Schunk Sonosystems GmbH
Hauptstrasse 95, 35435 Wettenberg, Deutschland

VERFAHREN ZUM ELEKTRISCHEN VERBINDEN EINES METALLELEMENTS MIT EINER MEHRSCHICHTIGEN VERBUNDLEITERPLATTE MITTELS ULTRASCHALLSCHWEISSEN

GEBIET DER ERFINDUNG

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum elektrischen Verbinden einer mehrschichtigen Verbundleiterplatte mit einem Metallelement mittels Ultraschallschweißen.

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

Für verschiedene Anwendungen kann es erforderlich sein, eine mehrschichtige Verbundleiterplatte mit einem Metallelement elektrisch zu verbinden. Die mehrschichtige Verbundleiterplatte, welche teilweise auch als PCB (printed circuit board) bezeichnet wird, umfasst hierbei regelmäßig einen Schichtenstapel, bei dem mehrere dünne Metallschichten durch zwischen diesen angeordnete dünne Isolatorschichten voneinander beabstandet und elektrisch voneinander isoliert sind. Die Metallschichten können dabei in Form einer oder mehrerer elektrischer Leiterbahnen strukturiert ausgestaltet sein. Dabei ermöglichen mehrschichtige Verbundleiterplatten unter anderem, ein oder mehrere elektrische Bauelemente mechanisch zu tragen und diese dabei mithilfe ihrer Metallschichten bzw. Leiterbahnen elektrisch mit anderen elektrischen Bauelementen zu

verbinden. Hierzu wird jeweils ein Metallelement beispielsweise in Form eines Drahtes, Bandes, Plättchens oder ähnlichem lokal an eine außenliegende Metallschicht der Verbundleiterplatte angelegt und dann mechanisch und elektrisch mit dieser verbunden.

Um eine Metallschicht bzw. eine damit gebildete Leiterbahn der Verbundleiterplatte elektrisch mit einem Metallelement zu verbinden, wurden bisher meist Löttechniken eingesetzt, bei denen ein schmelzfähiges Lotmaterial temporär lokal aufgeschmolzen wird, um damit beide Fügepartner zu kontaktieren und nach dem Erstarren des Lotmaterials sowohl elektrisch als auch mechanisch miteinander zu verbinden.

Zum Anbinden insbesondere sehr feiner Drähte an Metallpads einer Verbundleiterplatte sind ferner sogenannte Bondtechniken bekannt, bei denen ein Ende des feinen Drahtes mithilfe eines Werkzeugs gegriffen und an das Metallpad angelegt wird und dann mittels des Werkzeugs hochfrequente Ultraschallschwingungen eingekoppelt werden, um das Drahtende an das Metallpad anzubonden.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG UND VORTEILHAFTER AUSFÜHRUNGSFORMEN

Es kann ein Bedarf an einem alternativen Verfahren zum elektrischen Verbinden einer mehrschichtigen Verbundleiterplatte mit einem Metallelement bestehen. Insbesondere kann ein Bedarf an einem Verfahren bestehen, um ein Metallelement schnell, qualitativ hochwertig, zuverlässig und/oder langfristig stabil an eine Metallschicht einer mehrschichtigen Verbundleiterplatte anbinden zu können. Ferner kann ein Bedarf an einem Verfahren bestehen, mithilfe dessen die mehrschichtige Verbundleiterplatte mit wenig Prozessierungsaufwand, geringen Kosten, geringem Materialaufwand und/oder einer verhältnismäßig einfach aufgebauten Apparatur mit einem Metallelement verbunden werden kann.

Einem solchen Bedarf kann mit dem Verfahren gemäß dem unabhängigen Anspruch entsprochen werden. Vorteilhafte Ausführungsformen sind in den abhängigen Ansprüchen sowie der nachfolgenden Beschreibung definiert bzw. in den begleitenden Figuren dargestellt.

Gemäß einem Aspekt der Erfindung wird ein Verfahren zum elektrischen Verbinden eines Metallelements mit einer mehrschichtigen Verbundleiterplatte mittels Ultraschallschweißen beschrieben. Die Verbundleiterplatte weist in einem Verbindungsbereich eine erste Metallschicht, zumindest eine die erste Metallschicht stützende Isolatorschicht und zumindest eine zweite Metallschicht, welche durch die Isolatorschicht von der ersten Metallschicht beabstandet ist, auf. Das Verfahren umfasst zumindest die folgenden Verfahrensschritte, vorzugsweise in der angegebenen Reihenfolge: (i) Anordnen des Metallelements angrenzend an die erste Metallschicht der Verbundleiterplatte; (ii) Anlegen einer Ultraschallsonotrode mit einer Sonotrodenoberfläche an eine der Verbundleiterplatte entgegengesetzte Oberfläche des Metallelements; und (iii) Bewirken von Ultraschallschwingungen an der Sonotrodenoberfläche. Die Ultraschallschwingungen werden dabei mit einer Frequenz von weniger als 55 kHz, einer Leistung von mehr als 400 W und über eine Kontaktfläche zwischen der Sonotrodenoberfläche und dem Metallelement von wenigstens 2 mm^2 bewirkt.

