigt) an der Stoß-Grenzfläche **140**. Dieses Schweißbad dringt in die überlappenden Aluminiumlegierungs-Werkstücke **132** ein und nach dem Aufhören des elektrischen Stromes kühlt es ab und erstarrt zu einer Aluminiumlegierungs-Schweißlinse **142**.

[0055] In ähnlicher Weise ist es, wie in **Fig. 16** gezeigt, möglich, die beiden ähnlich gebauten Schweißelektroden **104** zum Punktschweißen eines Stapels **150** zu verwenden, der zwei oder mehr Stahlwerkstücke **152** umfasst. Während des Punktschweißprozesses werden die Schweißelektroden **104** an einer Schweißstelle **156** in Kontakt mit gegenüberliegenden Elektroden-Kontaktflächen **154** gebracht. Dann wird ein elektrischer Strom zwischen den beiden Elektroden **104** geleitet. Hier steht wegen der relativen Härte von Stahl die Plateaufläche **112** jeder Schweißelektrode hauptsächlich mit ihrer jeweiligen Elektroden-Kontaktfläche **154** in Kontakt und drückt in diese hinein, um Aufstandsflächen **158** mit annähernd der gleichen Größe und Form zu bilden. Der Widerstand gegen den Fluss des elektrischen Stromes, der durch die Werkstücke **152** hindurch und über eine Stoß-Grenzfläche **160** hinweg geleitet wird, erzeugt Wärme und initiiert ein Stahl-Schweißschmelzbad (in **Fig. 16** nicht gezeigt) an der Stoß-Grenzfläche **160**. Dieses Schweißbad dringt in die überlappenden Stahlwerkstücke **154** ein und nach

dem Aufhören des elektrischen Stromes kühlt es ab und erstarrt zu einer Stahl-Schweißlinse **162**.

[0056] Die **Fig. 10–Fig. 11** illustrieren einen anderen Punktschweißprozess, in dem der Stapel **10** an der Schweißstelle **16** punktgeschweißt wird, um im Prinzip die gleichen Wirkungen wie zuvor zu erzielen, allerdings mit einer anderen Multifunktions-Schweißelektrode **92** als der, die in **Fig. 8** gezeigt ist. Die hier verwendete Multifunktions-Punktschweißelektrode **92** ist in **Fig. 10** gezeigt und weist die gleichen Grundkomponenten auf wie die in **Fig. 4** gezeigte Stahl-Schweißelektrode **36**, mit Ausnahme eines wesentlichen Unterschiedes. Das heißt, die Multifunktions-Schweißelektrode **92** umfasst eine gerundete Schweißfläche **94** und einen abgerundeten Vorsprung **96**, der um eine zentrale Achse **98** der Schweißfläche **94** ansteigt. Die Schweißfläche **94** weist einen Durchmesser **940** von etwa 6 mm bis 12 mm und einen Krümmungsradius von etwa 20 mm bis etwa 100 mm auf. Der abgerundete Vorsprung **96** ist bevorzugt kugelförmig mit einem Durchmesser an der Schweißfläche **94**, der in einem Bereich von etwa 3 mm bis etwa 7 mm liegt, und einem Krümmungsradius, der in einem Bereich von etwa 5 mm bis etwa 20 mm liegt.

[0057] Die in **Fig. 9** gezeigte Schweißelektrode **92** ist, wie die in **Fig. 8** gezeigte Schweißelektrode **104**, multifunktionell infolge ihrer Fähigkeit, anders zu funktionieren, wenn sie mit dem Stahlwerkstück **12** in Kontakt steht, als wenn sie mit dem Aluminiumlegierungs-Werkstück **14** in Kontakt steht. Aus diesem Grund könnte die Multifunktions-Schweißelektrode **104** auf jeder Seite des Stapels **10** anstelle der in den **Fig. 4** und **Fig. 5** gezeigten Schweißelektroden **36**, **40** in ähnlicher Weise wie die in **Fig. 8** gezeigte Multifunktions-Schweißelektrode **104** verwendet werden. Wenn die hier gezeigte Multifunktions-Schweißelektrode **92** auf beiden Seiten des Werkstückstapels **10** verwendet wird, steht der abgerundete Vorsprung **96** mit dem Stahlwerkstück **12** in Kontakt und drückt in dieses hinein, und die umgebende Schweißfläche **94** tut dies allgemein nicht, während sowohl der abgerundete Vorsprung **96** als auch die umgebende Schweißfläche **94** mit dem Aluminiumlegierungs-Werkstück **14** in Kontakt stehen und drückt in dieses hinein drücken. Die gleiche Schweißelektroden-Ausgestaltung bildet somit eine Aufstandsfläche in der Elektroden-Kontaktfläche **26** des Aluminiumlegierungs-Werkstückes **14**, die eine größere Oberfläche aufweist als eine Aufstandsfläche, die sie in der Elektroden-Kontaktfläche **22** des Stahlwerkstückes **12** während des Punktschweißens in dem gleichen Ausmaß wie zuvor angegeben bildet.

[0058] Die in den **Fig. 8** und **Fig. 10** abgebildeten Multifunktions-Punktschweißelektroden **104**, **92** müssen nicht unbedingt zusammen auf jeder Seite des Werkstückstapels **10** als die beiden Schweißelek-

troden verwendet werden. Jede der Multifunktions-Schweißelektroden **104**, **92** kann durch die Stahl-Schweißelektrode **36** von **Fig. 4** ersetzt und in Verbindung mit der Aluminiumlegierungs-Schweißelektrode **40** von **Fig. 5** verwendet werden. Gleichmaßen kann jede der Multifunktions-Schweißelektroden **104**, **92** durch die Aluminiumlegierungs-Schweißelektrode **40** von **Fig. 5** ersetzt und in Verbindung mit der Stahl-Schweißelektrode **36** von **Fig. 4** verwendet werden. Um dies zu demonstrieren, wird in der in **Fig. 11** abgebildeten Ausführungsform die in **Fig. 10** illustrierte Multifunktions-Schweißelektrode **92** auf der Stahlseite des Werkstückstapels **10** verwendet, wobei die oben in **Fig. 5** beschriebene Aluminiumlegierungs-Schweißelektrode **40** auf der Aluminiumlegierungsseite verwendet wird.

