



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2019 115 826.5**

(22) Anmeldetag: **11.06.2019**

(43) Offenlegungstag: **16.04.2020**

(51) Int Cl.: **B23K 11/10 (2006.01)**

(30) Unionspriorität:
16/160,327 **15.10.2018** **US**

(71) Anmelder:
GM Global Technology Operations LLC, Detroit, Mich., US; Shanghai Jiao Tong University, Shanghai, CN

(74) Vertreter:
**LKGLOBAL | Lorenz & Kopf PartG mbB
Patentanwälte, 80333 München, DE**

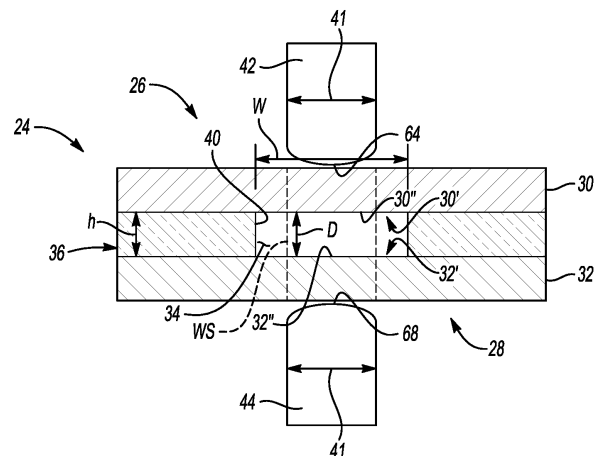
(72) Erfinder:
Haselhuhn, Amberlee S., Warren, MI, US; Sigler, David R., Warren, MI, US; Chen, Can, Shanghai, CN

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **QUALITÄTSSCHWEIßEN VON ÄHNLICHEN UND UNGLEICHEN METALLSCHWEIßUNGEN MIT ABSTAND ZWISCHEN DEN WERKSTÜCKEN**

(57) Zusammenfassung: Ein Verfahren zum Widerstandspunktschweißen und eine punktgeschweißte Werkstückanordnung sind vorgesehen. Es sind erste und zweite metallische Werkstücke vorgesehen, die jeweils Passflächen einschließlich Schnittstellenabschnitte aufweisen. Die Werkstücke sind so angeordnet, dass die Schnittstellenabschnitte ihrer Passschnittstellen um einen vorgegebenen Abstand voneinander beabstandet sind. Ein Satz von gegenüberliegenden Schweißelektroden mit einer ersten Elektrode und einer zweiten Elektrode ist vorgesehen, wobei die erste Elektrode auf einer Seite des ersten Werkstücks und die zweite Elektrode auf einer Seite des zweiten Werkstücks angeordnet ist. Über die Schweißflächen der Elektroden wird Druck auf die Werkstücke ausgeübt, und die Werkstücke werden über die Elektroden erwärmt, um eine Punktschweißverbindung zwischen den Schnittstellen der Passflächen zu bilden. Die Passflächen können mit Unterlegmaterial, einem erhöhten oder umgeklappten Abschnitt eines Werkstücks und/oder einem Füllmaterial mit Abstandspartikeln voneinander beabstandet sein.



Beschreibung

TECHNISCHES FELD

[0001] Das technische Feld dieser Offenbarung bezieht sich im Allgemeinen auf das Widerstandspunktschweißen und insbesondere auf eine Methodik des Widerstandspunktschweißens von Werkstückstapeln, die eine Technik des Abstands zwischen den Werkstücken beinhaltet.

EINFÜHRUNG

[0002] Das Widerstandspunktschweißen ist eine bekannte Füge-technik, die sich auf den Widerstand gegen den Stromfluss durch überlappende metallische Werkstücke und über deren Passschnittstelle(n) stützt, um die zum Schweißen benötigte Wärme zu erzeugen. Um einen solchen Schweißprozess durchzuführen, wird ein Satz gegenüberliegender Punktschweißelektroden an ausgerichteten Stellen auf gegenüberliegenden Seiten des Werkstückstapels eingespannt, der typischerweise zwei oder drei metallische Werkstücke beinhaltet, die in einer übereinandergelegten Konfiguration angeordnet sind. Anschließend wird elektrischer Strom durch die metallischen Werkstücke von einer Schweißelektrode zur anderen geleitet. Der Widerstand gegen den Fluss dieses elektrischen Stroms erzeugt Wärme innerhalb der metallischen Werkstücke und an deren Passschnittstelle(n). Wenn der Werkstückstapel ähnliche metallische Werkstücke -beinhaltet, wie beispielsweise zwei oder mehr überlappende Stahlwerkstücke oder zwei oder mehr überlappende Aluminiumwerkstücke, erzeugt die erzeugte Wärme ein geschmolzenes Schweißbad, das mit dem Verbrauch der Passschnittstelle(n) wächst und sich somit ganz oder teilweise durch jedes der gestapelten Metall-Werkstücke erstreckt. In diesem Zusammenhang trägt jedes der ähnlich zusammengesetzten Metallwerkstücke Material zum kommenden Schmelzbad bei. Nach Beendigung des Stromdurchgangs durch den Werkstückstapel erstarrt das geschmolzene Schweißbad zu einem Schweißnugget, der die benachbarten metallischen Werkstücke miteinander verschweißt.

[0003] Etwas anders verläuft das Widerstandspunktschweißverfahren, wenn der Werkstückstapel ungleiche metallische Werkstücke beinhaltet. Insbesondere, wenn der Werkstückstapel ein Aluminiumwerkstück und ein Stahlwerkstück beinhaltet, die sich überlappen und gegenüberstehen, um eine Passschnittstelle zu bilden, sowie möglicherweise ein oder mehrere flankierende Aluminium- und/oder ein oder mehrere flankierende Stahlwerkstücke (z.B. Aluminium-Aluminium-Stahl, Aluminium-Stahl-Stahl, Aluminium-Aluminium-Aluminium-Stahl, Aluminium-Stahl-Stahl-Stahl), erzeugt die im Schüttgutmaterial erzeugte Wärme und an der Passschnittstelle des Aluminium- und Stahlwerkstücks einen Schmelz-

schweißpool innerhalb des Aluminiumwerkstücks. Die Passschnittstelle des Stahlwerkstücks bleibt fest und intakt, so dass das Stahlwerkstück aufgrund seines viel höheren Schmelzpunktes nicht schmilzt und sich mit dem Schmelzbad vermischt, obwohl Elemente aus dem Stahlwerkstück, wie z.B. Eisen, in das Schmelzbad diffundieren können. Dieses Schmelzbad benetzt die gegenüberliegende Passfläche des Stahlwerkstücks und erstarrt nach Beendigung des Stromflusses zu einer Schweißverbindung, die die beiden ungleichen Werkstücke miteinander verbindet oder lötet.

[0004] Das Widerstandspunktschweißen ist eines von wenigen Fügeverfahren, die bei der Herstellung von Mehrkomponentenbaugruppen eingesetzt werden können. So sichert beispielsweise die Automobilindustrie derzeit verschiedene Karosserieteile (z.B. Karosserieseiten, Querträger, Säulen, Bodenplatten, Dachplatten, Motorraumelemente, Kofferraumelemente usw.) in einer integrierten mehrkomponentigen Karosseriestruktur, die oft als Rohkarosserie bezeichnet wird und die nachträgliche Montage verschiedener Fahrzeugverschlusselemente (z.B. Türen, Hauben, Kofferraumdeckel, Hubtore usw.) unterstützt. In dem Bestreben, leichtere Materialien in eine Fahrzeugkarosseriestruktur zu integrieren, bestand Interesse daran, sowohl Aluminiumwerkstücke als auch Stahlwerkstücke strategisch in die Karosserie zu integrieren. Ein typischer Prozess zur strukturellen Sicherung der Rohkarosserie besteht zunächst in der Positionierung und Abstützung der Karosserieteile zueinander, genau wie in der endgültigen Rohbaustruktur vorgesehen. Die zu verbindenden Karosserieteile werden so aufgelegt oder montiert, dass sich Flansche oder andere Verbindungsbereiche der Karosserieteile überlappen, um einen Werkstückstapel aus zwei oder mehr überlappenden Werkstücken zu bilden. Wenn die Befestigung von Karosserieteilen Werkstückstapel mit verschiedenen Kombinationen von Metallwerkstücken beinhaltet, werden die Werkstückstapel auch mit selbststanzenden Nietten verbunden, obwohl die neuesten technologischen Fortschritte das Widerstandspunktschweißen zu einer praktikablen und zuverlässigen Option gemacht haben. Die Bildung von Punktschweißungen und der Einbau von Stanznieten erfolgt durch Schweiß- und Nietzangen nach einer programmierten und abgestimmten Reihenfolge, bis alle Karosserieteile gesichert sind. Der gesamte Montageprozess wird an einer Fertigungslinie immer wieder wiederholt, mit dem Ziel, Karosseriestrukturen mit einer akzeptablen Ausbringungsrate bei minimalen unnötigen Ausfallzeiten kontinuierlich herzustellen.

[0005] Die Initiative zur Entwicklung eines Widerstandspunktschweißansatzes, der die verschiedenen Kombinationen von metallischen Werkstücken, die in einer Rohkarosserie vorkommen können, erfolgreich punktschweißen kann, hat in jüngster Zeit an

Bedeutung gewonnen, da ein solcher Ansatz die Notwendigkeit, teure, gewichtserhöhende und aufwändig zu installierende Niete (und die dazugehörigen Nietzangen) während des Baus der Rohkarosserie zu verwenden, erheblich reduzieren oder ganz beseitigen könnte. Aber das Punktschweißen der verschiedenen Kombinationen von Metallwerkstücken, die in einem Werkstückstapel präsentiert werden können, stellt eine Herausforderung dar. Erstens sind die Schmelzbereiche für Aluminiumlegierungen und Stahlwerkstoffe sehr unterschiedlich, d.h. etwa 900°C voneinander entfernt, was zu einem Aluminiumschmelzen führt, während der Stahl fest bleibt und entlang der Passschnittstelle eine Verfestigungsporosität erzeugen kann, die die Verbindung schwächt. Zweitens bilden Aluminium und Stahl eine Reihe von spröden intermetallischen Verbindungen an der Passschnittstelle, die bei übermäßiger Dicke die Verbindung schwächen können. Drittens stört die Oxidschicht auf Aluminium den Stromfluss und kann in das wachsende Aluminium-Schweißnugget integriert werden, wodurch eine Reihe von Mikrorissen entlang der Passschnittstelle entsteht, die die Verbindung schwächen. Diese Herausforderungen machen die Herstellung starker Verbindungen schwierig. In einigen Fällen brechen die Schweißverbindungen sogar auseinander und werden unstimmgig, und die Werkstücke werden verschrottet.

BESCHREIBUNG

[0006] Es ist ein Verfahren zum Widerstandspunktschweißen vorgesehen, das das Erzeugen eines vorbestimmten Abstands oder Spaltes zwischen den Werkstücken vor dem Anlegen des Elektrodendrucks und -stroms zum Vervollständigen der Schweißverbindung beinhaltet. Die Bereitstellung eines Zwischenraums zwischen den Werkstücken bewirkt, dass sich ein Aluminiumwerkstück um die Schweißnaht der Elektrode wickelt und sich dadurch vom benachbarten Werkstück weg erstreckt. Dadurch ist der beim Schweißen entstehende Kerbwinkel groß, was zu einer robusten, hochbelastbaren Schweißverbindung führt. Darüber hinaus führt die Lücke oder der Abstand zwischen den Werkstücken zu einer stabilen Schweißnahtgröße, und unter nicht idealen Bedingungen, wie beispielsweise Blechwinkeln, kann korrigiert oder als irrelevant erachtet werden, wenn ein vorgegebener Abstand zwischen den Werkstücken induziert wird.

[0007] In einer Form, die mit den anderen hierin offenbarten Formen kombiniert oder getrennt werden kann, ist ein Verfahren zum Widerstandspunktschweißen von Werkstückstapeln vorgesehen, das das Bereitstellen eines metallischen ersten Werkstücks mit einer ersten Werkstückpassfläche einschließlich eines Schnittstellenabschnitts und das Bereitstellen eines zweiten metallischen Werkstücks mit einer zweiten Werkstückpassfläche und einem

Schnittstellenabschnitt beinhaltet. Das Verfahren beinhaltet auch das Anordnen der ersten und zweiten metallischen Werkstücke, wobei die Schnittstellenabschnitte der ersten und zweiten Werkstückpassflächen in einem vorgegebenen Abstand voneinander angeordnet sind. Der vorgegebene Zwischenraumabstand liegt im Bereich von 0,25 bis 2,5 Millimetern. Das Verfahren beinhaltet das Bereitstellen eines Satzes von gegenüberliegenden Schweißelektroden mit einer ersten Elektrode und einer zweiten Elektrode, wobei die erste Elektrode auf einer Seite des ersten Werkstücks und die zweite Elektrode auf einer Seite des zweiten Werkstücks angeordnet ist. Weiterhin beinhaltet das Verfahren das Aufbringen von Druck auf die Werkstücke über die Schweißflächen des Elektrodensatzes und das Erwärmen der Werkstücke über die Elektroden, um eine Punktschweißverbindung zwischen den Schnittstellenabschnitten der ersten und zweiten Werkstückpassflächen zu bilden.