Einleitend soll eine Grundidee zu Ausführungsformen der hierin beschriebenen Erfindung kurz erläutert werden, wobei diese Erläuterung als lediglich grob zusammenfassend und die Erfindung nicht einschränkend auszulegen ist:

Wie einleitend bereits angegeben, wurden bisher Metallelemente mit einer Metallschicht einer mehrschichtigen Verbundleiterplatte typischerweise mithilfe von Löttechniken oder im Falle sehr dünner Drähte mit speziellen Bondtechniken verbunden. Allerdings wurde bisher davon ausgegangen, dass mehrschichtige Verbundleiterplatten aufgrund ihrer strukturellen Eigenschaften, wie insbesondere der Tatsache, dass viele sehr dünne Metall- und Isolatorschichten darin aneinandergrenzen und miteinander mechanisch verbunden sind, mechanisch empfindlich sind und daher beim Anbinden von Metallelementen an die Verbundleiterplatte keine übermäßigen

Kräfte auf die Verbundleiterplatte ausgeübt werden sollten, da deren Integrität ansonsten geschädigt werden könnte.

Dieses lange gehegte Vorurteil überwindend wurde nun erkannt, dass eine mehrschichtige Verbundleiterplatte mit einer ihrer Metallschichten mit einem Metallelement unter Verwendung von Ultraschallschweißtechniken verschweißt werden kann, sofern hierbei bestimmte Bedingungen geschaffen bzw. bestimmte Prozessparameter eingehalten werden.

Insbesondere wurde erkannt, dass für den Fall, dass die zum Ultraschallschweißen eingesetzten Ultraschallschwingungen mit einer ausreichend niedrigen Frequenz und gleichzeitig ausreichend hoher Leistung sowie über eine ausreichend große Kontaktfläche hinweg bewirkt und auf das anzubindende Metallelement übertragen werden, zuverlässige Schweißverbindungen hoher Qualität zwischen dem Metallelement und der außenliegenden Metallschicht der Verbundleiterplatte erzeugt werden können und dabei Schädigungen der Verbundleiterplatte vermieden werden können.

Nachfolgend werden mögliche Ausgestaltungen und Vorteile von Ausführungsformen des hierin vorgestellten Ultraschallschweißverfahrens in genaueren Einzelheiten beschrieben.

Ultraschallschweißen wurde dazu entwickelt, um Schweißgut in Form wenigstens zweier Fügepartner mechanisch belastbar miteinander zu verbinden. Sofern die Fügepartner aus elektrisch leitfähigem Material, insbesondere Metall, bestehen, soll dabei zwischen den Fügepartnern im Allgemeinen auch eine elektrisch gut leitfähige Verbindung geschaffen werden.

Konventionell werden die Fügepartner in einen Schweißraum innerhalb einer Ultraschallschweißeinrichtung aufgenommen. Der Schweißraum wird dabei an einer Seite von einer Oberfläche eines Amboss und an einer entgegengesetzten Seite von einer Oberfläche einer Sonotrode begrenzt. Während eines

Ultraschallschweißvorgangs werden die Fügepartner zwischen dem Amboss und der Sonotrode eingeklemmt und die Sonotrode in Ultraschallschwingungen versetzt. Die Ultraschallschwingungen werden über die Sonotrodenoberfläche auf zumindest einen der Fügepartner übertragen und führen an einer Grenzfläche zwischen den Fügepartnern dazu, dass die Fügepartner eine stoffschlüssige Verbindung miteinander eingehen. Dabei wird im Allgemeinen Material der Fügepartner nicht über einen jeweiligen Schmelzpunkt erwärmt. Stattdessen entwickelt sich die stoffschlüssige Verbindung beispielsweise aufgrund von Diffusionsprozessen zwischen den Fügepartnern.

Um zwei verhältnismäßig massive metallische Fügepartner wie beispielsweise zwei Drähte oder einen Draht und ein Metallplättchen miteinander mittels Ultraschall zu verschweißen und dabei sowohl eine mechanische als auch eine elektrische Verbindung zwischen den Fügepartnern zu erzeugen, ist es regelmäßig notwendig, relativ starke Kräfte auf die Fügepartner auszuüben und relativ hohe Ultraschallleistungen an der Sonotrode bereitzustellen und über die Sonotrodenoberfläche in zumindest einen der Fügepartner einzukoppeln. Hierzu wird im Allgemeinen die Sonotrode mit ihrer Sonotrodenoberfläche direkt an eine Oberfläche eines der metallischen Fügepartner angelegt und mit einem ausreichenden Druck gegen den Fügepartner gepresst.

Es war bisher davon ausgegangen worden, dass sich Ultraschallschweißtechniken aufgrund von mechanischen Belastungen, wie sie während eines Ultraschallschweißvorgangs vermeintlich zwangsläufig auf die Fügepartner ausgeübt werden, nicht zum Anschweißen von größeren Metallelementen an mehrschichtige Verbundleiterplatten eignen. Dem lag die Vorstellung zugrunde, dass Verbundleiterplatten aufgrund ihrer mehrschichtigen Struktur mechanisch empfindlich sind und den beim Ultraschallschweißen auf sie wirkenden mechanischen Belastungen nicht schädigungsfrei standhalten können. Dies schien sich auch im Rahmen von Experimenten zu bestätigen, bei denen beim Versuch, Metalldrähte oder Metallplättchen an Anschlusspads einer Verbundleiterplatte mittels Ultraschallschweißen anzubinden, wiederholt Teilbereiche des Anschlusspads von der Verbundleiterplatte abgelöst wurden oder es sogar zu

Delaminationen zwischen den Schichten der Verbundleiterplatte kam. Daher war bisher angenommen worden, dass Ultraschall-basierte Techniken nicht zum Anschweißen größerer Metallelemente an eine Verbundleiterplatte einsetzbar sind, sondern allenfalls beispielsweise zum Anbonden sehr feiner Drähte.