[0059] Wenn sie durch die in **Fig. 4** gezeigte Stahl-Schweißelektrode **36** als Teil des oben beschriebenen Punktschweißprozesses (**Fig. 1–Fig. 3** und **Fig. 6–Fig. 7**) ersetzt ist, drückt der abgerundete Vorsprung **96** in die Elektroden-Kontaktfläche **22** des Stahlwerkstückes **12**, um eine Aufstandsfläche **100** zu bilden, die schärfer sein kann als die durch die Stahl-Schweißelektrode **36** von **Fig. 4** gebildete Aufstandsfläche **66**. Nach Beenden des geleiteten elektrischen Stromes weist die in der Elektroden-Kontaktfläche **26** des Aluminiumlegierungs-Werkstückes **14** gebildete Aufstandsfläche **68** wie zuvor eine um ein Verhältnis von etwa 1,5:1 bis etwa 16:1, und stärker bevorzugt von etwa 2:1 bis etwa 6:1, größere Oberfläche auf als die in der Elektroden-Kontaktfläche **22** des Stahlwerkstückes **12** gebildete Aufstandsfläche **100**. Der Punktschweißprozess, welcher die Ausbildung der Schweißverbindung und der konzentrierten Wärmezone innerhalb des Stahlwerkstückes **12** umfasst, ist im Prinzip der gleiche. Hier ist es jedoch möglich, dass die auf den abgerundeten Vorsprung **96** zurückzuführende Aufstandsfläche **100** die Stromdichte innerhalb des Stahlwerkstückes **12** erhöhen und steilere radiale Temperaturgradienten bezüglich der flacheren Schweißfläche **60** der zuvor beschriebenen Stahl-Schweißelektrode **36** erzeugen kann. Der abgerundete Vorsprung und seine wärme-konzentrierende Wirkung können somit eine kleinere Zone von Wärmekonzentration innerhalb des Stahlwerkstückes **12** und demzufolge ein kleineres Stahl-Schweißschmelzbad **102** initiieren, wenn die Initiierung zuerst erfolgt.

[0060] Die obige Beschreibung bevorzugter exemplarischer 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 [0036]
- US 8222560 [0036]
- US 8274010 [0036]
- US 8436269 [0036]
- US 8525066 [0036, 0051]
- US 2009/0255908 [0036]

Patentansprüche

1. Verfahren zum Punktschweißen eines Stahlwerkstückes an ein Aluminiumlegierungs-Werkstück, wobei das Verfahren umfasst, dass:

ein Stapel vorgesehen wird, der ein Stahlwerkstück und ein Aluminiumlegierungs-Werkstück umfasst, wobei sich das Stahlwerkstück und das Aluminiumlegierungs-Werkstück überlappen, um eine Stoß-Grenzfläche bereitzustellen;
eine Elektroden-Kontaktfläche des Stahlwerkstückes mit einer Stahl-Schweißelektrode in Kontakt gebracht wird;

eine Elektroden-Kontaktfläche des Aluminiumlegierungs-Werkstückes mit einer Aluminiumlegierungs-Schweißelektrode in Kontakt gebracht wird;

ein elektrischer Strom zwischen der Stahl- und der Aluminiumlegierungs-Schweißelektrode und durch den Stapel hindurch geleitet wird, um ein Aluminiumlegierungs-Schweißschmelzbad innerhalb des Aluminiumlegierungs-Werkstückes und an der Stoß-Grenzfläche zu initiieren, wobei der elektrische Strom in dem Stahlwerkstück eine höhere Stromdichte aufweist als in dem Aluminiumlegierungs-Werkstück; und

der Durchgang des elektrischen Stromes zu einem Zeitpunkt beendet wird, zu dem eine durch die Aluminiumlegierungs-Schweißelektrode an der Elektroden-Kontaktfläche des Aluminiumlegierungs-Werkstückes gebildete Aufstandsfläche eine größere Oberfläche aufweist als eine durch die Stahl-Schweißelektrode an der Elektroden-Kontaktfläche des Stahlwerkstückes gebildete Aufstandsfläche, wobei die durch die Aluminiumlegierungs-Schweißelektrode gebildete Aufstandsfläche eine Oberfläche aufweist, die um ein Verhältnis von 1,5:1 bis 16:1 größer ist als die durch die Stahl-Schweißelektrode gebildete Aufstandsfläche.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Aluminiumlegierungs-Schweißelektrode eine Schweißfläche umfasst, die einen Durchmesser zwischen 6 mm und 20 mm und einen Krümmungsradius zwischen 15 mm und eben aufweist, und wobei die Stahl-Schweißelektrode eine Schweißfläche umfasst, die einen Durchmesser zwischen 4 mm und 16 mm und einen Krümmungsradius von 20 mm oder mehr aufweist.

3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei zumindest eine von der Aluminiumlegierungs-Schweißelektrode oder der Stahl-Schweißelektrode eine Schweißfläche und einen abgerundeten Vorsprung aufweist, der über einer zentralen Achse der Schweißfläche ansteigt, wobei die Schweißfläche einen Durchmesser von 6 mm bis 12 mm und einen Krümmungsradius von 20 mm bis 100 mm aufweist und der abgerundete Vorsprung einen Durchmesser von 3 mm bis 7 mm an der Schweißfläche und einen Krümmungsradius von 5 mm bis 20 mm aufweist.

4. Verfahren nach Anspruch 1, wobei zumindest eine von der Aluminiumlegierungs-Schweißelektrode oder der Stahl-Schweißelektrode eine Schweißfläche und ein Plateau aufweist, das von der Schweißfläche zwangsverschoben ist und über einer zentralen Achse der Schweißfläche ansteigt, wobei die Schweißfläche einen Durchmesser von 6 mm bis 12 mm und einen Krümmungsradius von 20 mm bis 100 mm aufweist und wobei die Plateau-Oberfläche des Plateaus auf der Schweißfläche einen Durchmesser von 3 mm bis 7 mm und einen Krümmungsradius von 40 mm oder mehr aufweist, während sie flacher ist als die Schweißfläche.

5. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Vorgang des Leitens eines elektrischen Stromes zwischen der Stahl- und der Aluminiumlegierungs-Schweißelektrode und durch den Stapel hindurch ein Stahl-Schweißschmelzbad innerhalb des Stahlwerkstückes initiiert.

6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei das Stahl-Schweißschmelzbad eine Stoßfläche des Stahlwerkstückes von der Elektroden-Kontaktfläche des Stahlwerkstückes weg verdreht, um das Stahlwerkstück an der Schweißstelle zu verdicken.