[0008] In einer anderen Form, die mit den anderen hierin vorgesehenen Formen kombiniert oder getrennt werden kann, ist eine punktgeschweißte Werkstückanordnung vorgesehen, die ein metallisches erstes Werkstück und einen metallischen zweiten Werkstückpunkt beinhaltet, der mit dem ersten Werkstück durch eine Punktschweißverbindung verschweißt ist. Das erste und zweite Werkstück weisen an einer Kante der Punktschweißverbindung einen Kerbgrundwinkel dazwischen auf, wobei der Kerbgrundwinkel mindestens 25 Grad beträgt. Ein spaltbildendes Element ist zwischen dem ersten und zweiten Werkstück angeordnet und konfiguriert, um Schnittstellenabschnitte der Passflächen des ersten und zweiten Werkstücks um einen vorbestimmten Abstand voneinander zu trennen, bevor das erste und zweite Werkstück miteinander punktuell verschweißt werden.

[0009] Zusätzliche Merkmale können vorgesehen werden, einschließlich, aber nicht beschränkt auf Folgendes: der vorgegebene Zwischenraumabstand liegt im Bereich von 0,25 bis 2,5 Millimeter; wobei das zweite Werkstück aus einer Stahllegierung gebildet ist und das erste Werkstück aus Aluminium oder einer Aluminiumlegierung gebildet ist; wobei jedes der ersten und zweiten Werkstücke aus Aluminium oder einer Aluminiumlegierung gebildet ist; wobei der Schnittstellenabschnitt der ersten Werkstückpassfläche und der Schnittstellenabschnitt der zweiten Werkstückpassfläche über einen Luftspalt voneinander beabstandet sind; Anordnen von Ausgleichsmaterial zwischen dem ersten und zweiten Werkstück, um das erste und das zweite Werkstück voneinander beabstandet zu halten; Bereitstellen eines Ausschnitts im Ausgleichsmaterial, um den Luftspalt zwischen der ersten und zweiten Passfläche bereitzustellen; wobei der Ausschnitt so vorgesehen ist, dass er größer als eine Elektroden-Schweißfläche

des Satzes der Elektroden ist; Bereitstellen des Unterlegmaterials als Polymermaterial, mindestens einen Draht, mindestens einen Stange und/oder eine Vielzahl von Sicken; Bereitstellen des zweiten Werkstücks mit einem erhöhten Abschnitt, der das erste Werkstück kontaktiert, und Bereitstellen des zweiten Werkstücks mit einem Talbodenabschnitt, der an den Schnittstellenabschnitten der zweiten Werkstückpassfläche angeordnet ist; wobei der Talbodenabschnitt weg vom ersten Werkstück angeordnet ist, so dass der Luftspalt zwischen dem Talboden und dem ersten Werkstück angeordnet ist; Bereitstellen des zweiten Werkstücks mit einem umgeklappten Abschnitt, der das erste Werkstück kontaktiert, und einem Spaltunterteil, der weg vom ersten Werkstück angeordnet ist, so dass der Luftspalt zwischen dem Spaltunterteil und dem ersten Werkstück angeordnet ist; Anordnen eines Füllmaterials zwischen dem ersten und zweiten Werkstück, um den vorbestimmten Abstand dazwischen zu schaffen; wobei das Füllmaterial eine Vielzahl von Partikeln umfasst, die innerhalb des Füllmaterials angeordnet sind; wobei jedes Partikel angepasst ist, um die Schnittstellenabschnitte der ersten und zweiten Passflächen voneinander zu trennen; Bereitstellen des Füllmaterials als ein Haftmaterial und/oder ein Dichtungsmaterial; Bereitstellen jedes Partikels mit einer Höhe, die etwa gleich dem vorbestimmten Zwischenraumabstand ist; Bereitstellen des ersten Werkstücks und der ersten Elektrode mit einem Blechwinkel dazwischen; wobei der Blechwinkel mindestens drei Grad beträgt; wobei der Schritt des Erwärms der Werkstücke durch Leiten von elektrischem Strom zwischen den Werkstücken über die Elektroden durchgeführt wird; was dazu führt, dass die Punktschweißverbindung einen Kerbgrundwinkel zwischen dem ersten und zweiten Werkstück aufweist, wobei der Kerbgrundwinkel mindestens 25 Grad beträgt; wobei das spaltbildende Element eine Unterlegscheibe mit Abschnitten ist, die einen Ausschnitt durch sie hindurch bilden, wobei sich die Punktschweißverbindung durch den Ausschnitt erstreckt; wobei das spaltbildende Element mindestens eines von: einen erhöhten Abschnitt, der in einem der ersten und zweiten Werkstücke gebildet ist, einen umgeklappten Abschnitt eines der ersten und zweiten Werkstücke und ein Füllmaterial mit einer Vielzahl von spaltbildenden Partikeln, die darin angeordnet sind; und wobei der vorgegebene Abstand im Bereich von 0,8 bis 1,5 Millimeter liegt.

[0010] Die oben genannten und andere Vorteile und Merkmale werden dem Fachmann aus der folgenden ausführlichen Beschreibung und den dazugehörigen Figuren ersichtlich.

Figurenliste

[0011] Die hierin beschriebenen Zeichnungen dienen nur der Veranschaulichung und sollen den Um-

fang der vorliegenden Offenbarung in keiner Weise einschränken.

Fig. 1 ist eine perspektivische Ansicht, die eine mehrkomponentige integrierte Baugruppe in Form einer Karosserie in Weiß darstellt, die aus einer Halterung einzelner Karosserieelemente durch eine Vielzahl von Punktschweißungen gemäß den Prinzipien der vorliegenden Offenbarung miteinander verbunden werden kann;

Fig. 2A ist eine Endansicht eines Werkstückstapels, der mindestens ein erstes Metallwerkstück, ein zweites Metallwerkstück und eine erste Variation eines spaltinduzierenden Elements in Form eines dazwischen angeordneten Unterlegmaterials zum Punktschweißen als Teil der Gesamtkonstruktion der in **Fig. 1** dargestellten mehrteiligen integrierten Baugruppe, die auch für eine Vielzahl anderer Baugruppen anwendbar ist, nach den Prinzipien der vorliegenden Offenbarung beinhaltet;

Fig. 2B ist eine Draufsicht auf das zweite Metallwerkstück und das spaltinduzierende Element von **Fig. 2A**, wobei das erste Metallwerkstück entfernt wurde, um Details des spaltinduzierenden Elements gemäß den Prinzipien der vorliegenden Offenbarung zu zeigen;

Fig. 3 ist eine schematische Seitenansicht, die eine partielle schematische Ansicht einer Schweißzange veranschaulicht, die einen Satz gegenüberliegender Schweißelektroden trägt und konfiguriert ist, um Werkstückstapel zusammenzuschweißen, wie beispielsweise das in den **Fig. 2A-2B** dargestellte Werkstückstapelverfahren, gemäß den Prinzipien der vorliegenden Offenbarung;

Fig. 4 ist eine Querschnittsansicht eines punktschweißten Werkstückstapels, wie es ursprünglich in den **Fig. 2A-2B** dargestellt war, die die Bildung einer Aluminium-Stahl-Punktschweißung mit Schweißelektroden, wie beispielsweise in **Fig. 3** dargestellt, zeigt und das Verfahren der vorliegenden Offenbarung nach den Prinzipien der vorliegenden Offenbarung anwendet;

Fig. 5A ist eine Endansicht eines Werkstückstapels, der mindestens ein erstes Metallwerkstück, ein zweites Metallwerkstück und eine weitere Variation von spaltbildenden Elementen in Form eines erhöhten Abschnitts und eines zwischen den Werkstücken angeordneten umgeklappten Abschnitts beinhaltet, der zum Punktschweißen als Teil der Gesamtkonstruktion der - in **Fig. 1** dargestellten mehrteiligen integrierten Baugruppe verwendet werden kann - und der nach den Prinzipien der vorliegenden Offenbarung auch für eine Vielzahl anderer Baugruppen anwendbar ist;

Fig. 5B ist eine Draufsicht auf das zweite Metallwerkstück und die spaltinduzierenden Elemente von **Fig. 5A**, wobei das erste Metallwerkstück entfernt wurde, um Details der spaltinduzierenden Elemente gemäß den Prinzipien der vorliegenden Offenbarung anzuzeigen;

Fig. 6A ist eine Endansicht eines Werkstückstapels, der mindestens ein erstes Metallwerkstück, ein zweites Metallwerkstück und noch eine weitere Variation von spaltbildenden Elementen in Form von zwischen den Werkstücken angeordneten Stangen beinhaltet, die zum Punktschweißen als Teil der Gesamtkonstruktion der in **Fig. 1** dargestellten mehrteiligen-integrierten Baugruppe verwendet werden können und die gemäß den Prinzipien der vorliegenden Offenbarung auch für eine Vielzahl anderer Baugruppen anwendbar ist;

Fig. 6B ist eine Draufsicht auf das zweite Metallwerkstück und die spaltinduzierenden Elemente von **Fig. 6A**, wobei das erste Metallwerkstück entfernt wurde, um Details des spaltinduzierenden Elements gemäß den Prinzipien der vorliegenden Offenbarung anzuzeigen;

Fig. 7A ist eine Endansicht eines Werkstückstapels, der mindestens ein erstes Metallwerkstück, ein zweites Metallwerkstück und noch eine weitere Variation eines spaltbildenden Elements in Form eines zwischen den Werkstücken angeordneten partikelhaltigen Klebstoffs beinhaltet, das zum Punktschweißen als Teil der Gesamtkonstruktion der in **Fig. 1** dargestellten mehrteiligen-integrierten Baugruppe verwendet werden kann und das gemäß den Prinzipien der vorliegenden Offenbarung auch auf eine Vielzahl anderer Baugruppen anwendbar ist;

Fig. 7B ist eine Draufsicht auf das zweite Metallwerkstück und das spaltinduzierende Element von **Fig. 7A**, wobei das erste Metallwerkstück entfernt wurde, um Details des spaltinduzierenden Elements gemäß den Prinzipien der vorliegenden Offenbarung anzuzeigen; und

Fig. 8 ist ein Blockdiagramm, das ein Verfahren zum Widerstandspunktschweißen von Werkstückstapeln gemäß den Prinzipien der vorliegenden Offenbarung darstellt.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

[0012] Unter Bezugnahme auf **Fig. 1** wird eine mehrkomponentige-integrierte Baugruppe **10** in Form einer Rohkarosserie bei der Herstellung eines Automobils dargestellt. Die mehrkomponentige Karosserieanordnung **10** beinhaltet eine Dachplatte **12**, Rückseitenverkleidungen **14**, eine hintere Kofferraumwand **16**, A-Säulen **18**, B-Säulen **20** und Bodenelemente **22** und die dazugehörige Unterbodenstruktur, unter anderem Karosserieelemente. Bestimmte die-

ser Fahrzeugkarosserieelemente können aus einem Aluminiumwerkstück, wie den Dach- und Viertelplatten **12**, **14** und der Kofferraumwand **16**, und bestimmte der anderen Fahrzeugkarosserieelemente können aus einem Stahlwerkstück, wie den A- und B-Säulen **18**, **20** und den Bodenelementen **22**, gebildet sein.

Vor der gemeinsamen Befestigung in der einheitlichen, integrierten Rohkarosserie **10** werden die verschiedenen Karosserieelemente **12**, **14**, **16**, **18**, **20**, **22** durch eine oder mehrere Vorrichtungen gegeneinander positioniert und abgestützt. Dabei werden Flansche oder andere Verbindungsbereiche der Karosserieelemente **12**, **14**, **16**, **18**, **20**, **22** in übereinandergelegter Konfiguration mit entsprechenden Flanschen oder Verbindungsbereichen anderer Karosserieelemente angeordnet, um eine Vielzahl von Werkstückstapeln mit zweiseitigem Zugang bereitzustellen, bei denen eine oder mehrere Widerstandspunktnähte gebildet werden können, um die Karosserieelemente, die zu jedem einzelnen Stapel beitragen, miteinander zu verbinden. Einige der etablierten Werkstückstapeln können ähnliche Metallwerkstücke beinhalten, d.h. alle Aluminiumwerkstücke oder alle Stahlwerkstücke, während einige der Stapel eine Kombination aus Aluminium und Stahlwerkstücken beinhalten können. Ein organisches Zwischenmaterial, wie beispielsweise ein Durchschweißkleber oder ein Versiegelungsmittel, kann optional zwischen den übereinandergelegten Werkstücken in jedem Stapel bei Bedarf eingebaut werden.

[0013] Ein Werkstückstapel **24** ist in **Fig. 2A** dargestellt, der Teil der Gesamtkonstruktion der mehrteiligen Rohkarosserie **10** sein kann. Der Werkstückstapel **24** weist eine erste Seite **26** und eine zweite Seite **28** auf und beinhaltet mindestens ein erstes Metallwerkstück **30** und ein zweites Metallwerkstück **32**. Das erste Metallwerkstück **30** bildet die erste Seite **26** des Stapels **24** und das zweite Metallwerkstück **32** die zweite Seite **28**; es ist jedoch zu verstehen, dass an den Außenseiten der Werkstücke **30**, **32** zusätzliche flankierende Werkstücke vorgesehen werden können, um die Außenseiten **26**, **28** des Stapels **24** zu bilden. So beinhaltet beispielsweise der Werkstückstapel **24** in einigen Implementierungen nur die ersten und zweiten metallischen Werkstücke **30**, **32** (ein „2T“-Stapel). In anderen Implementierungen kann ein zusätzliches Metallwerkstück (nicht dargestellt) angrenzend an eines der ersten und zweiten Metallwerkstücke **30**, **32** positioniert werden und sich durch die Schweißstelle **WS** erstrecken (ein „3T“-Stapel oder ein „4T“-Stapel). Weitere zusätzliche Werkstücke können auf Wunsch im Stapel hinzugefügt werden, wobei Aluminiumbleche nebeneinander und Stahlbleche nebeneinander gestapelt werden. Jede der ersten und zweiten Seiten **26**, **28** des Stapels **24** ist für eine Punktschweißelektrode **42**, **44** zugänglich, so dass der Werkstückstapel **24** zwischen dem Paar gegenüberliegender Punktschweiß-

elektroden **42, 44** an einer Schweißstelle **WS** eingespannt werden kann.