Es wurde nun jedoch überraschender Weise erkannt, dass selbst empfindliche mehrschichtige Verbundleiterplatten mit verhältnismäßig großen Fügepartnern in Form von Metallelementen mittels Ultraschallschweißen verbunden werden können, sofern hierbei geeignete Bedingungen geschaffen und Prozessparameter eingehalten werden, wie dies weiter unten im Detail erläutert wird.

Nachfolgend werden einleitend zunächst Eigenschaften der Fügepartner beschrieben, wie sie mittels des hierin beschriebenen Verfahrens miteinander verschweißt werden sollen.

Die Verbundleiterplatte weist eine im Wesentlichen zweidimensionale, plattenartige bzw. scheibenartige Geometrie auf. Sie kann dabei eine Länge und eine Breite von typischerweise mehreren Zentimetern, beispielsweise zwischen 1 cm und 100 cm, vorzugsweise zwischen 2 cm und 20 cm, aufweisen. Eine Dicke ist typischerweise deutlich geringer und kann beispielsweise weniger als 15 mm, typischerweise zwischen 0,5 mm und 10 mm, meist zwischen 1 mm und 5 mm, betragen.

Die Verbundleiterplatte ist dabei aus mehreren Schichten zusammengesetzt, die übereinandergestapelt sind und miteinander mechanisch verbunden sind. Die Verbundleiterplatte kann aus mindestens drei, vorzugsweise mindestens fünf, mindestens sieben, mindestens 10 oder sogar mindestens 20, typischerweise aber weniger als 100 oder weniger als 50 Schichten zusammengesetzt sein.

Insbesondere können die Schichten miteinander verklebt, laminiert oder in anderer Weise aneinander haftend verbunden sein. Insbesondere können die Schichten stoffschlüssig miteinander verbunden sein. Einander benachbarte Schichten können hierbei aus unterschiedlichen Materialien bestehen.

Beispielsweise kann eine Schicht aus Metall an eine Schicht aus einem Isolator angrenzen.

Zumindest eine der Schichten, mehrere der Schichten oder alle der Schichten können eine Schichtdicke von mindestens 5 µm, wenigstens 10 µm, wenigstens 20 µm oder wenigstens 50 µm, vorzugsweise jedoch weniger als 700 µm, weniger als 500 µm, weniger als 300 µm, weniger als 200 µm oder weniger als 100 µm aufweisen. Eine Schichtdicke kann dabei homogen, d.h. entlang der gesamten Schicht gleich, sein oder lokal innerhalb der genannten Schichtdickengrenzen variieren.

Die Verbundleiterplatte verfügt über mindestens zwei Metallschichten, vorzugsweise mindestens drei, vier, fünf, sechs oder mehr Metallschichten. Die Metallschichten können sich dabei entlang der gesamten Fläche der Verbundleiterplatte erstrecken. Alternativ können sich die Metallschichten lediglich entlang von Teilbereichen der Verbundleiterplatte erstrecken und hierbei beispielsweise Leiterbahnen, Kontaktpads oder ähnliche Strukturen ausbilden.

Eine erste Metallschicht kann dabei am weitesten außen liegend in der Verbundleiterplatte angeordnet sein. Weitere Metallschichten können weiter im Inneren der Verbundleiterplatte verlaufen und beidseitig von anderen Schichten umgeben sein. Eventuell kann bei einer Verbundleiterplatte mit mehreren Metallschichten auch eine der weiter innenliegenden Metallschichten als erste Metallschicht dienen, sofern diese in einem Teilbereich beispielsweise durch eine Tiefenfräsung oder ähnliches lokal freigelegt wurde und somit in dem Teilbereich als am weitesten außen liegende Metallschicht wirkt.

Die erste Metallschicht kann somit von außen her mechanisch und elektrisch kontaktiert werden. Die erste Metallschicht kann insbesondere eine nach außen hin freiliegende Oberfläche aufweisen, welche als Verbindungsbereich für die Verbundleiterplatte dienen kann. Die freiliegende Oberfläche kann sich entlang der gesamten nach außen gerichteten Oberfläche der ersten Metallschicht erstrecken oder alternativ lediglich in Teilbereichen der ersten Metallschicht

vorgesehen sein, beispielsweise als lokal kontaktierbare Kontaktpads. Die freiliegende Oberfläche kann frei von einer sie überdeckenden anderen Schicht sein.

Alternativ kann die erste Metallschicht von einer sehr dünnen Schutzschicht überdeckt sein, die beim Kontaktieren der ersten Metallschicht problemlos durchdrungen werden kann, um einen elektrischen Kontakt zu der ersten Metallschicht herzustellen. Die Schutzschicht kann beispielsweise die erste Metallschicht vor Umwelteinflüssen, insbesondere vor Korrosion schützen. Die Schutzschicht kann beispielsweise eine sehr geringe Dicke von weniger als 10 µm, weniger als 2 µm oder sogar weniger als 0,2 µm aufweisen.