7. Verfahren nach Anspruch 5, wobei nach dem Beenden des Durchganges des elektrischen Stromes das Aluminiumlegierungs-Schweißschmelzbad zu einer Schweißverbindung erstarrt, die eine Aluminiumlegierungs-Schweißlinse umfasst, und das Stahl-Schweißschmelzbad zu einer Stahl-Schweißlinse erstarrt, wobei sich die Stahl-Schweißlinse nicht bis zu einer Stoß-Grenzfläche des Stahlwerkstückes erstreckt.

8. Verfahren nach Anspruch 1, wobei nach dem Beenden des Durchganges des elektrischen Stromes das Aluminiumlegierungs-Schweißschmelzbad zu einer Schweißverbindung erstarrt, die eine Aluminiumlegierungs-Schweißlinse und eine intermetallische Fe-Al-Schicht umfasst.

9. Verfahren zum Punktschweißen umfassend, dass:

ein erster Werkstückstapel vorgesehen wird, der ein Stahlwerkstück und ein Aluminiumlegierungs-Werkstück umfasst, wobei sich das Stahlwerkstück und das Aluminiumlegierungs-Werkstück überlappen, um eine Stoß-Grenzfläche bereitzustellen;
eine Elektroden-Kontaktfläche des Stahlwerkstückes mit einer ersten Schweißelektrode in Kontakt gebracht wird und eine Elektroden-Kontaktfläche des Aluminiumlegierungs-Werkstückes mit einer zweiten Schweißelektrode in Kontakt gebracht wird, wobei die erste und die zweite Schweißelektrode gegen ihre jeweiligen Werkstück-Oberflächen in diametraler Ausrichtung an einer Schweißstelle gepresst werden, wobei jede von der ersten und der zweiten Schweißelektrode den gleichen Aufbau aufweist;

ein elektrischer Strom zwischen der ersten und der zweiten Schweißelektrode und durch den ersten Werkstückstapel an der Schweißstelle hindurch geleitet wird, um ein Aluminiumlegierungs-Schweißschmelzbad in dem Aluminiumlegierungs-Werkstück zu initiieren und zum Wachsen zu bringen, das eine benachbarte Stoßfläche des Stahlwerkstückes benetzt, wobei der elektrische Strom in dem Stahlwerkstück eine höhere Stromdichte aufweist als in dem Aluminiumlegierungs-Werkstück;

der Durchgang des elektrischen Stromes beendet wird und die erste und die zweite Schweißelektrode von dem Stahl- und dem Aluminiumlegierungs-Werkstück zurückgezogen werden;

ein zweiter Werkstückstapel vorgesehen wird, der entweder (1) ein Stahlwerkstück und ein anderes Stahlwerkstück, die sich überlappen, um eine Stoß-Grenzfläche zwischen den Stahlwerkstücken bereitzustellen, oder (2) ein Aluminiumlegierungs-Werkstück und ein anderes Aluminiumlegierungs-Werkstück umfasst, die sich überlappen, um eine Stoß-Grenzfläche zwischen den Aluminiumlegierungs-Werkstücken bereitzustellen;

gegenüberliegende Seiten des zweiten Werkstückstapels mit der ersten und der zweiten Schweißelektrode in Kontakt gebracht werden und ein elektrischer Strom zwischen der ersten und der zweiten Schweißelektrode und durch den zweiten Werkstückstapel hindurch geleitet wird, wobei der elektrische Strom ein Aluminiumlegierungs-Schweißschmelzbad an einer Stoß-Grenzfläche der überlappenden Aluminiumlegierungs-Werkstücke initiiert und zum Wachsen bringt, wenn der zweite Werkstückstapel Aluminiumlegierungs-Werkstücke umfasst, oder ein Stahl-Schweißschmelzbad an einer Stoß-Grenzfläche der überlappenden Stahlwerkstücke initiiert und zum Wachsen bringt, wenn der Werkstückstapel Stahlwerkstücke umfasst.

10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei während des Leitens des elektrischen Stromes zwischen der ersten und der zweiten Schweißelektrode und durch den ersten Werkstückstapel hindurch die erste Schweißelektrode in das Aluminiumlegierungs-Werkstück gepresst wird, um eine Aufstandsfläche an der Elektroden-Kontaktfläche des Aluminiumlegierungs-Werkstückes zu bilden, und die zweite Schweißelektrode in das Stahlwerkstück gepresst wird, um eine Aufstandsfläche an der Elektroden-Kontaktfläche des Stahlwerkstückes zu bilden, und wobei zu dem Zeitpunkt, an dem der Durchgang des elektrischen Stromes beendet wurde, die durch die erste Schweißelektrode gebildete Aufstandsfläche eine um ein Verhältnis von 1,5:1 bis 16:1 größere Oberfläche aufweist als die durch die zweite Schweißelektrode gebildete Aufstandsfläche.