[0014] Unter Bezugnahme auf **Fig. 2A** kann das erste Werkstück **30** beispielsweise aus unlegiertem Aluminium oder einer Aluminiumlegierung gebildet werden. Das zweite Werkstück **32** kann beispielsweise aus Stahl, unlegiertem Aluminium oder einer Aluminiumlegierung gebildet sein.

[0015] Wenn legiert, kann die Aluminiumlegierung mindestens 85 Gew.-% Aluminium beinhalten. Das unlegierte Aluminium- oder Aluminiumlegierungswerkstück **30** (und das Werkstück **32** in einigen Variationen) kann entweder beschichtet oder unbeschichtet sein. Einige bemerkenswerte Aluminiumlegierungen, die das beschichtete oder unbeschichtete Aluminiumsubstrat bilden können, sind eine Aluminium-Magnesium-Legierung, eine Aluminium-Silizium-Legierung-, eine Aluminiummagnesium-Silizium-Legierung, eine Aluminium-Mangan-Legierung und eine Aluminium-Zink-Legierung. Wenn das Aluminiumsubstrat beschichtet ist, kann es eine Oberflächenschicht aus einem feuerfesten Oxidmaterial (nativ und/oder bei der Herstellung unter Einwirkung von Hochtemperaturen, z.B. Walzzunder, hergestellt) beinhalten, die aus Aluminiumoxidverbindungen und möglicherweise anderen Oxidverbindungen, wie beispielsweise denen von Magnesiumoxid, besteht, wenn das Aluminiumsubstrat Magnesium enthält. Das Aluminiumsubstrat kann auch mit einer Schicht aus Zink, Zinn oder einer Metalloxidumwandlungsbeschichtung aus Oxiden von Titan, Zirkonium, Chrom oder Silizium beschichtet sein, wie in U.S. Pat. Nr. 9.987.705 beschrieben, die hiermit durch Verweis in ihrer Gesamtheit aufgenommen wird. Die Oberflächenschicht kann eine Dicke im Bereich von 1 nm bis 10 µm aufweisen und kann auf jeder Seite des Aluminiumsubstrats vorhanden sein. Das Aluminiumwerkstück **30** (und optional das Werkstück **32**) kann eine Dicke aufweisen, die von 0,3 mm bis 6,0 mm oder enger von 0,5 mm bis 3,0 mm reicht, zumindest an der Schweißstelle **WS**.

[0016] Das Aluminiumwerkstück **30** (und/oder das Werkstück **32**) kann in geschmiedeter oder gegossener Form bereitgestellt werden. So kann beispielsweise das Werkstück **30** (und/oder das Werkstück **32**) aus einer Schicht aus Aluminium-Knetlegierungsblechen der Serien 3XXX, 4xxx, 5xxx, 6xxx oder 7xxx, Extrusion, Schmieden oder anderen bearbeiteten Artikeln bestehen. Alternativ kann das Werkstück **30** (und/oder das Werkstück **32**) aus einem Aluminiumlegierungsguss der Serien 4xx.x, 5xx.x, 6xx.x oder 7xx.x bestehen. Einige spezifischere Arten von Aluminiumlegierungen, die verwendet werden können, sind unter anderem AA3003 Aluminium-Mangan-Legierung, AA5754 und AA5182- Aluminiummagnesium-Legierung, AA6111 und AA6022- Aluminiummagnesium-Silizium-Legierung, AA7003 und AA

7055 Aluminium-Zink-Legierung und Al10SiMg- Aluminium-Druckguss-Legierung. Das Aluminiumwerkstück **30** (und/oder das Werkstück **32**) kann weiterhin in einer Vielzahl von Zuständen eingesetzt werden, einschließlich gegläht (O), kaltverfestigt (H) und lösungsgegläht (T), wenn gewünscht. Wenn mehr als ein Aluminium- oder Aluminiumlegierungswerkstück **30** (und/oder Werkstück **32**) im Werkstückstapel **24** vorhanden ist, können die Werkstücke in Bezug auf ihre Zusammensetzung, Dicke und/oder Form (z.B. geschmiedet oder gegossen) gleich oder unterschiedlich sein.

[0017] Das Werkstück **32** kann alternativ aus einem Stahlsubstrat mit einer Vielzahl von Festigkeiten und Güten gebildet werden, das entweder beschichtet oder unbeschichtet ist. Das Stahlsubstrat kann warmgewalzt oder kaltgewalzt sein und kann aus Stahl wie Baustahl, interstitiumsfreiem Stahl, bakehardenable steel, hochfestem niedriglegiertem (HSLA) Stahl, Dualphasenstahl (DP), komplexphasigem (CP) Stahl, martensitischem (MART) Stahl, transformiertem Plastizitätsstahl (TRIP), Zwillinginduziertem Plastizitätsstahl (TWIP) und Borstahl bestehen, wie beispielsweise wenn das Stahlwerkstück pressgehärteten Stahl (PHS) beinhaltet. Wenn beschichtet, beinhaltet das Stahlsubstrat vorzugsweise eine Oberflächenschicht aus Zink (z.B. feuerverzinkt oder elektrolytisch verzinkt), eine Zink-Eisen-Legierung (z.B. galvanisch vergütet oder galvanisch abgeschieden), eine Zink-Nickel-Legierung, Nickel, Aluminium, eine Aluminium-Magnesium-Legierung, eine Aluminium-Zink-Legierung oder eine Aluminium-Silizium-Legierung, von denen jede eine Dicke von bis zu 50 µm aufweisen kann und auf jeder Seite des Stahlsubstrats vorhanden sein kann. Das Stahlwerkstück **32** kann eine Dicke aufweisen, die von 0,3 mm bis 6,0 mm oder enger von 0,6 mm bis 2,5 mm reicht, zumindest an der Schweißstelle **WS**.

[0018] Wenn der Werkstückstapel **24** mehr als zwei Werkstücke beinhaltet, können zwei der benachbarten Metallwerkstücke Aluminiumwerkstücke sein und das andere Metallwerkstück kann ein Stahlwerkstück sein, oder zwei der benachbarten Metallwerkstücke können Stahlwerkstücke sein und das andere Metallwerkstück kann ein Aluminiumwerkstück sein. Wenn der Werkstückstapel **24** die vier Metallwerkstücke beinhaltet, können zwei der benachbarten Metallwerkstücke Aluminiumwerkstücke sein und die anderen beiden benachbarten Metallwerkstücke Stahlwerkstücke sein, drei der benachbarten Metallwerkstücke können Aluminiumwerkstücke sein und das andere Metallwerkstück kann ein Stahlwerkstück sein, oder drei der benachbarten Metallwerkstücke können Stahlwerkstücke sein und das andere Metallwerkstück kann ein Aluminiumwerkstück sein. Alternativ können alle Werkstücke aus Aluminium sein, ohne Stahl zu sein.

[0019] Die ersten und zweiten Werkstücke **30**, **32** mit jeweils Passflächen **30'**, **32'**, die nach einem Punktschweißvorgang miteinander verbunden werden, wie im Folgenden näher beschrieben. Jede Passfläche **30'**, **32'** weist an der Schweißstelle **WS** einen Schnittstellenabschnitt **30"**, **32"** auf, wobei die Schnittstellenabschnitte **30"**, **32"** der Passflächen **30'**, **32'** nach dem Schweißvorgang miteinander verbunden sind.

[0020] Die ersten und zweiten Werkstücke **30**, **32** sind mit den Schnittstellenabschnitten **30"**, **32"** der ersten und zweiten Werkstückpassflächen **30'**, **32'** im Abstand von einem vorbestimmten Abstand **D** voneinander angeordnet. Im Beispiel von **Fig. 2A** sind das erste und das zweite Werkstück **30**, **32** über einen Luftspalt **34** im Abstand **D** voneinander angeordnet. Der vorgegebene Zwischenraumabstand **D** kann beispielsweise im Bereich von 0,25 bis 2,5 Millimetern liegen. In einigen Variationen kann **D** im Bereich von 0,25 bis 1,5 mm, 0,5 bis 1,5 mm, 0,8 bis 1,5 mm oder 0,75 bis 1,25 mm liegen. Der vorgegebene Abstand **D** muss nicht über das gesamte Freiraumvolumen zwischen der ersten und zweiten Passfläche **30'**, **32'** gleichmäßig sein. Vielmehr kann der tatsächliche Abstand **D** zwischen der ersten und zweiten Passfläche **30'**, **32'** über das Raumvolumen im Luftspalt **34** variieren, so dass der Abstand **D** beispielsweise 0,5 mm zwischen den Passflächen **30'**, **32'** an einer Stelle und 0,6 mm zwischen den Passflächen **30'**, **32'** an einer anderen Stelle betragen kann.

[0021] Unter Bezugnahme auf die **Fig. 2A-2B** sind die Schnittstellenabschnitte **30"**, **32"** der Werkstückpassflächen **30'**, **32'** durch ein Passscheibenmaterial **36** voneinander beabstandet. **Fig. 2B** ist eine Draufsicht, bei der das erste Werkstück **30** entfernt wurde, um Details des Unterlegmaterials **36** und das zweite Werkstück **32** mit einem abgezogenen Schweißknopf, der durch den im Folgenden näher beschriebenen Schweißvorgang erzeugt wurde. In diesem Fall ist das Passscheibenmaterial **36** ein Stück Teflonmaterial mit einer Höhe **h** gleich dem Abstand **D** des Abstands zwischen den Passschnittstellen **30"**, **32"**.

[0022] Das Passscheibenmaterial **36** weist einen rechteckigen, quadratischen, runden oder anderweitig geformten Ausschnitt **40** auf, der den Luftspalt **34** zwischen der ersten und zweiten Passfläche **30'**, **32'** bildet. Der Ausschnitt **40** weist eine Breite **w** und Länge **l** auf, die jeweils größer sind als der Durchmesser **41** der Schweißnahtflächen **64**, **68** der Elektroden **42**, **44** und der Durchmesser **41'** der Schweißnaht **38**. In einigen Fällen sind die Breite **w** und die Länge **l** des Ausschnitts **40** größer als der abgezogene Schweißknopf **38** (repräsentativ für das Schweißnugget) und/oder die Elektrodenschweißflächen **64**, **68** um mindestens 1 oder 1,5 mm, in einigen Fällen 5 mm, auf allen Seiten der Elektrodenschweißflächen **64**, **68** oder der abgezogenen Schweißknopf **38**. Somit kann der Spalt **34** einen Radius von 10-20 mm aufweisen, wo-

bei der Schweißknopf **38** durch den Spalt **34** gebildet wird. Somit sind die Schnittstellenabschnitte **30"**, **32"**, die letztendlich zur Schweißnaht werden, vollständig innerhalb des Ausschnitts **40** angeordnet, und der Schweißknopf **38** wird durch den Ausschnitt **40** gebildet. Das Passscheibenmaterial **36** muss nicht notwendigerweise Teflon sein und kann alternativ aus jedem anderen gewünschten Material gebildet werden, wie beispielsweise einem anderen polymeren Material, Aluminium, Stahl, Schalldämpfungsmaterial, Keramik, Glas oder einem anderen gewünschten Material. Das Unterlegmaterial **36** kann als leitfähiges oder nicht leitfähiges Material vorgesehen werden. Das Unterlegmaterial **36** kann, wie dargestellt, aus einer Materialbahn gebildet sein, oder alternativ aus Drähten, Stangen, Sicken oder in einer anderen gewünschten Form. Die Dicke der Unterlegscheibe **36** kann gleich der Dicke des Spaltes **34** sein, wie beispielsweise der Abstand **D**. Die Dicke der Unterlegscheibe **36** kann über die Länge **l** und Breite **w** der Unterlegscheibe **36** gleichbleibend sein, oder die Dicke der Unterlegscheibe **36** kann über die Breite **w** und/oder Länge **l** variiert werden, wenn gewünscht.

[0023] Unter Bezugnahme auf **Fig. 3** kann eine Schweißzange **43** in den verschiedenen montierten Werkstückstapeln **24** der Rohkarosserie **10** Punktschweißungen bilden, um ihre einzelnen metallischen Werkstücke miteinander zu verbinden. Die Schweißzange **43** trägt eine erste Schweißelektrode **42** und eine gegenüberliegende zweite Schweißelektrode **44**. Wie hierin verwendet, wird eine „Schweißnaht“, ein „Schweißen“ oder ein „Schweißen“ verwendet, um sich auf einen Widerstandspunktschweißprozess zu beziehen, bei dem benachbarte Werkstücke erwärmt werden, indem ein elektrischer Strom geleitet wird, um benachbarte Werkstücke resistiv zu erwärmen, bis mindestens eines der Werkstücke an einer Passschnittstelle schmilzt, um die benachbarten Werkstücke miteinander zu verbinden. Ebenso wird der Begriff „Punktschweißung“ auch hier als Oberbegriff verwendet, der die Schweißknotenstruktur umfasst, die überlappende Aluminiumwerkstücke oder überlappende Stahlwerkstücke miteinander verschweißt, sowie eine Schweißverbindungsstruktur, die ein Aluminiumwerkstück und ein benachbartes überlappendes Stahlwerkstück an jeder Schweißstelle **WS**, an der Punktschweißen durchgeführt wird, miteinander verbindet oder lötet.