Die erste sowie weitere der Metallschichten können dabei aus Kupfer, Aluminium, Nickel, Silber, Gold und/oder Palladium oder einer Mischung oder Legierung derselben teilweise oder vollständig bestehen. Beispielsweise kann die erste Metallschicht aus Kupfer oder Aluminium als elektrisch sehr gut leitfähigen Materialien bestehen. Gegebenenfalls kann die erste Metallschicht mit einer dünnen Schutzschicht aus Gold, Palladium oder ähnlich wirkenden Materialien oder aus einer Materialkombination wie ENIG (Electroless Nickel Immersion Gold) oder ENEPIG (Electroless Nickel Electroless Palladium Immersion Gold) bedeckt sein.

Die Verbundleiterplatte verfügt ferner über mindestens eine, vorzugsweise mehrere Isolatorschichten. Insbesondere kann jeweils zwischen zwei entlang der Dickenrichtung der Verbundleiterplatte benachbarten Metallschichten mindestens eine Isolatorschicht zwischengelagert sein, um die beiden Metallschichten voneinander zu beabstanden, voneinander elektrisch zu isolieren und miteinander mechanisch zu verbinden. Die Isolatorschichten können eine gleiche, ähnliche, größere oder kleinere Schichtdicke aufweisen wie die Metallschichten. Eine Schichtdicke einer Isolatorschicht kann dabei anwendungsspezifisch derart gewählt sein, dass eine zuverlässige elektrische Isolation zwischen den angrenzenden Metallschichten gewährleistet ist. Beispielsweise kann die Schichtdicke der Isolatorschichten zwischen 20 µm und 3 mm liegen und in

vielen Fällen größer als 40 µm, größer als 80 µm oder größer als 150 µm, jedoch meist kleiner als 2 mm, kleiner als 1 mm oder kleiner als 0,5 mm sein.

Die Isolatorschichten der Verbundleiterplatte können alle aus einem gleichen Material bestehen. Alternativ können die Isolatorschichten mit unterschiedlichen Materialien ausgebildet sein. Als Materialien eignen sich verschiedene elektrisch isolierende Materialien. Insbesondere kann eine Isolatorschicht aus einem Polymermaterial bestehen. Beispielsweise kann eine Isolatorschicht aus Epoxid, Polyimid oder ähnlichen Materialien bestehen. Vorzugsweise steht die Isolatorschicht aus einem nicht-keramischen Material. Die Isolatorschicht kann selbst auch als Materialverbund ausgebildet sein. Beispielsweise kann die Isolatorschicht als prepreg-Schicht gefertigt sein. Die Isolatorschicht kann somit als elektrisch nicht-leitendes Trägermaterial dienen, auf das dann einseitig oder beidseitig Metallschichten beispielsweise als Kupferfolien auflaminiert sein können.

Außerdem kann die Isolatorschicht faserverstärkt sein, beispielsweise um ihre mechanische Festigkeit zu erhöhen. Hierzu kann beispielsweise in ein als Matrix dienendes Polymermaterial eine Vielzahl von Fasern, beispielsweise Glasfasern, Kohlefasern, Kevlarfasern oder Ähnliches, eingelagert sein.

Insbesondere kann die Isolatorschicht aus einem Dielektrikum bestehen. Es gibt eine ganze Reihe verschiedener Dielektrika, die je nach den Anforderungen einer Schaltungsanwendung unterschiedliche Isolationswerte bieten. Einige dieser Dielektrika sind Polytetrafluorethylen (Teflon), FR-4, FR-1, CEM-1 oder CEM-3. Bekannte Pre-Preg-Materialien, die in der Leiterplattenindustrie verwendet werden, sind FR-2 (Phenol-Baumwollpapier), FR-3 (Baumwollpapier und Epoxid), FR-4 (Glasgewebe und Epoxid), FR-5 (Glasgewebe und Epoxid), FR-6 (mattes Glas und Polyester), G-10 (gewebtes Glas und Epoxy), CEM-1 (Baumwollpapier und Epoxy), CEM-2 (Baumwollpapier und Epoxy), CEM-3 (Glasvlies und Epoxy), CEM-4 (gewebtes Glas und Epoxy), CEM-5 (gewebtes Glas und Polyester). Die thermische Ausdehnung ist vor allem bei Ball Grid

Array (BGA) und Naked Die-Technologien ein wichtiger Aspekt, und Glasfaser bietet die beste Dimensionsstabilität.

Durch eine oder mehrere der Isolatorschichten hindurch können sich elektrisch leitfähige Verbindungsbereiche in Form sogenannter Vias erstrecken. Solche Vias können beispielsweise Leiterbahnbereiche einer der Metallschichten mit Leiterbahn Bereichen einer benachbarten Metallschicht verbinden. Die Vias können verhältnismäßig kleine laterale Abmessungen aufweisen, beispielsweise einen Durchmesser bzw. eine Breite von weniger als 5 mm, oft weniger als 2 mm, weniger als 1 mm oder weniger als 0,5 mm. Die Vias können eine mechanische Empfindlichkeit der Verbundleiterplatte weiter erhöhen. Auch eine Empfindlichkeit auf Temperaturschwankungen kann durch Vias erhöht sein, da sie beispielsweise bei ungünstigen Bedingungen eine Wärmeausdehnung behindern können.