Es folgen 8 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

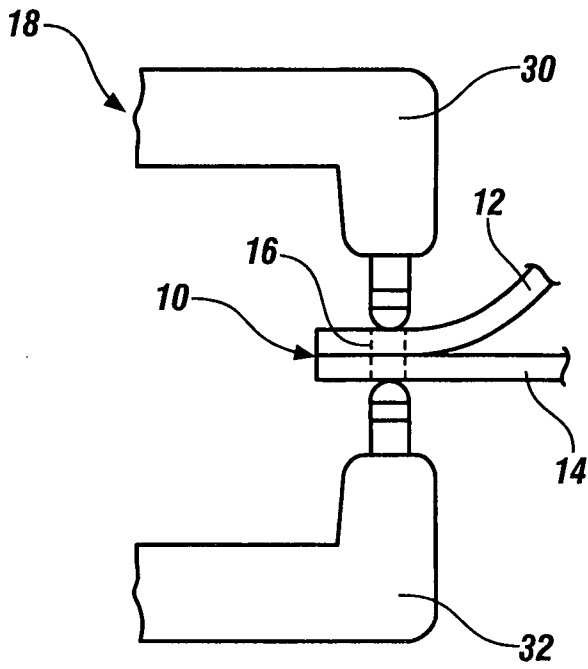


FIG. 1

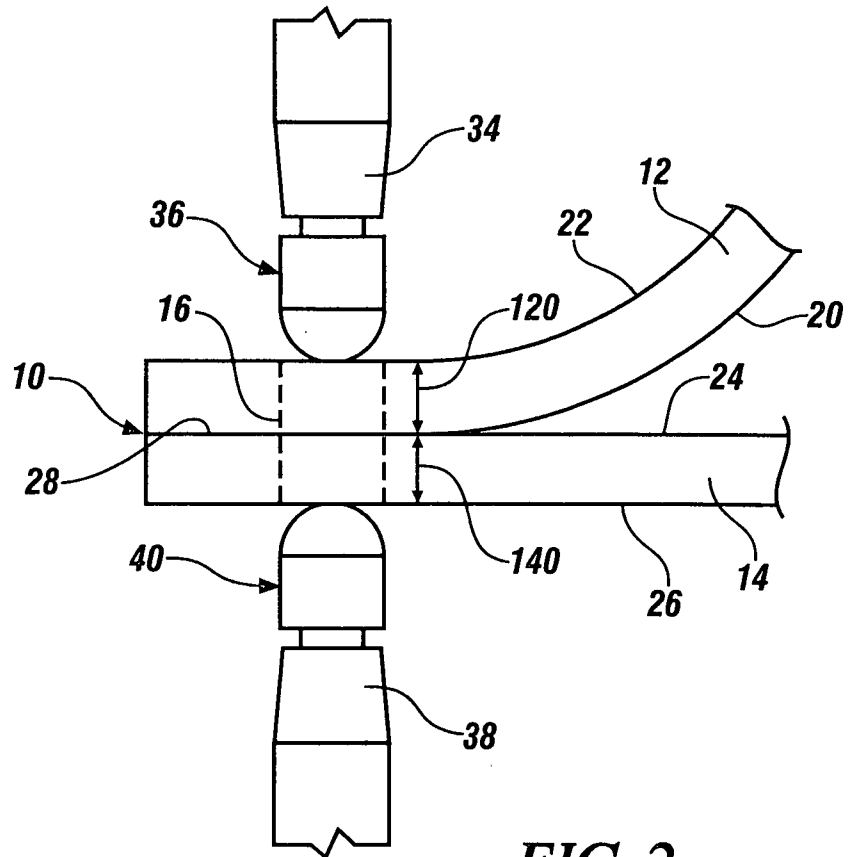


FIG. 2