[0024] Die ersten und zweiten Schweißelektroden **42**, **44** sind mechanisch und elektrisch mit der Schweißzange **43** gekoppelt, die die Bildung einer schnellen Folge von Punktschweißungen unterstützen kann. In einigen Beispielen können die Schweißelektroden **42**, **44** wassergekühlt sein. Die Schweißzange **43** kann beispielsweise eine C-Zange oder eine X-Zange oder ein anderer Typ sein. Eine am Boden montierte Standfuß-Schweißzange kann verwendet werden, wenn die Teile ausreichend klein sind, um

von einem Roboter oder von Hand manipuliert zu werden, andernfalls kann die Schweißzange **43** an einem Roboter montiert werden, der in der Lage ist, sie in und um die Befestigung von Karosserieteilen zu bewegen, um Zugang zu den Werkstückstapeln **24** zu erhalten. Darüber hinaus kann die Schweißzange **43**, wie hier schematisch dargestellt, einer Stromversorgung **46** zugeordnet werden, die elektrischen Strom zwischen den Schweißelektroden **42**, **44** gemäß einem oder mehreren programmierten Schweißplänen liefert, die von einer Schweißsteuerung **48** verwaltet werden. Die Schweißzange **43** kann auch mit Kühlmittelleitungen und zugehörigen Steuereinrichtungen ausgestattet sein, um jeder der Schweißelektroden **42**, **44** während des Punktschweißens eine Kühlfähigkeit, wie beispielsweise Wasser, zuzuführen, um die Temperatur der Elektroden **42**, **44** zu steuern.

[0025] Die Schweißzange **43** beinhaltet einen ersten Zangenarm **50** und einen zweiten Zangenarm **52**. Der erste Zangenarm **50** ist mit einem Schaft **54** ausgestattet, der die erste Schweißelektrode **42** sichert und hält, und der zweite Zangenarm **52** ist mit einem Schaft **56** ausgestattet, der die zweite Schweißelektrode **44** sichert und hält. Die gesicherte Halterung der Schweißelektroden **42**, **44** an ihren jeweiligen Schäften **54**, **56** kann über Schaftadapter **58**, **60** erfolgen, die sich an axialen freien Enden der Schäfte **54**, **56** befinden. In Bezug auf ihre Positionierung in Bezug auf den Werkstückstapel **24** ist die erste Schweißelektrode **42** zum Kontakt mit der ersten Seite **26** des Stapels **24** und die zweite Schweißelektrode **44** zum Kontakt mit der zweiten Seite **28** des Stapels **24** positioniert. Die ersten und zweiten Schweißzangenarme **50**, **52** sind betreibbar, um die Schweißelektroden **42**, **44** aufeinander zu laufen oder zu kneifen und dem Werkstückstapel **24** an der Schweißstelle **WS** eine Klemmkraft aufzubringen, sobald die Elektroden **42**, **44** mit ihren jeweiligen Werkstückstapelseiten **26**, **28** in Kontakt gebracht werden.

[0026] Eine oder beide der ersten und zweiten Schweißelektroden **42**, **44** können als Mehrringkuppel („multi-ringed domed“ MRD) Schweißelektrode ausgebildet sein, wie in U.S. Pat. App. Pub. Nr. 2017/0304928, die hiermit durch Bezugnahme in ihrer Gesamtheit aufgenommen wird, und die aus einem elektrisch leitfähigen Material, wie beispielsweise einer Kupferlegierung, gebildet ist. Ein konkretes Beispiel für eine geeignete Kupferlegierung ist eine C15000 Kupfer-Zirkonium-Legierung (CuZr), die 0,10 Gew.-% bis 0,20 Gew.-% Zirkonium und den Rest Kupfer enthält. Andere Kupfermaterialien können verwendet werden, einschließlich beispielsweise einer Kupfer-Chrom-Legierung C18200 (CuCr), die 0,6 Gew.-% bis 1,2 Gew.-% Chrom und den Rest Kupfer beinhaltet; einer Kupfer-Chrom-Zirkon-Legierung C18150 (CuCrZr), die 0,5 Gew.-% bis 1,5 Gew.-% Chrom, 0,02 Gew.-% bis 0,20 Gew.-% Zirkonium und den Rest Kupfer beinhaltet; oder eines dispersions-

gehärteten Kupfermaterials wie Kupfer mit einer Aluminiumoxiddispersion. Darüber hinaus können auch andere Zusammensetzungen mit geeigneten mechanischen und elektrischen/thermischen Leitfähigkeitseigenschaften verwendet werden, einschließlich widerstandsfähigerer Elektroden, die aus einem hochschmelzenden Metall (z.B. Molybdän oder Wolfram) oder einem hochschmelzenden Metallverbund (z.B. Wolfram-Kupfer) bestehen. In Variationen, bei denen eines der Werkstücke **30**, **32**, wie beispielsweise das zweite Werkstück **32**, aus Stahl geformt ist, kann es vorzuziehen sein, die zweite Elektrode **44** als Kugelpfelektrode vorzusehen.

[0027] Die erste Schweißelektrode **42** beinhaltet einen Elektrodenkörper **62** und eine erste Schweißfläche **64** und ebenso die zweite Schweißelektrode **44** einen Elektrodenkörper **66** und eine zweite Schweißfläche **68**. Die Schweißnahtflächen **64**, **68** der ersten und zweiten Schweißelektroden **42**, **44** sind die Abschnitte der Elektroden **42**, **44**, die gegen die gegenüberliegenden Seiten **26**, **28** des Werkstückstapels **24** gedrückt und eingepreßt werden, um elektrischen Strom während jedes Vorgangs zu übertragen. Somit ist die erste Elektrode **42** auf der Außenseite **26** des Stapelaufbaus **24** und die zweite Elektrode **44** auf der Außenseite **28** des Stapelaufbaus **24** angeordnet.

[0028] Die Schweißzange **43** ist betreibbar, um elektrischen Strom zwischen den faktisch ausgerichteten Schweißflächen **64**, **68** der ersten und zweiten Schweißelektroden **42**, **44** und durch den Werkstückstapel **24** an der Schweißstelle **WS** zu leiten. Der ausgetauschte elektrische Strom ist vorzugsweise ein elektrischer Gleichstrom, der von der Stromversorgung **46** geliefert wird, die, wie dargestellt, mit der ersten und zweiten Schweißelektrode **42**, **44** elektrisch verbunden ist. Die Stromversorgung **46** ist vorzugsweise ein Mittelfrequenz-Gleichstrom („medium frequency direct current“ MFDC) Wechselrichter-Netzteil, das einen MFDC-Transformator beinhaltet. Ein MFDC-Transformator kann kommerziell von einer Reihe von Lieferanten bezogen werden, darunter Roman Manufacturing (Grand Rapids, MI), ARO Welding Technologies (Chesterfield Township, MI) und Bosch Rexroth (Charlotte, NC). Die Eigenschaften des gelieferten elektrischen Stroms werden von der Schweißsteuerung **48** gesteuert. Insbesondere ermöglicht die Schweißsteuerung **48** einem Benutzer die Programmierung eines Schweißplans, der die Wellenform des zwischen den Schweißelektroden **42**, **44** auszutauschenden elektrischen Stroms einstellt. Der Schweißplan ermöglicht eine individuelle Steuerung des aktuellen Niveaus zu einem bestimmten Zeitpunkt und der Dauer des Stromflusses bei einem bestimmten Stromniveau, unter anderem, und ermöglicht es ferner, dass diese Attribute des elektrischen Stroms auf Änderungen in sehr kleinen Zeitschritten bis hinunter zu Bruchteilen einer Millisekunde reagieren.

[0029] Die Schweißzange **43** dient zum Bilden von Punktschweißungen, die zur strukturellen Unterstützung der mehrkomponentigen integrierten Rohbaueinheit **10** erforderlich sind. Die Schweißflächen **64**, **68** werden gegen die Außenseiten **26**, **28** des Stapels gedrückt und mit Druck beaufschlagt. Die Werkstücke **30**, **32** werden über den von den Elektroden **42**, **44** fließenden Strom erwärmt, um eine Punktschweißverbindung zwischen den Schnittstellenabschnitten **30''**, **32''** der ersten Werkstückpassfläche **30'** und der zweiten Werkstückpassfläche **32'** zu bilden.

[0030] Unter Bezugnahme nun auf **Fig. 4** wird der Werkstückstapel **24** punktgeschweißt, um eine erste Aluminium-Stahl-Punktschweißung **106** (oder alternativ eine Aluminium-Aluminium-Punktschweißung) zu bilden. Bei Aluminium-Aluminium-Punktschweißungen würde das Werkstückstapel **24** vorzugsweise drei oder mehr Bleche **30**, **32** aufweisen.

[0031] Die Bildung der Aluminium-Stahl-Punktschweißung **106** beginnt damit, dass die Schweißfläche **64** der ersten Schweißelektrode **42** und die Schweißfläche **68** der zweiten Schweißelektrode **44** gegen die erste Seite **26** bzw. die zweite Seite **28** des Werkstückstapels **24** an der Schweißstelle **WS** unter einer auferlegten Klemmkraft in einer ersten relativen Position zwischen dem Elektrodensatz **42**, **44** und den Werkstücken **30**, **32** gedrückt wird. Die von den Schweißelektroden **42**, **44** aufgebrachte Kraft reicht beispielsweise von 400 lb (181,44 kg) bis 2000 lb (907,18 kg) und vorzugsweise von 600 lb (272,16 kg) bis 1300 lb (589,67 kg).

[0032] Sobald die Elektroden **42**, **44** eingepresst sind, werden die Elektroden **42**, **44** zunächst unter Spannung gesetzt, um einen elektrischen Strom zwischen den gegenüberliegenden Schweißnahtflächen **64**, **68** und durch den Werkstückstapel **24** zu leiten. Die Ableitung von elektrischem Strom erzeugt Wärme und erzeugt ein geschmolzenes Aluminiumschweißbad innerhalb des Aluminiumwerkstücks **30**, das angrenzend an das Stahlwerkstück **32** liegt und dieses berührt. Das Aluminiumschmelzbad benetzt das angrenzende Stahlwerkstück, das kein geschmolzenes Material in das Schmelzbad einbringt, und dringt in das Aluminiumwerkstück ein, typischerweise in einem Abstand von 10% bis 100% seiner Dicke und vorzugsweise 20% bis 80%, von den Passflächen **30'**, **32'** der Aluminium- und Stahlwerkstücke **30**, **32**. Nach Beendigung des Stromdurchgangs erstarrt das Aluminiumschmelzbad in der Schweißverbindung **106**, die die Aluminium- und Stahlwerkstücke **30**, **32** miteinander verbindet oder lötet. Die Größe der Schweißnaht oder des Schweißzungendurchmessers **N** kann beispielsweise im Bereich von 3 bis 15 mm, vorzugsweise 6 bis 12 mm liegen.

[0033] Die Struktur der Aluminiumschweißnaht **106**, die innerhalb des oder der Werkstückstapel **24** an jeder Schweißstelle **WS** gebildet wird, ist an den Passflächen **30'**, **32'** im Wesentlichen die gleiche, unabhängig davon, ob zusätzliche metallische Werkstücke in den Stapel **24** aufgenommen werden. Wenn dagegen beide Werkstücke **30**, **32** als Aluminiumwerkstücke im Werkstückstapel **24** vorgesehen sind, würde das Schweißbad in beiden Werkstücken **30**, **32** gebildet.

[0034] In allen Beispielen kann die Schweißzange **43** so konfiguriert werden, dass jede Punktschweißverbindung oder versuchte Schweißverbindung **106** in der Karosserie nach einem eigenen, individuellen Schweißplan gebildet wird, abhängig von der Lehre, der Werkstückträgerzusammensetzung, der Zusammensetzung der Werkstückoberfläche, der Schichtdicke usw. Und während jede geeignete Schweißplanung verwendet werden kann, um die Bildung der Aluminium-Stahl-Punktschweißungen durchzuführen, wird ein besonders bevorzugter Schweißplan in US Pat. App. Pub. Nr. 2017/0106466, deren gesamter Inhalt hierin durch Verweis aufgenommen wird.

[0035] Durch die Bereitstellung eines Abstands **D** zwischen den Werkstücken **30**, **32** wickelt sich das Aluminiumwerkstück **30** um die Schweißnaht **64** der Elektrode **42** und erstreckt sich dadurch vom benachbarten Werkstück **32** weg. Insbesondere bewirkt der Spalt **34**, dass die Kontaktfläche der Elektrode **42** zu Blech **30** vergrößert und die Kontaktfläche **30** zu Blech **32** verkleinert wird. Dies hat den kombinierten Effekt, die Stromdichte an den Passflächen **30'**, **32'** zu erhöhen und die Größe der Hydraulikzonen zu verringern. Darüber hinaus bewirkt der Spalt oder Abstand **34**, dass der Kerbgrundwinkel **A** zwischen den Werkstücken **30**, **32** vergrößert wird, wenn sich das Blech **30** um die Spitze der Elektrode **42** wickelt, was zu einer robusteren Schweißverbindung **106** führt, die in der Lage ist, höhere Zugscherungen oder andere Belastungen aufzunehmen. Der Kerbgrundwinkel **A** beträgt vorzugsweise mindestens 8 Grad, und im dargestellten Beispiel in **Fig. 4** ist der Kerbgrundwinkel **A** größer als 15, 25, 30, 34 oder 45 Grad.