Das an die Verbundleiterplatte anzuschweißende Metallelement kann beispielsweise in Form eines Drahtes, eines Bandes, eines Plättchens, eines Profils, eines Stifts oder ähnlichem ausgebildet sein.

Das Metallelement kann dazu ausgestaltet sein, um eine elektrische Verbindung zwischen der ersten Metallschicht der Verbundleiterplatte, einerseits, und beispielsweise einem elektrischen Bauteil, einem Steckverbinder oder ähnlichem herzustellen. Das elektrische Bauteil, der Steckverbinder oder ähnliche Komponenten können dabei in direktem mechanischem Kontakt mit der Verbundleiterplatte angeordnet sein oder entfernt von der Verbundleiterplatte vorgesehen sein.

Das Metallelement kann dabei laterale Abmessungen aufweisen, die in etwa den Abmessungen des Verbindungsbereichs entsprechen, an welchem das Metallelement an der ersten Metallschicht der Verbundleiterplatte angeschweißt werden soll. Solche lateralen Längen- und Breiten-Abmessungen liegen typischerweise im Bereich von wenigen bis hin zu mehreren Millimetern, beispielsweise je nach Anwendung zwischen 1 mm und 20 mm, typischerweise

zwischen 2 mm und 10 mm. Eine Dicke des Metallelements ist dabei meist kleiner als dessen laterale Abmessungen, d.h. das Metallelement weist meist eine flache Struktur wie beispielsweise bei einem Band oder einem Plättchen oder eine längliche Struktur wie beispielsweise bei einem Draht auf. Beispielsweise kann die Dicke des Metallelements größer als 0,2 mm, größer als 0,3 mm oder größer als 0,5 mm sein und damit deutlich größer sein als bei den typischerweise beim Bonden eingesetzten Strukturen. Dabei ist die Dicke des Metallelements meist kleiner als 5 mm oder sogar kleiner als 2 mm.

Das Metallelement kann ähnlich wie die Metallschichten der Verbundleiterplatte aus einem oder mehreren Metallen oder Mischungen oder Legierungen derselben bestehen. Insbesondere können elektrisch gut leitfähige Metalle wie Kupfer, Aluminium, Nickel, Silber, Gold, Platin, Palladium, etc. eingesetzt werden. Im Rahmen des hierin beschriebenen Verfahrens können dabei auch Materialien für das Metallelement und/oder die erste Metallschicht der Verbundleiterplatte eingesetzt werden, die nicht herkömmlich lötbar sind. Das Material des Metallelements kann identisch zu dem Material der ersten Metallschicht der Verbundleiterplatte sein. Beispielsweise können beide Komponenten aus Kupfer oder beide Komponenten aus Aluminium bestehen. Es kann aber auch möglich sein, ein Metallelement aus einem anderen Material wie demjenigen der ersten Metallschicht der Verbundleiterplatte an diese erste Metallschicht anzuschweißen. Beispielsweise kann ein Aluminiumband an eine erste Metallschicht aus Kupfer angebracht werden.

Im Rahmen des hierin beschriebenen Verfahrens wird das Metallelement zunächst angrenzend an die erste Metallschicht der Verbundleiterplatte angelagert. Das Metallelement kommt hierdurch vorzugsweise mit einer hin zu der Verbundleiterplatte gerichteten Oberfläche in direkten mechanischen Kontakt mit der in dem Verbindungsbereich der Verbundleiterplatte von außen her zu kontaktierenden ersten Metallschicht. Hierzu kann die Verbundleiterplatte beispielsweise vorab in einem Schweißraum einer Ultraschallschweißeinrichtung angeordnet worden sein und anschließend das Metallelement mit einem geeigneten Werkzeug gegriffen und hin zu der Verbundleiterplatte bewegt

werden. Die Verbundleiterplatte und das Metallelement können jedoch auch in anderer Weise oder in einer anderen Reihenfolge in die Ultraschallschweiß-einrichtung eingebracht werden.

An das derart angeordnete Metallelement wird dann eine Ultraschallsonotrode angelegt. Eine Sonotrodenoberfläche kontaktiert dabei die der Verbundleiterplatte entgegengesetzte Oberfläche des Metallelements. Das Metallelement ist somit zwischen der Sonotrodenoberfläche und der ersten Metallschicht der Verbundleiterplatte zwischengelagert und vorzugsweise zwischen diesen beklemmt.

In dieser Konstellation werden dann an der Sonotrodenoberfläche Ultraschallschwingungen bewirkt. Hierzu kann beispielsweise ein Ultraschallschwingungsgeber Ultraschallschwingungen erzeugen und diese werden dann an die Sonotrode weitergegeben und über deren Sonotrodenoberfläche an die Fügepartner, d.h. insbesondere an das Metallelement, übertragen.

Um das Metallelement schädigungsfrei an die Verbundleiterplatte anschweißen zu können, müssen hierbei geeignete Bedingungen geschaffen bzw. Prozessparameter innerhalb eines engen Prozessfensters gehalten werden.