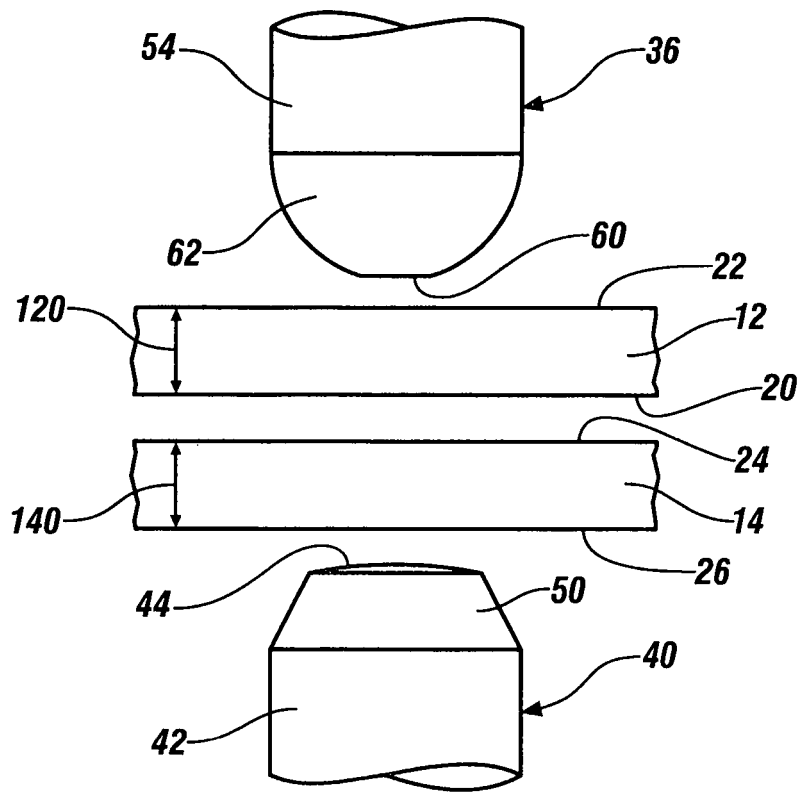


FIG. 3

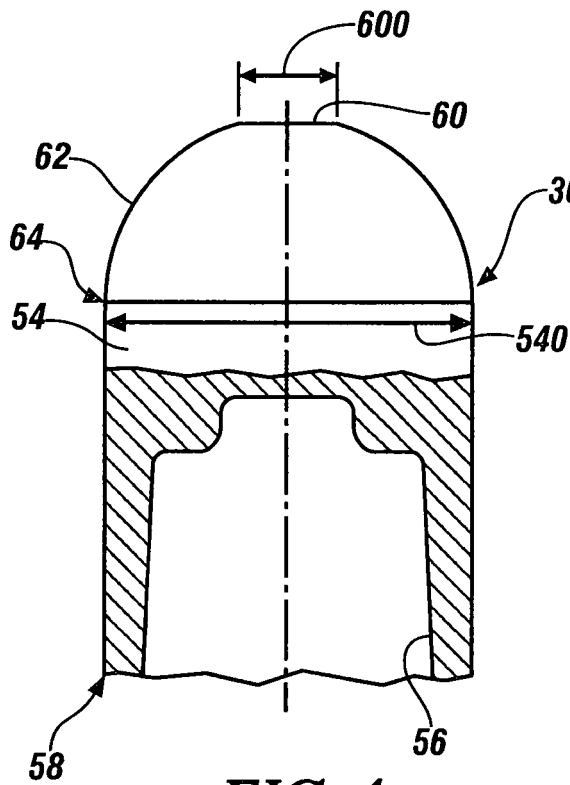


FIG. 4

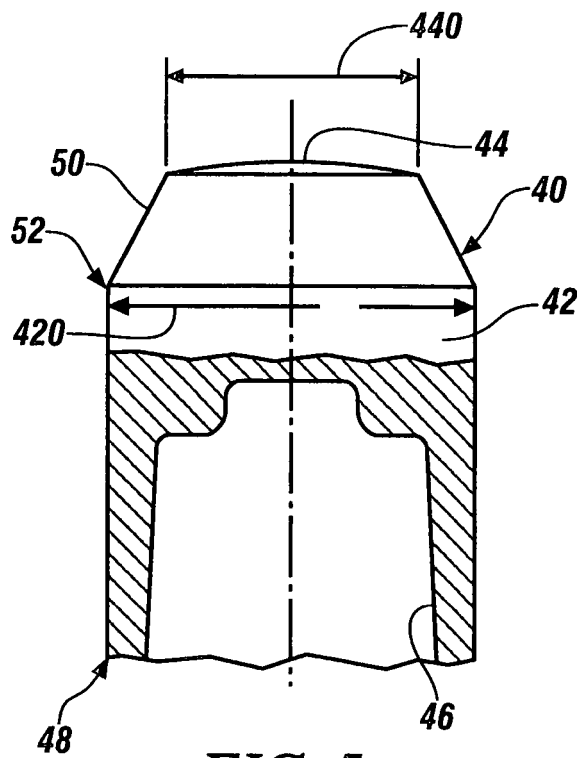


FIG. 5

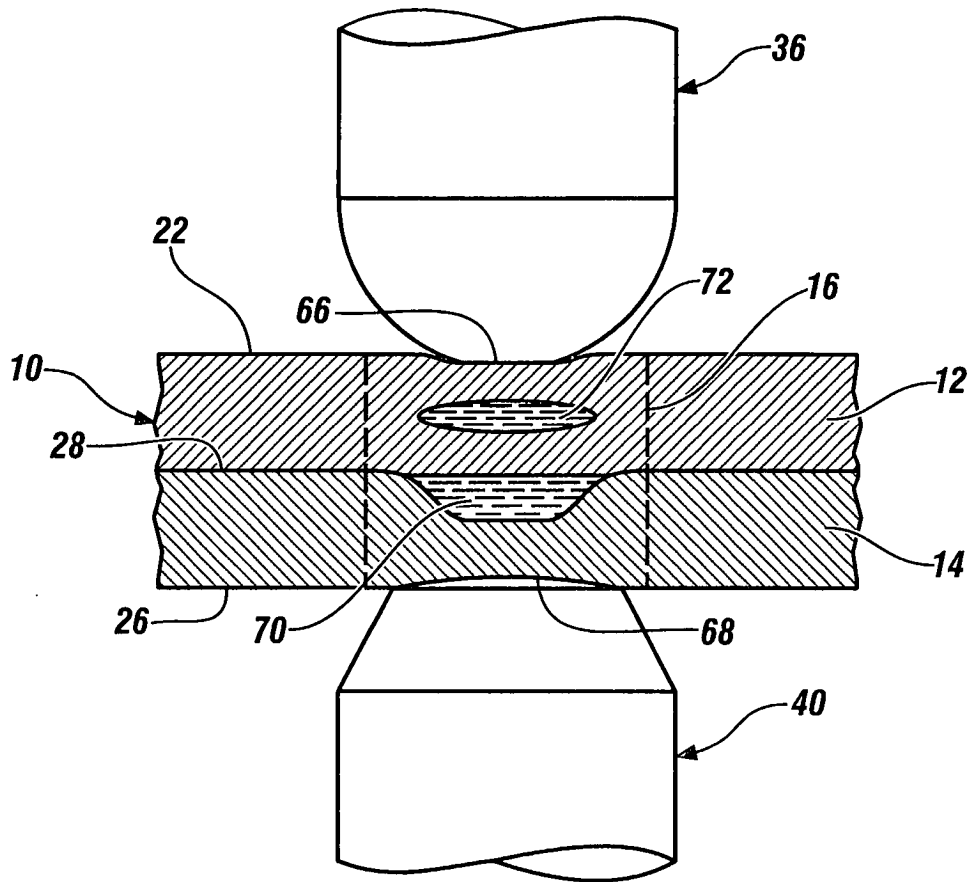