[0036] Unter Bezugnahme auf die **Fig. 5A-5B** ist eine weitere Variante des Werkstückaufbaus dargestellt und allgemein bei **124** bezeichnet. Es ist zu verstehen, dass das Werkstückstapel **124** anstelle des Werkstückstapels **24** verwendet werden kann, z.B. bei der Rohkarosserie **10**. Sofern nicht anders beschrieben, kann der Werkstückstapel **124** die gleichen Merkmale aufweisen wie vorstehend für den Werkstückstapel **24** beschrieben. So kann beispielsweise der Werkstückstapel **124** zwei oder mehr metallische Werkstücke beinhalten, die jeweils aus Aluminium und/oder Stahl geformt sind.

[0037] Der Werkstückstapel **124** weist eine erste Seite **126** und eine zweite Seite **128** auf und beinhaltet mindestens ein erstes Metallwerkstück **130** und ein zweites Metallwerkstück **132**. In diesem Beispiel stellt das erste Metallwerkstück **130** die erste Seite **126** des Stapels **124** und das zweite Metallwerkstück **132** die zweite Seite **128** dar. Jede der ersten und zweiten Seiten **126**, **128** ist für eine Punktschweißelektrode **42**, **44** zugänglich, so dass der Werkstückstapel **124** zwischen dem Paar gegenüberliegender Punktschweißelektroden **42**, **44** an einer Schweißstelle **WS** eingespannt werden kann. (Die Punktschweißelektroden **42**, **44** können die gleichen sein wie oben beschrieben). In einigen Implementierungen beinhaltet der Werkstückstapel **24** nur die ersten und zweiten metallischen Werkstücke **130**, **132** (ein „T“-Stapel). In anderen Implementierungen können zusätzliche metallische Werkstücke (nicht dargestellt) angrenzend an eines oder beide der Werkstücke **130**, **132** positioniert werden und die Außenseiten **126**, **128** des Stapels **124** bilden. Wie vorstehend beschrieben, können die Werkstücke **130**, **132** beispielsweise aus unlegiertem Aluminium, einer Aluminiumlegierung oder Stahl gebildet und beschichtet werden.

[0038] Die ersten und zweiten Werkstücke **130**, **132** mit jeweils Passflächen **130'**, **132'**, die wie durch Widerstandspunktschweißen oder -löten, wie vorstehend beschrieben, miteinander verbunden werden. Jede Passfläche **130'**, **132'** weist an der Schweißstelle **WS** einen Schnittstellenabschnitt **130''**, **132''** auf, wobei die Schnittstellenabschnitte **130''**, **132''** nach dem Schweißvorgang miteinander verbunden sind.

[0039] Die ersten und zweiten Werkstücke **130**, **132** sind mit den Schnittstellenabschnitten **130''**, **132''** der ersten Werkstückpassfläche **130'** und der zweiten Werkstückpassfläche **132'** im Abstand von einem vorbestimmten Abstand **E** zueinander angeordnet. Im Beispiel von **Fig. 5A** sind die ersten und zweiten Werkstücke **130**, **132** über einen dazwischen induzierten Luftspalt **134** im Abstand **E** voneinander angeordnet. Der vorgegebene Zwischenraumabstand **E** kann beispielsweise im Bereich von 0,25 bis 2,5 Millimetern liegen. In einigen Variationen kann **E** im Bereich von 0,25 bis 1,5 mm, 0,5 bis 1,5 mm, 0,8 bis 1,5 mm oder 0,75 bis 1,25 mm liegen. Der vorgegebene Abstand **E** muss nicht über das gesamte Freiraumvolumen zwischen der ersten und zweiten Passfläche **130'**, **132'** konstant sein. Vielmehr kann der tatsächliche Abstand **E** zwischen der ersten und zweiten Passfläche **130'**, **132'** über das Raumvolumen im Luftspalt **34** variieren, so dass der Abstand **E** beispielsweise 0,5 mm zwischen den Passflächen **130'**, **132'** an einer Stelle und 0,6 mm zwischen den Passflächen **130'**, **132'** an einer anderen Stelle betragen kann.

[0040] In diesem Beispiel wird der Luftspalt **134** oder der vorgegebene Zwischenraumabstand **E** zwischen den Schnittstellenabschnitten **130''**, **132''** jeder der Werkstückpassflächen **130'**, **132'** durch eine oder mehrere Vertiefungen oder Erhöhungen **135** und/oder einen oder mehrere umgebogene Abschnitte **137** erzeugt. Einer oder beide der erhöhten Abschnitte **135** und die umgeklappten Abschnitte **137** können einbezogen werden. Der erhöhte Abschnitt **135** und/oder der umgeklappte Abschnitt **137** des zweiten Werkstücks **132** berühren das erste Werkstück **130**. Das zweite Werkstück **132** weist einen Spaltgrundabschnitt oder Talgrundabschnitt **139** auf, der an dem Schnittstellenabschnitt **132''** der zweiten Werkstückpassfläche **132'** angeordnet ist, wobei der Talgrundabschnitt **139** vom ersten Werkstück **130** weg angeordnet ist, so dass der Luftspalt **134** zwischen dem Talgrund **139** und dem ersten Werkstück **130** angeordnet ist. Der erhöhte Abschnitt **135** kann beispielsweise durch Stanzen oder anderweitiges Bilden einer Vertiefung im Werkstück **132** erzeugt werden. Der umgeklappte Abschnitt **137** kann beispielsweise durch Umlegen eines Endes **141** des Werkstücks **132** auf sich selbst erzeugt werden.

[0041] **Fig. 5B** ist eine Draufsicht, bei der das erste Werkstück **130** entfernt ist, um Details des zweiten Werkstücks **132** mit dem einheitlich ausgebildeten erhöhten Abschnitt **135** und dem umgeklappten Abschnitt **137** darzustellen. Der erhöhte Abschnitt **135** und/oder der umgeklappte Abschnitt **137** wirkt als Abstandshalter, um den Schnittstellenabschnitt **130''** der ersten Werkstückpassfläche **130'** vom Schnittstellenabschnitt **132''** der zweiten Werkstückpassfläche **132'** fernzuhalten, um den Luftspalt **134** zwischen ihnen zu bilden und den vorbestimmten Abstand **E** zwischen den Schnittstellenabschnitten **130''**, **132''** der ersten und zweiten Passflächen **130'**, **132'** zu erzeugen. Durch die Bereitstellung eines Abstands **E** zwischen den Werkstücken **130**, **132** wickelt sich das Aluminiumwerkstück **130** um die Schweißnaht **64** der Elektrode **42** und erstreckt sich dadurch vom benachbarten Werkstück **132** weg. Dadurch wird beim Schweißen ein großer Kerbgrundwinkel gebildet, wie beispielsweise der in **Fig. 4** dargestellte Kerbgrundwinkel **A**.

[0042] Unter Bezugnahme auf die **Fig. 6A-6B** ist eine weitere Variante des Werkstückaufbaus dargestellt und allgemein bei **224** bezeichnet. Es ist zu verstehen, dass der Werkstückstapel **224** anstelle des Werkstückstapels **24** oder **124** verwendet werden kann, z.B. bei der Rohkarosserie **10**. Sofern nicht anders beschrieben, kann das Werkstückstapel **224** die gleichen Merkmale aufweisen wie vorstehend für das Werkstückstapel **24** oder **124** beschrieben. So kann beispielsweise das Werkstückstapel **224** zwei oder mehr metallische Werkstücke beinhalten, die jeweils aus Aluminium und/oder Stahl geformt sind.

[0043] Der Werkstückstapel **224** weist eine erste Seite **226** und eine zweite Seite **228** auf und beinhaltet mindestens ein erstes Metallwerkstück **230** und ein zweites Metallwerkstück **232**. In diesem Beispiel stellt das erste Metallwerkstück **230** die erste Seite **226** des Stapelaufbaus **224** und das zweite Metallwerkstück **232** die zweite Seite **228** des Stapelaufbaus **224** dar. Jede der ersten und zweiten Seiten **226**, **228** ist für eine Punktschweißelektrode **42**, **44** zugänglich, so dass der Werkstückstapel **224** zwischen dem Paar gegenüberliegender Punktschweißelektroden **42**, **44** an einer Schweißstelle **WS** eingespannt werden kann. (Die Punktschweißelektroden **42**, **44** können die gleichen sein wie oben beschrieben). In einigen Implementierungen beinhaltet der Werkstückstapel **224** nur das erste und zweite metallische Werkstück **230**, **232** (ein „T“-Stapel). In anderen Implementierungen können zusätzliche metallische Werkstücke (nicht dargestellt) angrenzend an eines oder beide der Werkstücke **230**, **232** positioniert werden und die Außenseiten **226**, **228** des Stapels **224** bilden. Wie vorstehend beschrieben, können die Werkstücke **230**, **232** beispielsweise aus unlegiertem Aluminium, einer Aluminiumlegierung oder Stahl gebildet und beschichtet werden.

[0044] Das erste und zweite Werkstück **230**, **232** mit jeweils **230'**, **232'** bzw. **232'** Passflächen, die wie vorstehend beschrieben durch Widerstandspunktschweißen oder -löten miteinander verbunden werden. Jede Passfläche **230'**, **232''** weist an der Schweißstelle **WS** einen Schnittstellenabschnitt **230''**, **232''** auf, wobei die Schnittstellenabschnitte **230''**, **232''** der Passfläche **230'**, **232'** nach dem Schweißvorgang miteinander verbunden sind.

[0045] Die ersten und zweiten Werkstücke **230**, **232** sind mit den Schnittstellenabschnitten **230''**, **232''** der ersten und zweiten Werkstückpassflächen **230'**, **232'** im Abstand von einem vorbestimmten Abstand **F** zueinander angeordnet. Im Beispiel von **Fig. 6A** sind das erste und das zweite Werkstück **230**, **232** über einen dazwischen induzierten Luftspalt **234** um den Abstand **F** beabstandet. Der vorgegebene Zwischenraumabstand **F** kann beispielsweise im Bereich von 0,25 bis 2,5 Millimetern liegen. In einigen Variationen kann **F** im Bereich von 0,25 bis 1,5 mm, 0,5 bis 1,5 mm, 0,8 bis 1,5 mm oder 0,75 bis 1,25 mm liegen. Der vorgegebene Abstand **F** muss nicht über das gesamte Freiraumvolumen zwischen der ersten und zweiten Passfläche **230'**, **232'** konstant sein. Vielmehr kann der tatsächliche Abstand **F** zwischen der ersten und zweiten Passfläche **230'**, **232'** über das Raumvolumen im Luftspalt **34** variieren, so dass der Abstand **F** beispielsweise 0,5 mm zwischen den Passflächen **230'**, **232'** an einer Stelle und 0,6 mm zwischen den Passflächen **230'**, **232'** an einer anderen Stelle betragen kann.

[0046] In diesem Beispiel wird der Luftspalt **234** oder der vorgegebene Zwischenraumabstand **F** zwischen den Schnittstellenabschnitten **230''**, **232''** der Werkstückpassflächen **230'**, **232'** durch ein Unterlegmaterial oder Objekt, wie beispielsweise eine oder mehrere Stangen **236**, die zwischen dem ersten und zweiten Werkstück **230**, **232** angeordnet sind, erzeugt. Die Stangen **236** berühren beide Werkstücke **230**, **232** und dienen dazu, die Schnittstellenabschnitte **230''**, **232''** der Passflächen **230'**, **232''** voneinander getrennt zu halten oder zu trennen. Es kann eine beliebige Anzahl von Stangen **236** verwendet werden.

[0047] **Fig. 6B** ist eine Draufsicht, bei der das erste Werkstück **230** entfernt wurde, um die Stangen **236** und das zweite Werkstück **232** zu zeigen. Die Stangen **236** wirken als Abstandshalter, um die Passfläche **230'** des ersten Werkstücks **230** von der Passfläche **232'** des zweiten Werkstücks **232'** fernzuhalten, um den Luftspalt **234** zwischen ihnen zu bilden und den vorgegebenen Abstand **F** zwischen der ersten und zweiten Passfläche **230'**, **232'** zu erzeugen. Durch einen vorgegebenen Spalt oder Raum **F** zwischen den Werkstücken **230** bewirkt **232**, dass sich das Aluminiumwerkstück **230** um die Schweißnaht **64** der Elektrode **42** wickelt und sich dadurch vom benachbarten Werkstück **232** weg erstreckt. Dadurch wird beim Schweißen ein großer Kerbgrundwinkel gebildet, wie beispielsweise der in **Fig. 4** dargestellte Kerbgrundwinkel **A**.

[0048] Unter Bezugnahme auf die **Fig. 7A-7B** ist eine weitere Variante des Werkstückaufbaus dargestellt und allgemein bei **324** bezeichnet. Es ist zu verstehen, dass der Werkstückstapel **324** anstelle des Werkstückstapels **24**, **124** oder **224** verwendet werden kann, z.B. bei der Rohkarosserie **10**. Sofern nicht anders beschrieben, kann der Werkstückstapel **324** die gleichen Merkmale aufweisen wie vorstehend für den Werkstückstapel **24**, **124** oder **224** beschrieben. So kann beispielsweise der Werkstückstapel **324** zwei oder mehr metallische Werkstücke beinhalten, die jeweils aus Aluminium und/oder Stahl geformt sind.