Insbesondere sollen die Ultraschallschwingungen mit einer Frequenz von weniger als 55 kHz, vorzugsweise weniger als 50 kHz, weniger als 45 kHz oder weniger als 40 kHz, bewirkt werden. Die Frequenz der hierin zum Ultraschallschweißen eingesetzten Ultraschallschwingungen liegt somit deutlich unterhalb der typischerweise zum Ultraschallbonden dünner Drähte eingesetzten Frequenzen. Die Ultraschallschwingungen werden hierbei mit mindestens 20 kHz, möglicherweise mit mindestens 25 kHz erzeugt. Es wurde erkannt, dass eine Verwendung von Ultraschallschwingungen mit relativ geringen Frequenzen ermöglicht, während einer vorbestimmten Schweißdauer größere Energiemengen zu übertragen, d.h. eine beim Ultraschallschweißen transferierte Leistung zu

erhöhen, was sich vorteilhaft insbesondere beim hierin beschrieben Ultraschallschweißverfahren darstellt.

Außerdem werden die Ultraschallschwingungen mit einer Leistung von mehr als 400 W, möglicherweise mehr als 450 W, mehr als 500 W oder mehr als 600 W bewirkt. Es wurde erkannt, dass die Ultraschallschwingungen mit einer ausreichend hohen Leistung bewirkt werden sollten, um für eine zuverlässige Verschweißung der Fügepartner sorgen zu können. Dementsprechend wird bei dem hierin beschriebenen Verfahren vorzugsweise eine ausreichend leistungsstarke Ultraschallschweißeinrichtung sowie eine zur Übertragung solcher leistungsstarker Ultraschallschwingungen geeignet konfigurierte Ultraschallsonotrode eingesetzt. Die eingesetzten Leistungen sind hierbei deutlich höher als diejenigen, die typischerweise beim Ultraschallbonden dünner Drähte zum Einsatz kommen. Die Leistungen bleiben jedoch im Regelfall unterhalb von 10 kW, meist unterhalb von 6 kW oder unterhalb von 3 kW oder in gewissen Fällen unterhalb von 1 kW. Unter der Leistung, mit der die Ultraschallschwingungen bewirkt werden, wird hierbei eine vom Generator zur Verfügung gestellte Leistung verstanden. Bei der Leistung handelt es sich somit um die vom Generator abgegebene elektrische Leistung. Diese wird typischerweise während der Abgabe im Generator selbst erfasst.

Ferner werden die Ultraschallschwingungen über eine Kontaktfläche zwischen der Sonotrodenoberfläche und dem Metallelement übertragen und diese Kontaktfläche mit wenigstens 2 mm^2 verhältnismäßig groß bemessen. Anders ausgedrückt soll die Ultraschallsonotrode mit ihrer Sonotrodenoberfläche großflächig an dem Metallelement anliegen. Dementsprechend wird sowohl der von der Ultraschallsonotrode auf das Metallelement ausgeübte Druck als auch die übertragenen Ultraschallschwingungen entlang der großen Kontaktfläche auf das Metallelement übertragen. Hierdurch kann ein Risiko von Schädigungen an der mit dem Metallelement in Kontakt stehenden Verbundleiterplatte reduziert werden.

Die Kontaktfläche kann je nach Art und Einsatzzweck des an zu schweißenden Metallelements auch deutlich größer als 2 mm², beispielsweise wenigstens 3 mm², wenigstens 4 mm², wenigstens 5 mm², wenigstens 10 mm² oder sogar wenigstens 20 mm² sein. Allerdings sollte die Kontaktfläche typischerweise kleiner als 50 mm², meist kleiner als 30 mm² sein. Die Kontaktfläche kann hierbei eine beliebige Form aufweisen, beispielsweise quadratisch, rechteckig, rund oder Ähnliches sein.

Gemäß einer Ausführungsform können die Ultraschallschwingungen mit einer Amplitude von mehr als 10 µm bewirkt werden

Anders ausgedrückt kann die Amplitude, mit der die Ultraschallschwingungen schwingen, größer als 10 µm, vorzugsweise größer als 15 µm, größer als 20 µm, größer als 25 µm oder sogar größer als 30 µm sein. Es wurde erkannt, dass Ultraschallschwingungen mit derart großen Amplituden vorteilhaft beim Anschweißen relativ großer Fügepartner an eine Verbundleiterplatte wirken können. Typischerweise ist die Amplitude jedoch kleiner als 60 µm, vorzugsweise kleiner als 50 µm oder kleiner als 40 µm.

Die für das hierin beschriebene Verfahren eingesetzten Ultraschallschwingungsamplituden sind somit deutlich größer als diejenigen, die typischerweise beim Ultraschallbonden dünner Drähte eingesetzt werden.

Unter der Amplitude soll in diesem Zusammenhang die Hälfte der insgesamt während einer Schwingung zurückgelegten Distanz, das heißt der Abstand zwischen einer Neutralposition und einer maximal ausgelenkten Position, verstanden werden, was teilweise auch als „lambda-Halbe“-Wert, „λ/2“-Wert oder „lambda/2“-Wert bezeichnet wird.