FIG. 6

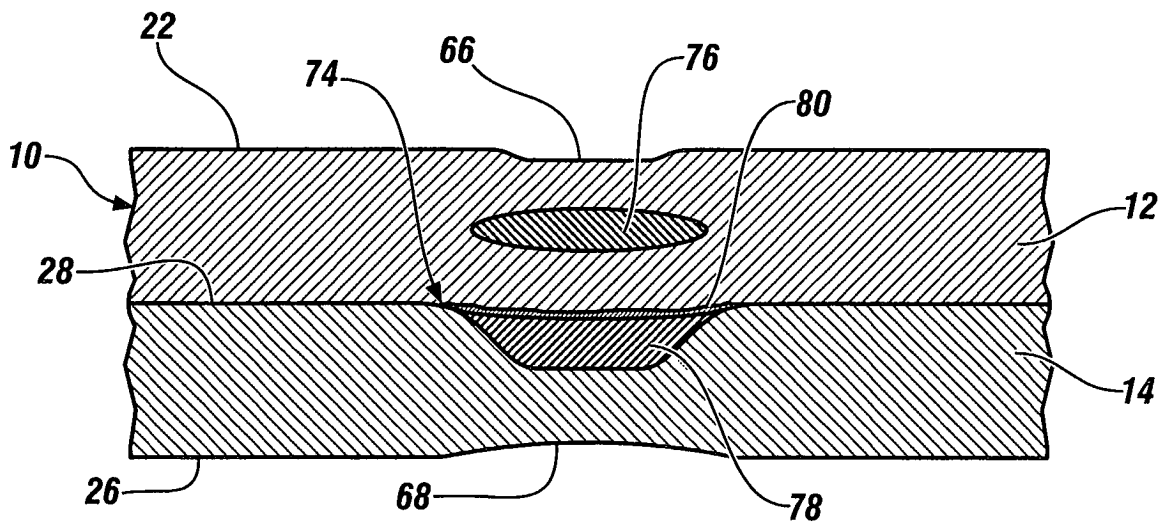


FIG. 7

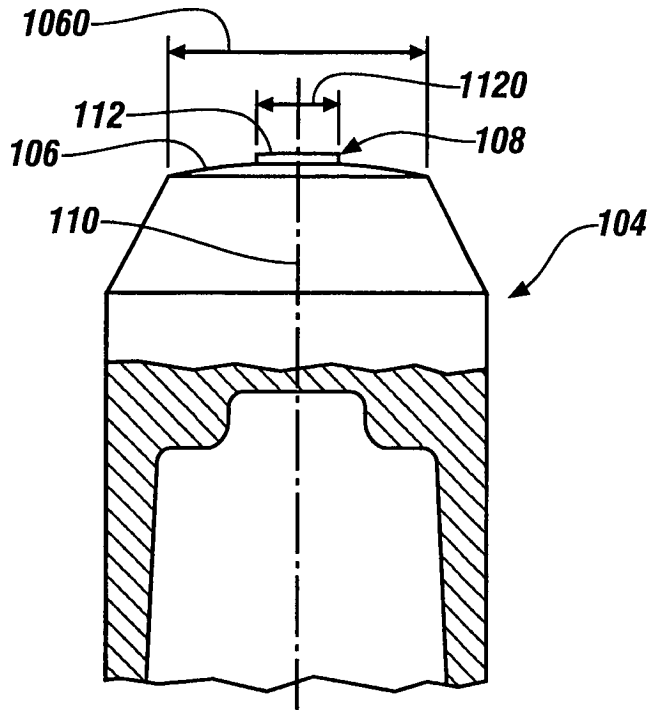


FIG. 8

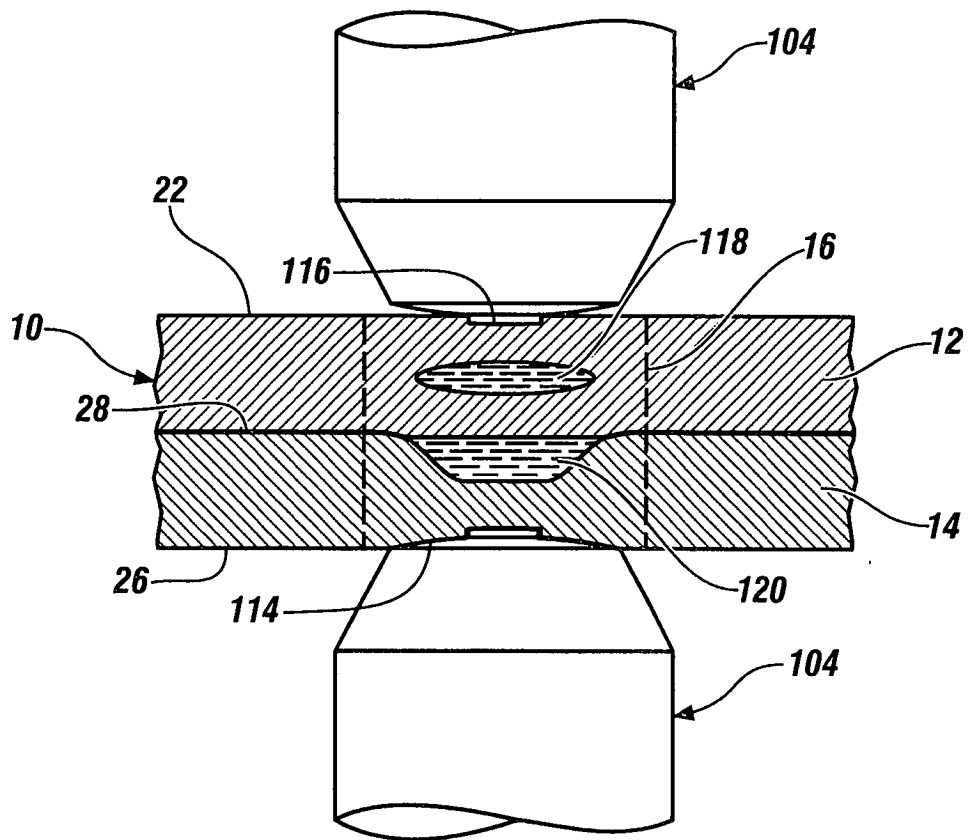


FIG. 9