[0049] Der Werkstückstapel **324** weist eine erste Seite **326** und eine zweite Seite **328** auf und beinhaltet mindestens ein erstes Metallwerkstück **330** und ein zweites Metallwerkstück **332**. In diesem Beispiel stellt das erste Metallwerkstück **330** die erste Seite **326** des Stapels **324** und das zweite Metallwerkstück **332** die zweite Seite **328** des Stapels **324** dar. Jede der ersten und zweiten Seiten **326**, **328** ist für eine Punktschweißelektrode **42**, **44** zugänglich, so dass der Werkstückstapel **324** zwischen dem Paar gegenüberliegender Punktschweißelektroden **42**, **44** an einer Schweißstelle **WS** eingespannt werden kann. (Die Punktschweißelektroden **42**, **44** können die gleichen sein wie oben beschrieben). In einigen Implementierungen beinhaltet der Werk-

stückstapel **324** nur die ersten und zweiten metallischen Werkstücke **330**, **332** (ein „2T“ Stapel). In anderen Implementierungen können zusätzliche metallische Werkstücke (nicht dargestellt) angrenzend an eines oder beide der Werkstücke **330**, **332** positioniert werden und die Außenseiten **326**, **328** des Stapels **324** bilden. Wie vorstehend beschrieben, können die Werkstücke **330**, **332** beispielsweise aus unlegiertem Aluminium, einer Aluminiumlegierung oder Stahl gebildet und beschichtet werden.

[0050] Die ersten und zweiten Werkstücke **330**, **332** jeweils mit Passflächen **330'**, **332'**, die durch Widerstandspunktschweißen oder -löten, wie vorstehend beschrieben, miteinander verbunden werden. Jede Passfläche **330'**, **332'** weist an der Schweißstelle **WS** einen Schnittstellenabschnitt **330"**, **332"** auf, wobei die Schnittstellenabschnitte **330"**, **332"** der Passfläche **330'**, **332'** nach dem Schweißvorgang miteinander verbunden sind.

[0051] Die ersten und zweiten Werkstücke **330**, **332** sind mit den Schnittstellenabschnitten **330"**, **332"** der ersten und zweiten Werkstückpassflächen **330'**, **332'** im Abstand von einem vorbestimmten Abstand **G** zueinander angeordnet. Im Beispiel von **Fig. 7A** sind die ersten und zweiten Werkstücke **330**, **332** um den Abstand **G** beabstandet, wobei das Füllmaterial **336** zwischen den ersten und zweiten Werkstücken **336** angeordnet ist. Das Füllmaterial **336** kann den gesamten Raum zwischen den Werkstücken **330**, **332** ausfüllen, oder das Füllmaterial **336** kann in einem Teil des Raums zwischen den Werkstücken **330**, **332** angeordnet sein, während Luft oder ein anderer Abstandshalter oder Unterlegscheibe den Rest des Raums zwischen den Werkstücken **330**, **332** einnehmen kann. Der vorgegebene Zwischenraumabstand **G** kann beispielsweise im Bereich von 0,25 bis 2,5 Millimetern liegen. In einigen Variationen kann **G** im Bereich von 0,25 bis 1,5 mm, 0,5 bis 1,5 mm, 0,8 bis 1,5 mm oder 0,75 bis 1,25 mm liegen. Der vorgegebene Abstand **G** muss nicht über das gesamte offene Raumvolumen zwischen der ersten und zweiten Passfläche **330'**, **332'** konsistent sein. Vielmehr kann der tatsächliche Abstand **G** zwischen der ersten und zweiten Passfläche **330'**, **332'** über das Raumvolumen innerhalb des Luftspaltes **34** variieren, so dass der Abstand **G** beispielsweise 0,5 mm zwischen den Passflächen **330'**, **332'** an einer Stelle und 0,6 mm zwischen den Passflächen **330'**, **332'** an anderer Stelle betragen kann.

[0052] In diesem Beispiel wird der vorgegebene Zwischenraumabstand **G** zwischen den Schnittstellenabschnitten **330"**, **332"** der Passschnittstellen **330'**, **332'** durch das Füllmaterial **336** induziert, das Partikel **345**, wie beispielsweise Kugeln oder Sicken, beinhalten kann. Das Füllmaterial **336** kann ein Klebstoff oder ein Dichtungsmaterial sein, und die Partikel **345** können ein stärkeres Material als das Füllma-

terial **336** sein, wie beispielsweise Fasern oder Metall- oder Polymerkugeln. Das Füllmaterial **336** kann leitfähig oder nicht leitfähig sein. Der Füllstoff **336** und/oder die darin angeordneten Partikel **345** berühren beide Werkstücke **330**, **332** und dienen dazu, die Passflächen **330'**, **332'** voneinander beabstandet zu halten. In einigen Beispielen macht die Vielzahl der Partikel nicht mehr als 10% des Volumens des Füllstoffs aus.

[0053] **Fig. 7B** ist eine Draufsicht, bei der das erste Werkstück **330** entfernt wurde, um das Füllmaterial **336** mit den darin angeordneten Perlpartikeln **345** und das zweite Werkstück **332** darzustellen. Die Sicken **345** können als Abstandshalter fungieren, um den Schnittstellenabschnitt **330"** der Passfläche **330'** von dem Schnittstellenabschnitt **332"** der Passfläche **332'** fernzuhalten, um den vorbestimmten Abstand **G** zwischen den Werkstücken **330**, **332** zu bilden. In einigen Beispielen ist der Durchmesser **J** der Kugeln **345** gleich, etwa gleich oder im Wesentlichen gleich dem vorgegebenen Abstand **G**, so dass die Kugeln **345** die Werkstücke **330**, **332** im vorgegebenen Abstand **G** voneinander halten können. Unter Bereitstellung eines vorbestimmten Abstands **G** zwischen den Werkstücken **330**, **332** bewirkt das Aluminiumwerkstück **330**, dass es sich um die Schweißnaht **64** der Elektrode **42** wickelt und sich dadurch vom benachbarten Werkstück **332** weg erstreckt. Dadurch wird beim Schweißen ein großer Kerbgrundwinkel gebildet, wie beispielsweise der in **Fig. 4** dargestellte Kerbgrundwinkel **A**.

[0054] In einigen Fällen kann jedes der Werkstücke des Stapels **24**, **124**, **224**, **324** mit einem leichten Blechwinkel zwischen dem Stapeln **24**, **124**, **224**, **324** und den benachbarten Elektroden **42**, **44** angeordnet werden, wie beispielsweise ein Blechwinkel größer als 3 Grad aufgrund einer schlechten Anpassung zwischen den Werkstücken des Stapels. Es wurde festgestellt, dass Qualitätsschweißungen immer noch dadurch erreicht werden können, dass der vorgegebene Abstand **D**, **E**, **F**, **G** zwischen den Werkstücken geschaffen wird, auch wenn ein Blechwinkel zwischen schlecht aufeinander abgestimmten Werkstücken besteht.

[0055] Unter Bezugnahme nun auf **Fig. 8** ist ein Verfahren zum Widerstandspunktschweißen eines Werkstückstapels vorgesehen und in einem Blockdiagramm dargestellt, das im Allgemeinen mit **900** bezeichnet wird. Das Verfahren **900** verwendet die bereits oben beschriebenen Prinzipien und Verfahren. Das Verfahren **900** beinhaltet beispielsweise einen Schritt **902** zum Bereitstellen eines ersten metallischen Werkstücks mit einer ersten Werkstückpassfläche, die einen Schnittstellenabschnitt beinhaltet, und einen Schritt **904** zum Bereitstellen eines zweiten metallischen Werkstücks mit einer zweiten Werkstückpassfläche, die einen Schnittstellenab-

schnitt beinhaltet. Das Verfahren **900** beinhaltet ferner einen Schritt **906** zum Anordnen der ersten und zweiten metallischen Werkstücke, wobei die Schnittstellenabschnitte der ersten und zweiten Werkstückpassflächen in einem vorbestimmten Abstand voneinander angeordnet sind. Somit wird ein vorgegebener Spalt- oder Zwischenraumabstand zwischen den Werkstücken induziert, um eine Punktschweißverbindung mit einem großen Kerbwinkel, wie vorstehend beschrieben, zu erzeugen, was zu einer qualitativ hochwertigeren Schweißung führt.

[0056] Das Verfahren **900** beinhaltet auch einen Schritt **908** zum Bereitstellen eines Satzes von gegenüberliegenden Schweißelektroden mit einer ersten Elektrode und einer zweiten Elektrode, wobei die erste Elektrode auf einer Seite des ersten Werkstücks angeordnet ist und die zweite Elektrode auf einer Seite des zweiten Werkstücks angeordnet ist. Das Verfahren **900** beinhaltet dann einen Schritt **910** zum Aufbringen von Druck auf die Werkstücke über die Schweißflächen des Elektrodensatzes und zum Erwärmen der Werkstücke über die Elektroden, um eine Punktschweißverbindung zwischen den Schnittstellenabschnitten der ersten und zweiten Werkstückpassflächen zu bilden. Dementsprechend wird die Qualitätsschweißverbindung gebildet.

[0057] Das Verfahren **900** kann weitere optionale Schritte gemäß der vorstehend genannten Beschreibung beinhalten, wie beispielsweise: Bereitstellen des vorbestimmten Zwischenraumabstandes im Bereich von 0,25 bis 2,5 Millimeter; Bilden der Werkstücke aus Aluminium und/oder Stahl (oder einer Aluminiumlegierung); Beabstanden der Passschnittstellen der Werkstücke über einen Luftspalt; Anordnen von Unterlegmaterial zwischen den ersten und zweiten Werkstücken, um das erste und zweite Werkstück voneinander zu trennen; Bereitstellen eines Ausschnitts im Unterlegmaterial, um den Luftspalt zwischen den ersten und zweiten Fayingoberflächen bereitzustellen; wobei der Ausschnitt so vorgesehen ist, dass er größer als eine Elektrodenfläche des Elektrodensatzes ist; Bereitstellen des Unterlegmaterials als Polymermaterial, mindestens einen Draht, mindestens eine Stange und/oder eine Vielzahl von Sicken; Bereitstellen des zweiten Werkstücks mit einem erhöhten Abschnitt, der das erste Werkstück kontaktiert; Bereitstellen des zweiten Werkstücks mit einem Talbodenabschnitt, der an dem Schnittstellenabschnitt der zweiten Werkstückpassfläche angeordnet ist, wobei der Talbodenabschnitt vom ersten Werkstück weg angeordnet ist, so dass der Luftspalt zwischen dem Talboden und dem ersten Werkstück angeordnet ist; Bereitstellen des zweiten Werkstücks mit einem umgeklappten Abschnitt, der das erste Werkstück kontaktiert, und einem Spaltunterteil, der weg vom ersten Werkstück angeordnet ist, so dass der Luftspalt zwischen dem Spaltunterteil und dem ersten Werkstück angeordnet ist; Anordnen ei-

nes Füllmaterials zwischen dem ersten und zweiten Werkstück, um den vorbestimmten Abstand dazwischen zu schaffen; wobei das Füllmaterial eine Vielzahl von Partikeln umfasst, die innerhalb des Füllmaterials angeordnet sind, wobei jedes Partikel angepasst ist, um die Schnittstellenabschnitte der ersten und zweiten Passflächen voneinander zu trennen; Bereitstellen des Füllmaterials als mindestens eines aus einem Klebematerial und einem Dichtungsmaterial; Bereitstellen jedes Partikels mit einer Höhe, die etwa gleich dem vorbestimmten Zwischenraumabstand ist; Bereitstellen des ersten Werkstücks und der ersten Elektrode mit einem Blechwinkel dazwischen; wobei der Blechwinkel mindestens drei Grad beträgt; wobei der Schritt des Erwärmens der Werkstücke durch Leiten von elektrischem Strom zwischen den Werkstücken über die Elektroden erreicht wird; und der Schweißschritt, der dazu führt, dass die Punktschweißverbindung einen Kerbgrundwinkel zwischen dem ersten und zweiten Werkstück aufweist, wobei der Kerbgrundwinkel mindestens 30 Grad beträgt.

[0058] Die detaillierte Beschreibung und die Zeichnungen oder Abbildungen unterstützen und beschreiben die vielen Aspekte der vorliegenden Offenbarung. Die hierin beschriebenen Elemente können zwischen den verschiedenen Beispielen kombiniert oder ausgetauscht werden. Sofern nicht anders beschrieben, können beispielsweise die in Bezug auf die **Fig. 1-7B** beschriebenen Details auf das in **Fig. 8** schematisch dargestellte Verfahren angewendet werden. Während bestimmte Aspekte ausführlich beschrieben wurden, gibt es verschiedene alternative Aspekte für die Ausübung der Erfindung, wie sie in den beigefügten Ansprüchen definiert sind.

[0059] Die vorliegende Offenbarung ist nur exemplarisch, und die Erfindung wird ausschließlich durch die beigefügten Ansprüche definiert.

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 9987705 [0015]
- US 2017/0304928 [0026]
- US 2017/0106466 [0034]

Patentansprüche

. Beansprucht wird:

1. Ein Verfahren zum Widerstandspunktschweißen eines Werkstückstapels, wobei das Verfahren umfasst:

Bereitstellen eines ersten metallischen Werkstücks mit einer ersten Werkstückpassfläche, die einen Schnittstellenabschnitt beinhaltet;

Bereitstellen eines zweiten metallischen Werkstücks mit einer zweiten Werkstückpassfläche, die einen Schnittstellenabschnitt beinhaltet;

Anordnen der ersten und zweiten metallischen Werkstücke mit den Schnittstellenabschnitten der ersten und zweiten Werkstückpassflächen, in einem vorbestimmten Abstand voneinander, wobei der vorbestimmte Abstand im Bereich von 0,25 bis 2,5 Millimetern liegt;

Bereitstellen eines Satzes von gegenüberliegenden Schweißelektroden mit einer ersten Elektrode und einer zweiten Elektrode, wobei die erste Elektrode auf einer Seite des ersten Werkstücks angeordnet ist und die zweite Elektrode auf einer Seite des zweiten Werkstücks angeordnet ist;

Aufbringen von Druck auf die Werkstücke über die Schweißflächen des Elektrodensatzes und Erwärmen der Werkstücke über die Elektroden, um eine Punktschweißverbindung zwischen den Schnittstellenabschnitten der ersten und zweiten Werkstückpassfläche zu bilden.