Gemäß einer Ausführungsform sollen das Anordnen des Metallelements angrenzend an die erste Metallschicht der Verbundleiterplatte und das Anlegen der Ultraschallsonotrode an die der Verbundleiterplatte entgegengesetzte Oberfläche des

Metallelements zeitlich voneinander separiert erfolgen.

Mit anderen Worten soll im Rahmen des hierin vorgeschlagenen Verfahrens vorzugsweise zunächst das Metallelement an die Verbundleiterplatte angelagert werden und erst in einem separaten nachfolgenden Schritt die Ultraschallsonotrode an das Metallelement angelegt werden. Somit sind beide Fügepartner bereits in der Ultraschallschweißeinrichtung aufgenommen, bevor dann die Ultraschallsonotrode zum Verschweißen derselben an die Fügepartner heran gebracht wird. Um das Metallelement an die Verbundleiterplatte anzulagern, kann hierbei ein von der Ultraschallsonotrode unabhängiges Werkzeug eingesetzt werden.

Hierdurch unterscheidet sich das hierin beschriebene Ultraschallschweißen grundlegend von herkömmlichem Ultraschallbonden, bei dem der zu fügende dünne Draht mittels eines Greifwerkzeugs gegriffen und verlagert wird und mithilfe des gleichen Werkzeugs auch die hochfrequenten Ultraschallschwingungen eingekoppelt werden. Ein Aufbau der zum Verbinden eingesetzten Apparaturen unterscheidet sich somit bei dem hierin vorgeschlagenen Ultraschallschweißverfahren grundlegend von demjenigen bei herkömmlichem Ultraschallbonden. Insbesondere kann durch das Separieren der beiden Schritte des Anlegens des Metallelements an die Verbundleiterplatte und des anschließenden Anlegens der Ultraschallsonotrode jeder dieser beiden Schritte besser bzw. unabhängig von dem jeweils anderen Schritt optimiert werden.

Gemäß einer Ausführungsform ist eine Leistungsflächendichte, welche als Verhältnis zwischen der Leistung, mit der die Ultraschallschwingungen bewirkt werden, und der Kontaktfläche zwischen der Sonotrodenoberfläche und dem Metallelement definiert ist, kleiner als 200 W/mm².

Vorzugsweise wird die Leistungsflächendichte mit weniger als 150 W/mm² oder sogar weniger als 100 W/mm², jedoch meist mehr als 20 W/mm² oder mehr als 50 W/mm² bewirkt. Die Leistungsflächendichte ist dabei als Quotient aus der von der Sonotrode applizierten Ultraschallschwingungsleistung und der Größe der Kontaktfläche, über welche die Ultraschallschwingungen auf das Metallelement übertragen werden, definiert.

Es wurde erkannt, dass die pro Kontaktfläche eingeleitete Ultraschallschwingungsleistung einerseits zwar ausreichend hoch sein sollte, um eine zuverlässige Verschweißung der Fügepartner bewirken zu können, andererseits jedoch unterhalb vorbestimmter Grenzen bleiben sollte, um Schädigungen an der Verbundleiterplatte zu vermeiden. Eine konkret einzuhaltende Obergrenze für die Leistungsflächendichte kann hierbei stark vom jeweiligen Anwendungsfall und insbesondere von den Eigenschaften der Verbundleiterplatte abhängen.

Gemäß einer Ausführungsform soll eine Energie, welche insgesamt während eines Schweißvorgangs mittels der bewirkten Ultraschallschwingungen auf das Metallelement übertragen wird, weniger als 200 Ws betragen.

Anders ausgedrückt sollen zum Verschweißen des Metallelements mit der ersten Metallschicht der Verbundleiterplatte möglichst insgesamt Energien von weniger als 200 Ws (1 Ws = 1 Watt*Sekunde = 1 J = 1 Joule), vorzugsweise weniger als 150 Ws, vorzugsweise weniger als 100 Ws, vorzugsweise weniger als 80 Ws, weniger als 65 Ws oder weniger als 50 Ws, meist jedoch mehr als 3 Ws, mehr als 5 Ws, mehr als 10 Ws oder mehr als 20 Ws eingesetzt werden.

Insbesondere soll gemäß einer Ausführungsform eine Energieflächendichte, welche als Verhältnis zwischen einer Energie, welche insgesamt während eines Schweißvorgangs mittels der bewirkten Ultraschallschwingungen auf das Metallelement übertragen wird, und der Kontaktfläche zwischen der Sonotrodenoberfläche und dem Metallelement definiert ist, kleiner als 5 Ws/mm² sein.

Vorzugsweise soll die Energieflächendichte kleiner als 4 Ws/mm², kleiner als 3 Ws/mm², kleiner als 2 Ws/mm² oder sogar kleiner als 1 Ws/mm², meist jedoch größer als 0,1 Ws/mm², größer als 0,5 Ws/mm² oder sogar größer als 1 Ws/mm² sein.

Ferner kann gemäß einer Ausführungsform eine Kraft, mit der die Sonotrodenoberfläche während des Bewirkens der Ultraschallschwingungen an das Metallelement angepresst wird, wenigstens 10 N und höchstens 300 N betragen.