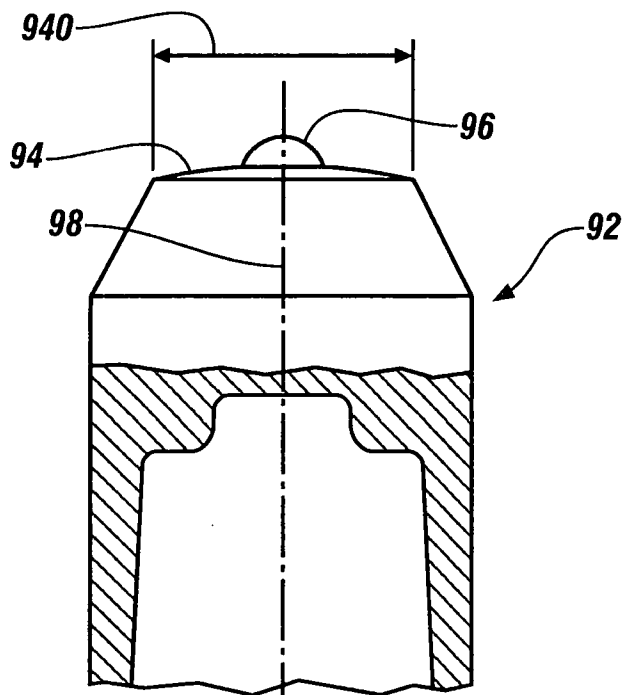


FIG. 10

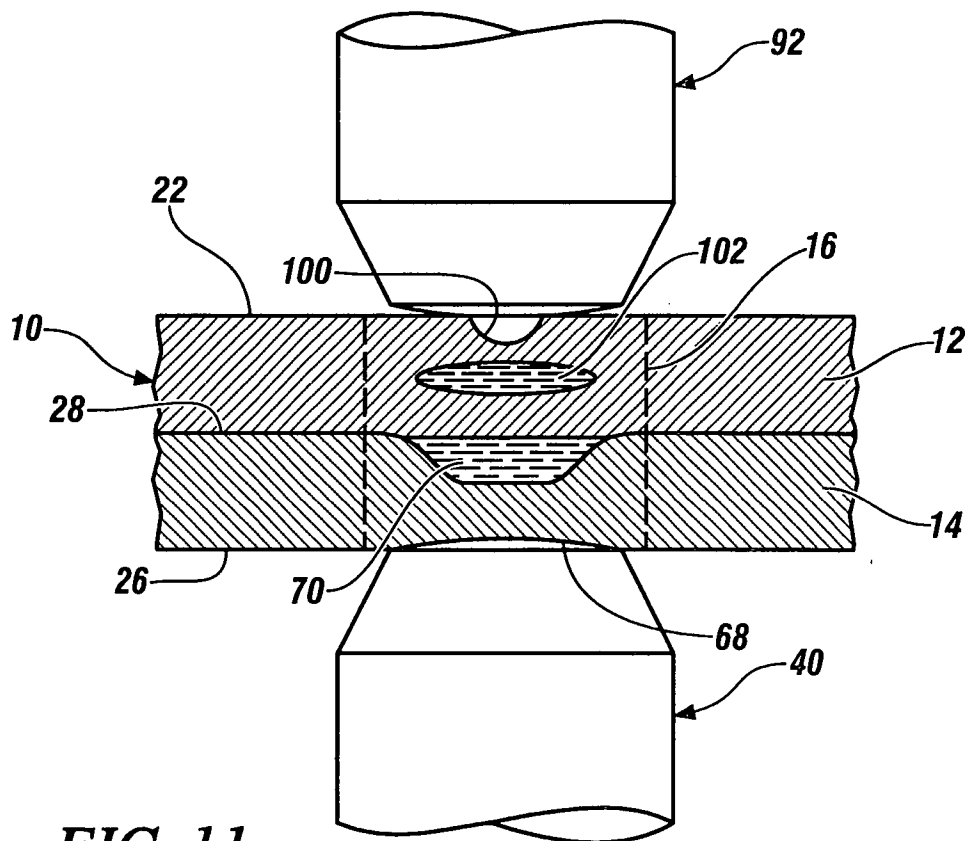


FIG. 11

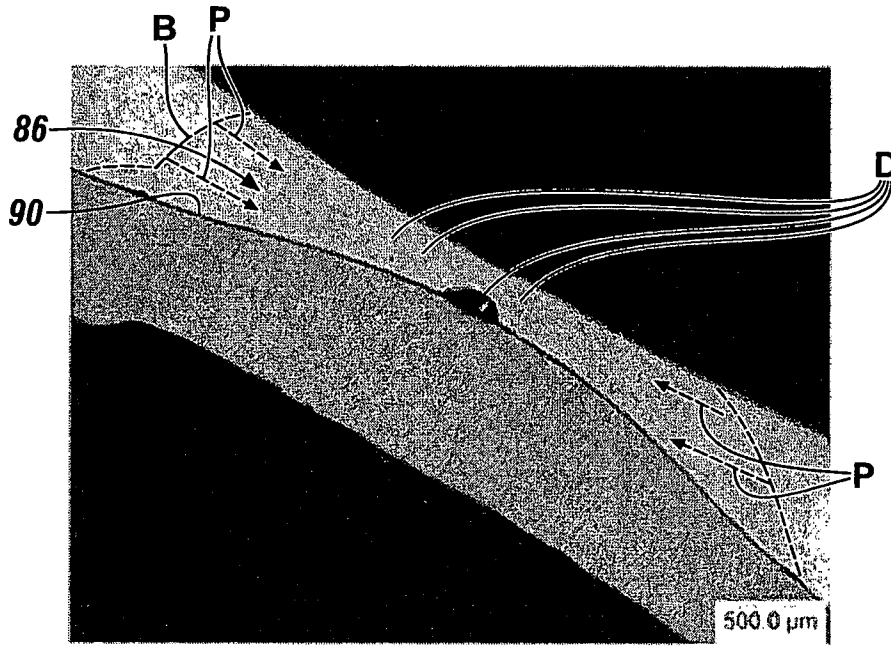


FIG. 12

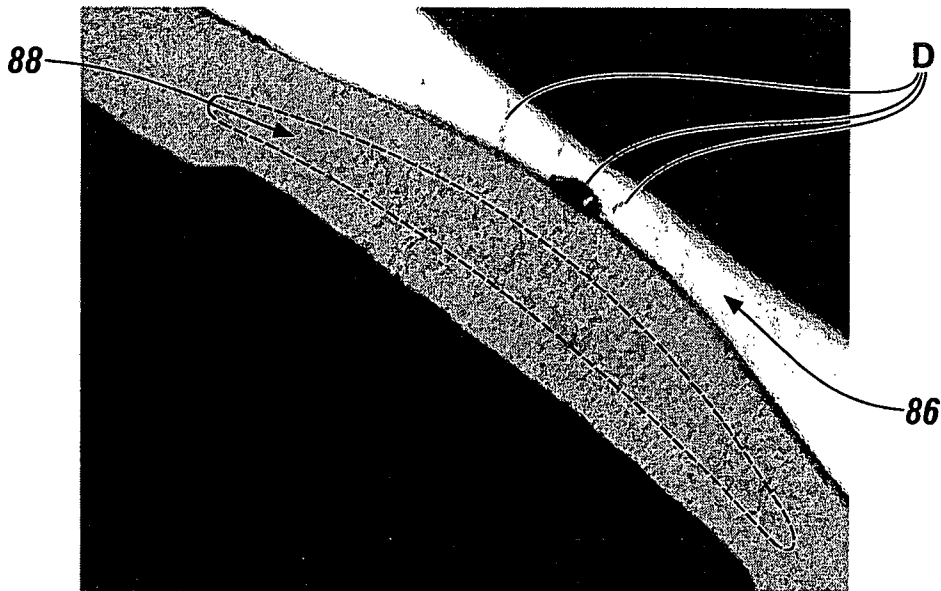