2. Das Verfahren nach Anspruch 1, wobei das zweite Werkstück aus einem von einer Stahllegierung, Aluminium und einer Aluminiumlegierung gebildet ist; und das erste Werkstück aus einem von Aluminium und einer Aluminiumlegierung gebildet ist, wobei die Schnittstellenabschnitte der ersten Werkstückpassfläche und der zweiten Werkstückpassfläche über einen Luftspalt voneinander beabstandet sind.

3. Das Verfahren nach Anspruch 2, ferner umfassend das Anordnen von Unterlegmaterial zwischen dem ersten und zweiten Werkstück, um das erste und zweite Werkstück voneinander zu beabstanden.

4. Das Verfahren nach Anspruch 3, ferner umfassend:

Bereitstellen eines Ausschnitts in dem Unterlegmaterial, um den Luftspalt zwischen der ersten und zweiten Passschnittstelle bereitzustellen, wobei der Ausschnitt als größer als eine Schweißfläche jeder Elektrode vorgesehen ist; und

Bereitstellen des Unterlegmaterials als mindestens eines der folgenden: ein Polymermaterial, ein Glasmaterial, ein Keramikmaterial, mindestens einen Draht, mindestens eine Stange und eine Vielzahl von Sicken.

5. Das Verfahren nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, ferner umfassend das Bereitstellen des zweiten Werkstücks mit einem erhöhten Abschnitt, der das erste Werkstück kontaktiert, und das Bereitstellen des zweiten Werkstücks mit einem Talbodenabschnitt, der am Schnittstellenabschnitt der zweiten Werkstückpassfläche angeordnet ist, wobei der Talbodenabschnitt weg vom ersten Werkstück angeordnet ist, so dass der Luftspalt zwischen dem Talbodenabschnitt und dem ersten Werkstück angeordnet ist.

6. Das Verfahren nach Anspruch 1, Anspruch 2 oder Anspruch 5, ferner umfassend das Bereitstellen des zweiten Werkstücks mit einem umgeklappten Abschnitt, der das erste Werkstück kontaktiert, und einem Spaltunterabschnitt, der vom ersten Werkstück weg angeordnet ist, so dass der Luftspalt zwischen dem Spaltunterabschnitt und dem ersten Werkstück angeordnet ist.

7. Das Verfahren nach Anspruch 1, ferner umfassend das Anordnen eines Füllmaterials zwischen den ersten und zweiten Werkstücken, um den vorbestimmten Abstand dazwischen zu erzeugen, wobei das Füllmaterial eine Vielzahl von Partikeln umfasst, die innerhalb des Füllmaterials angeordnet sind, wobei die Vielzahl von Partikeln so angepasst ist, dass sie die Schnittstellenabschnitte der ersten und zweiten Passfläche voneinander trennen, wobei die Vielzahl von Partikeln nicht mehr als 10% eines Volumens des Füllmaterials beträgt.

8. Das Verfahren nach Anspruch 7, ferner umfassend:

Bereitstellen des Füllmaterials als mindestens eines aus einem Haftmaterial und einem Dichtungsmaterial; und

Bereitstellen jedes Partikels mit einer Höhe, die etwa gleich dem vorbestimmten Zwischenraumabstand ist.

9. Eine punktgeschweißte Werkstückanordnung, umfassend:

ein metallisches erstes Werkstück;

ein metallisches zweites Werkstück, das mit dem ersten Werkstück durch eine Punktschweißverbindung punktgeschweißt ist, wobei das erste und zweite Werkstück einen Kerbgrundwinkel dazwischen an einer Kante der Punktschweißverbindung aufweisen, wobei der Kerbgrundwinkel mindestens 25 Grad beträgt; und

ein Spaltinduzierungselement, das zwischen dem ersten und zweiten Werkstück angeordnet und konfiguriert ist, um die Passflächen des ersten und zweiten Werkstücks um einen vorbestimmten Abstand voneinander zu beabstanden, bevor das erste und zweite Werkstück miteinander punktverschweißt werden.

10. Die punktgeschweißte Werkstückanordnung nach Anspruch 9, wobei das erste Werkstück aus ei-

nem von Aluminium und einer Aluminiumlegierung und das zweite Werkstück aus einem der folgenden Werkstoffe gebildet ist: Aluminium, einer Aluminiumlegierung und einer Stahllegierung, wobei das spaltbildende Element mindestens eines der folgenden umfasst:

eine Unterlegscheibe mit Abschnitten, die einen Durchbruch durch die Unterlegscheibe bilden, wobei sich die Punktschweißverbindung durch den Durchbruch erstreckt;

einen erhöhten Abschnitt, der in einem der ersten und zweiten Werkstücke ausgebildet ist,

einen umgeklappten Abschnitt eines der ersten und zweiten Werkstücke; und

ein Füllmaterial mit einer Vielzahl von spaltinduzierenden Partikeln, die darin angeordnet sind.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

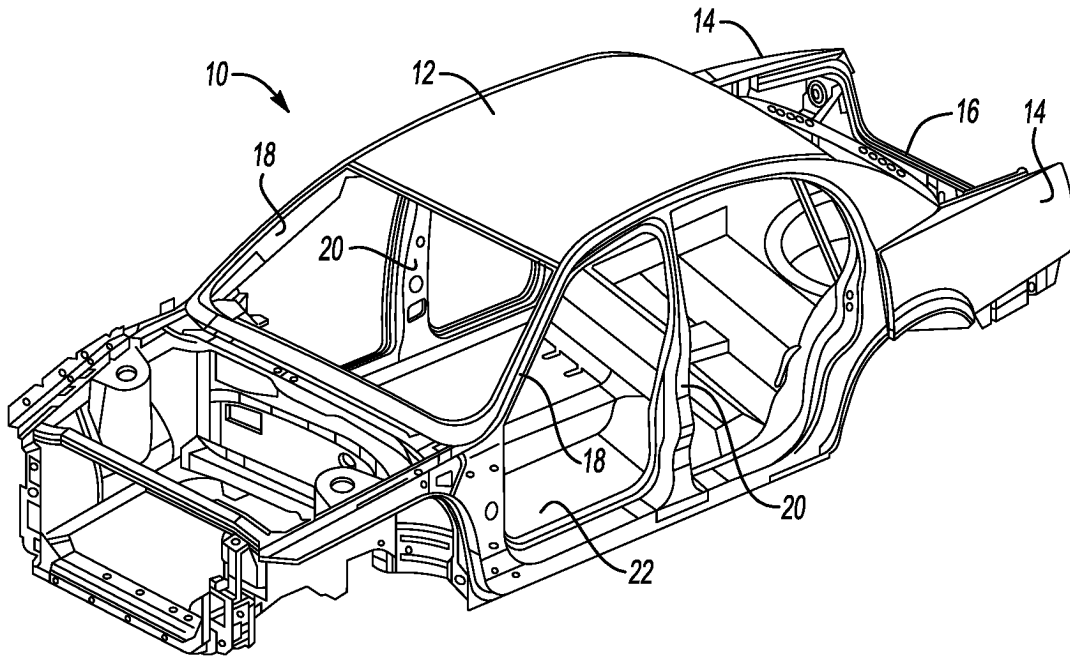


Fig-1

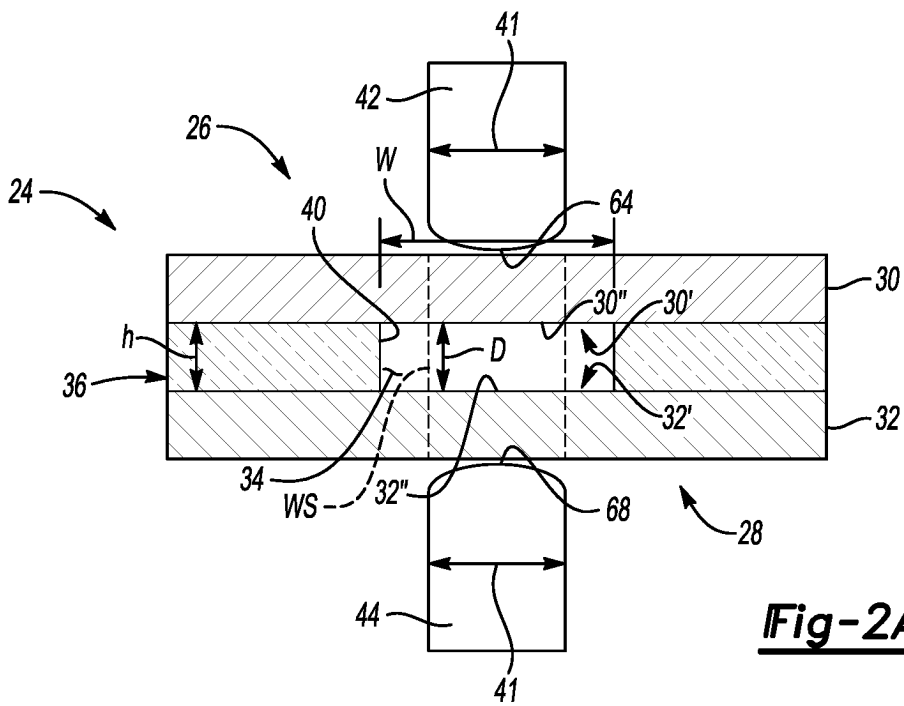


Fig-2A

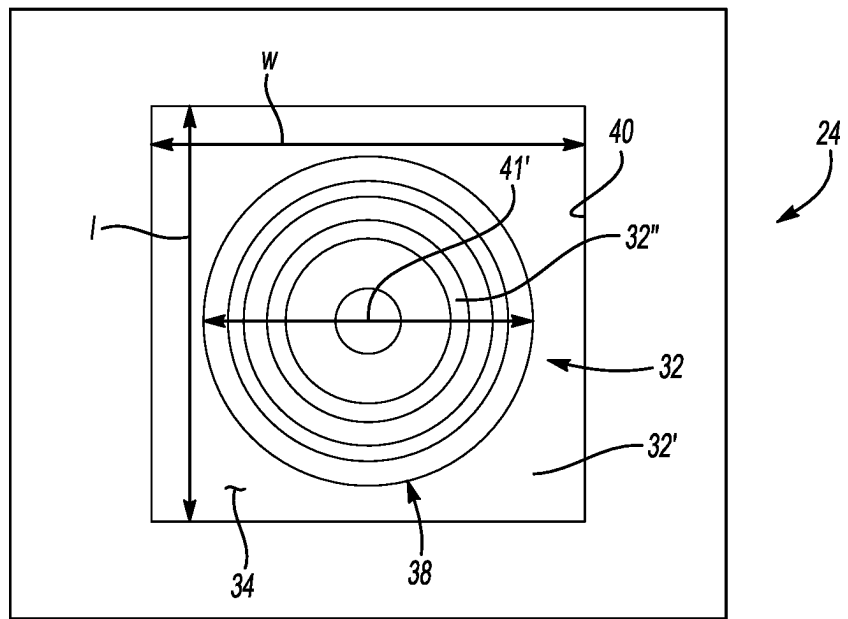


Fig-2B

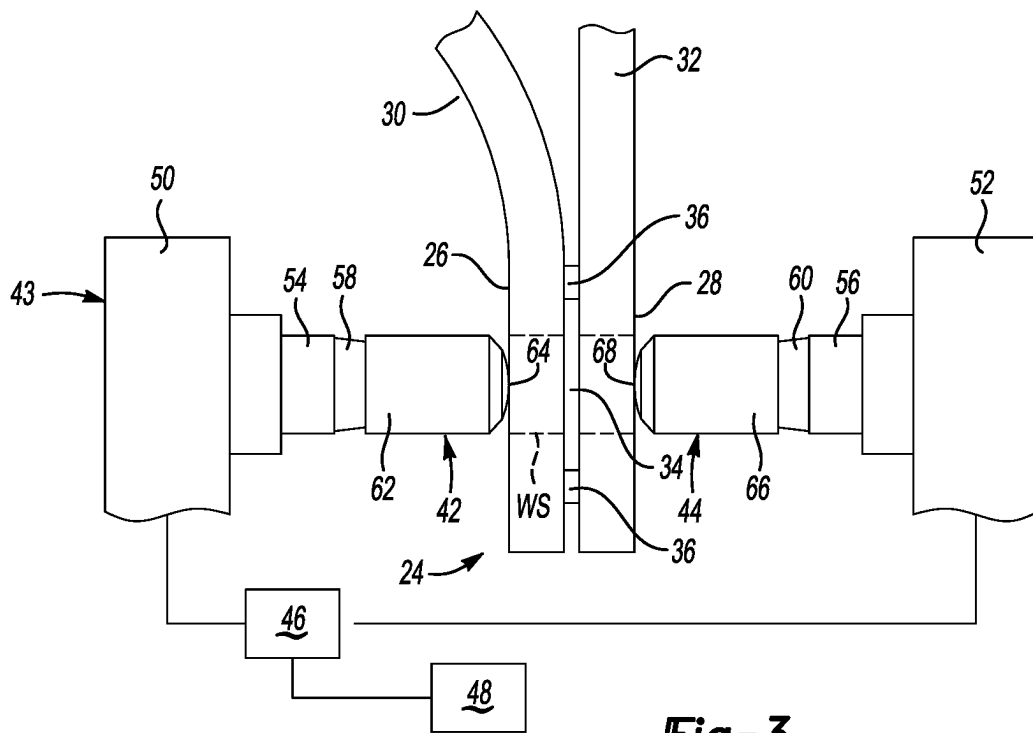
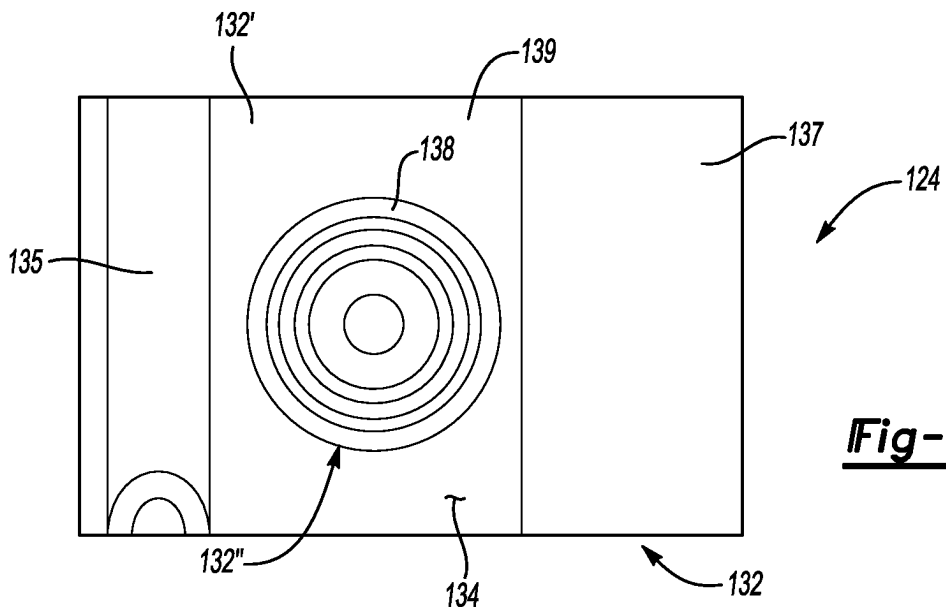
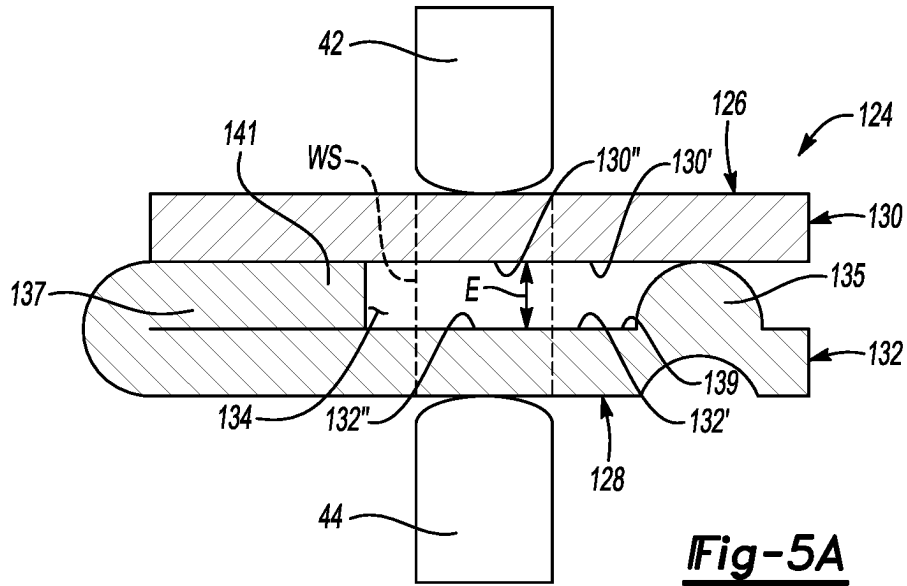
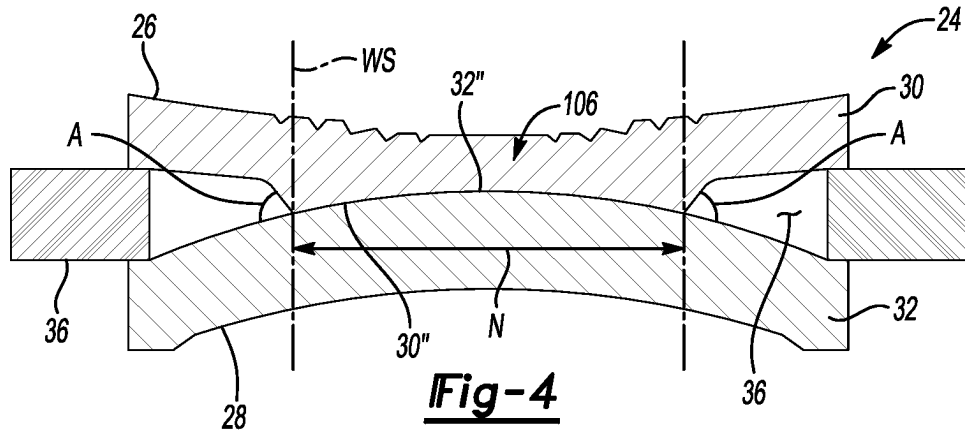


Fig-3



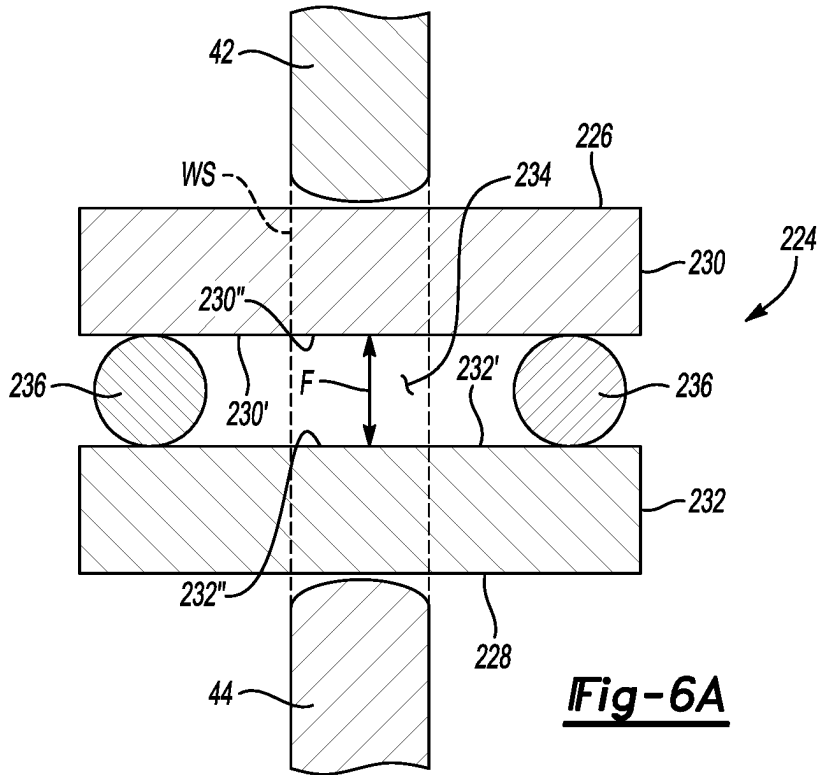


Fig-6A

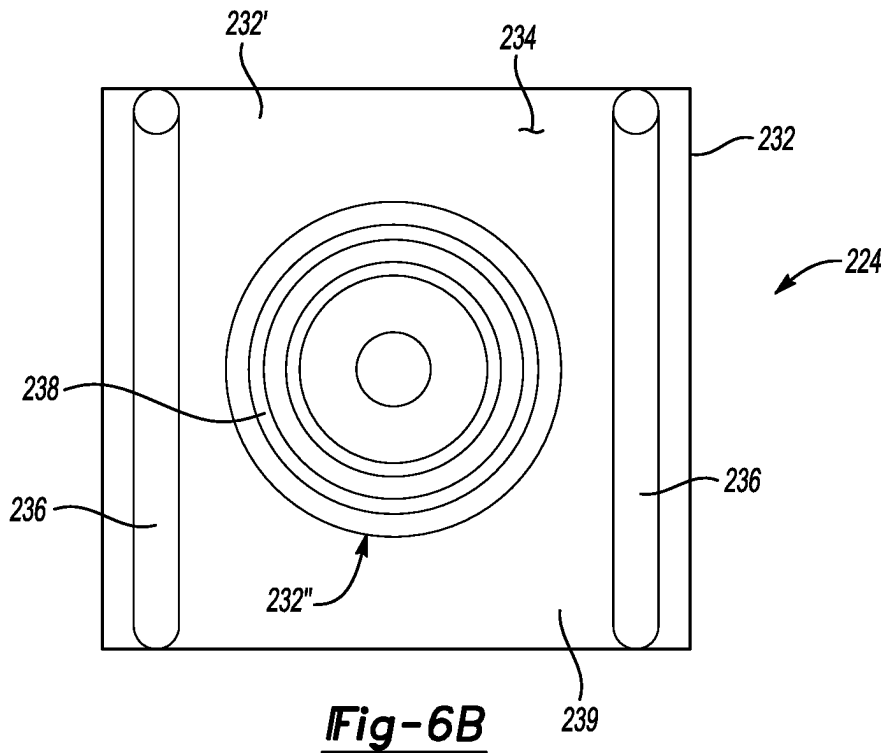


Fig-6B

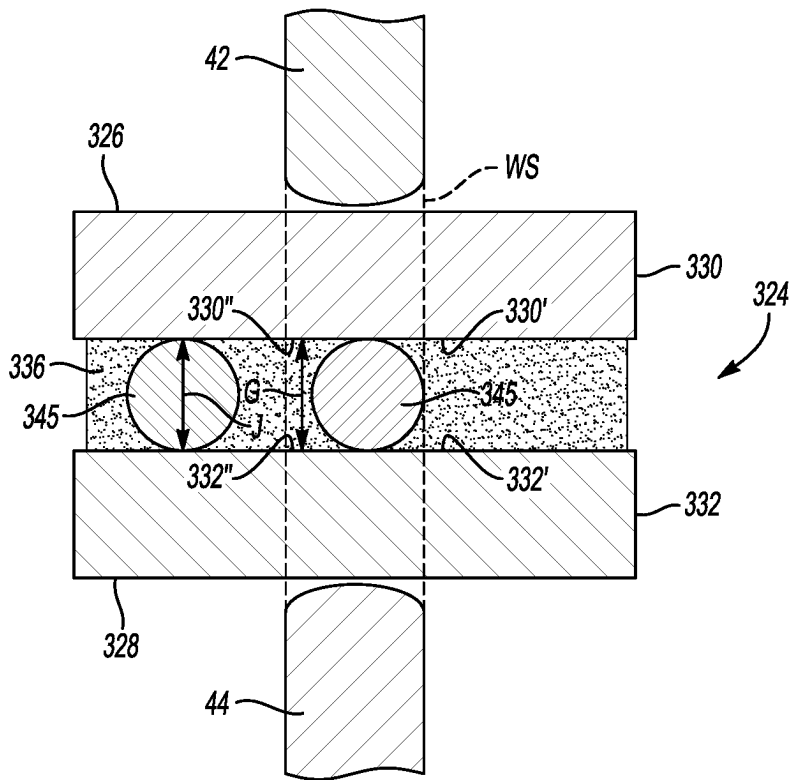


Fig-7A

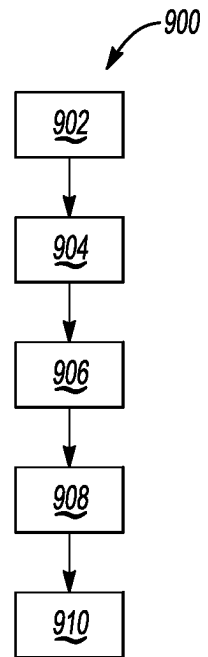


Fig-8

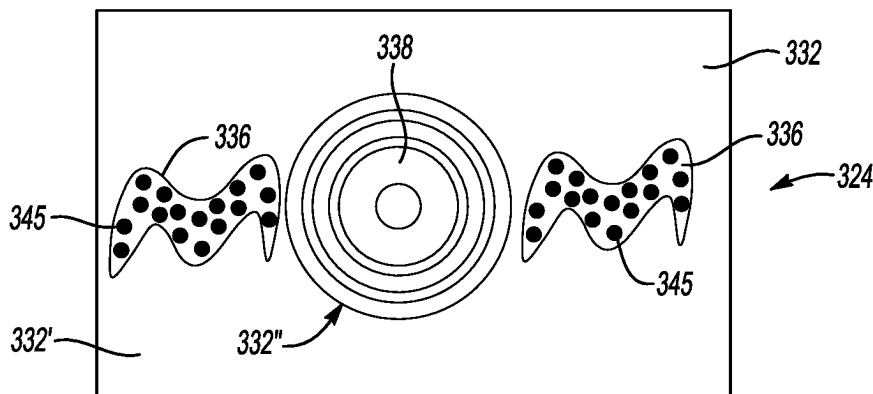


Fig-7B