FIG. 13

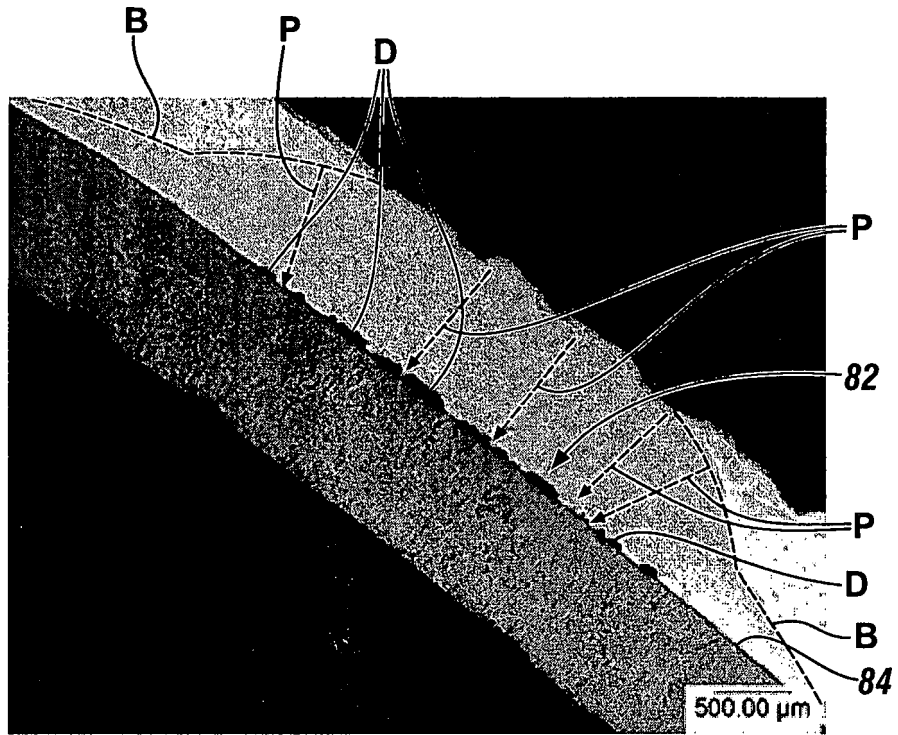


FIG. 14

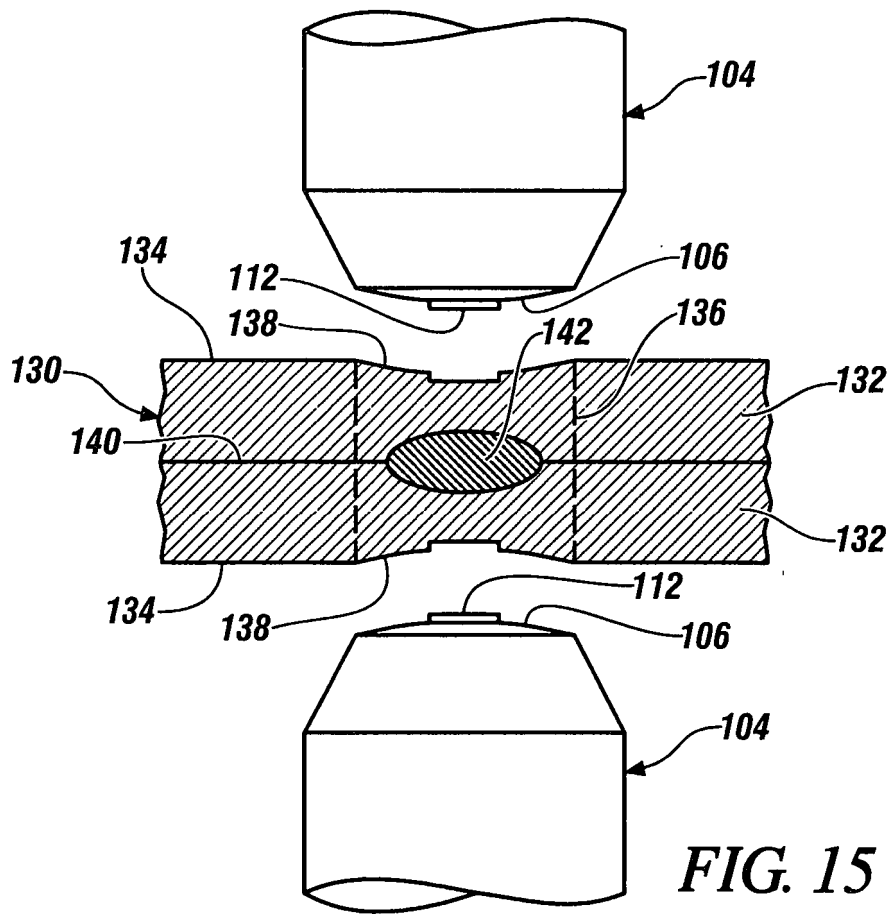


FIG. 15

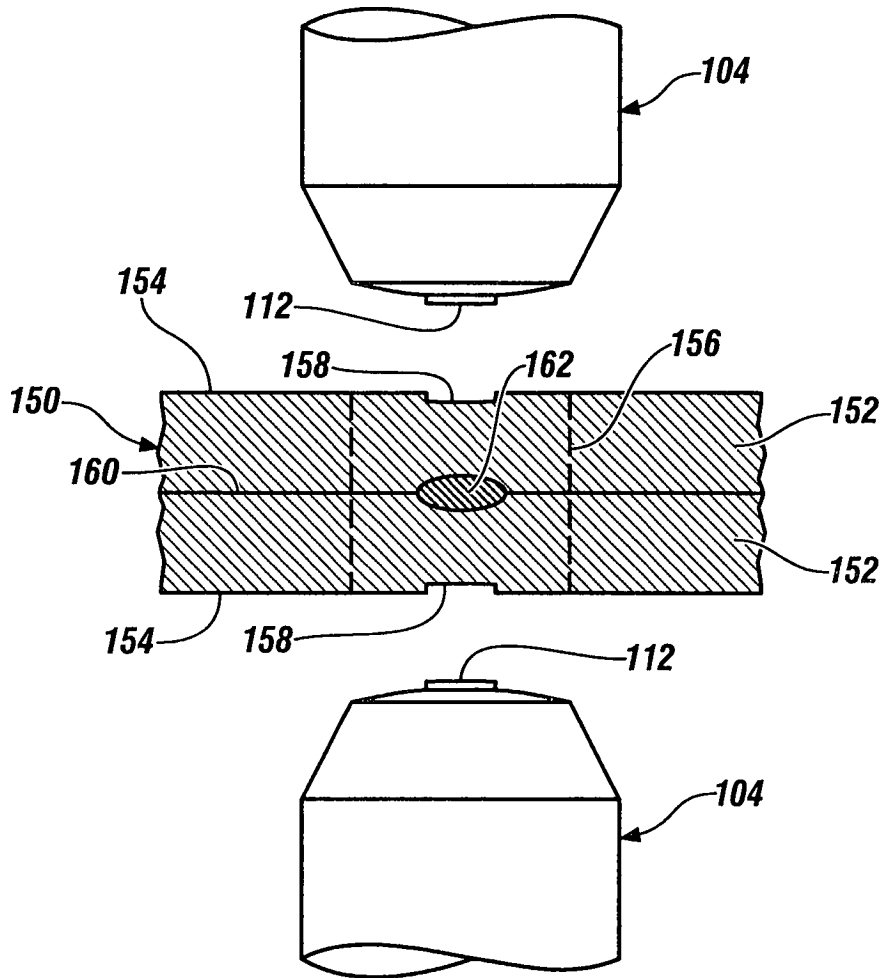


FIG. 16