Anders ausgedrückt kann die Sonotrode mit ihrer Sonotrodenoberfläche während des Ultraschallschweißvorgangs hin zu den Fügepartnern geschoben werden und dabei mit einer Kraft von wenigstens 10 N (10 Newton), vorzugsweise wenigstens 20 N, wenigstens 30 N oder wenigstens 40 N, aber höchstens 300 N, vorzugsweise höchstens 200 N, vorzugsweise höchstens 150 N, vorzugsweise höchstens 100 N, vorzugsweise höchstens 90 N, höchstens 80 N, höchstens 70 N oder höchstens 60 N gegen das Metallelement gepresst werden.

Insbesondere soll gemäß einer Ausführungsform ein Druck, mit der die Sonotrodenoberfläche während des Bewirkens der Ultraschallschwingungen an das Metallelement angepresst wird, wenigstens 1 N/mm² und höchstens 30 N/mm² betragen.

Vorzugsweise soll der Druck größer als 1,5 N/mm², größer als 2 N/mm², größer als 3 N/mm² oder größer als 4 N/mm², jedoch kleiner als 30 N/mm², kleiner als 20 N/mm², kleiner als 10 N/mm², kleiner als 9 N/mm², kleiner als 8 N/mm², kleiner als 7 N/mm² oder kleiner als 6 N/mm² sein.

Es wird davon ausgegangen, dass mit den vorangehend genannten Prozesswerten bzw. innerhalb der vorangehend genannten Prozesswertbereiche, wie sie für die Frequenz der Ultraschallschwingungen, die Leistung der Ultraschallschwingungen, die Kontaktfläche, die Amplitude der Ultraschallschwingungen, die Leistungsflächendichte, die insgesamt übertragene Energie, die Energieflächendichte, die Anpresskraft und den Druck angegeben wurden, mithilfe des hierin beschriebenen Verfahrens besonders effizient, zuverlässig und/oder schädigungsfrei Metallelemente an Verbundleiterplatten mittels Ultraschallschweißen angebracht werden können. Die in einem Anwendungsfall speziell einzusetzenden Prozessparameter hängen dabei stark vom konkreten Fall ab, insbesondere von Eigenschaften wie Geometrie, eine Material, einem Aufbau, etc. der zu verbindenden Fügepartner, und müssen im Einzelfall gegebenenfalls durch Versuchsreihen, Berechnungen, Modellierungen, Simulationen oder Ähnliches ermittelt werden.

Gemäß einer Ausführungsform kann die Ultraschallsonotrode mit einer in einer Ultraschallschweißeinrichtung vorgesehenen Servopresse verlagert und an das Metallelement angepresst werden.

Anders ausgedrückt kann die Ultraschallschweißeinrichtung mittels der Servopresse die Ultraschallsonotrode in einer Richtung hin zu den Fügepartnern verlagern und dabei gegen das Metallelement pressen. Unter einer Servopresse kann hierbei eine elektrisch zu betätigende Verfahreinheit in Höhenrichtung, also eine Hubeinheit, verstanden werden. Die Servopresse kann beispielsweise servomotorisch oder mittels eines elektromagnetischen Aktuators (voice coil) angetrieben sein. Im Gegensatz zu herkömmlichen Ultraschallschweiß-einrichtungen, bei denen die Sonotrode mit einem Aktuator in Form einer Pneumatik verlagert und/oder gegen die Fügepartner gepresst wird, kann eine Ultraschallschweißeinrichtung mit einer Servopresse die Sonotrode typischerweise genauer, schneller, kontrollierter und/oder sanfter an dem Schweißgut positionieren und dann gegen dieses pressen. Insbesondere kann eine Servopresse eine Aufsetzgeschwindigkeit, eine Aufsetztiefe und/oder einen Aufsetzdruck gezielt und variabel steuern oder regeln, um beispielsweise einen sogenannten „soft touch“ zu realisieren. Hierbei kann die Servopresse gegebenenfalls eine aktive Kraftregelung einsetzen. Die Servopresse kann hierzu über einen elektrisch aktivierbaren und ansteuerbaren Aktuator beispielsweise in Form eines Servomotors verfügen.

Gemäß einer Ausführungsform kann die Ultraschallsonotrode als Biegeschwinger ausgebildet sein.

Bei einer solchen als Biegeschwinger ausgebildeten Ultraschallsonotrode werden die Ultraschallschwingungen nicht orthogonal zu einer Grenzfläche zwischen den zu verschweißenden Fügepartnern sondern parallel bzw. tangential zu dieser Grenzfläche erzeugt. Im Vergleich zu anderen Typen longitudinal schwingender Ultraschallsonotroden schwingen Biegeschwinger typischerweise mit größeren Amplituden. Dabei können Biegeschwinger wegen ihrer Geometrie ähnlich wie eine Peitsche schwingen. Aufgrund der parallelen Schwingungsrichtung und/oder

der großen Schwingungsamplituden werden die Ultraschallschwingungen mit weniger schädigenden Kräften und/oder Kraftrichtungen und/oder in effizienterer Weise auf das Metallelement und durch dieses hindurch zu der ersten Metallschicht der Verbundleiterplatte übertragen. Außerdem können Biegeschwinger eine bessere Erreichbarkeit von Bauteilen ermöglichen und/oder einfacher aufgebaut sein als andere Typen longitudinal schwingender Ultraschallsonotroden.

Gemäß einer Ausführungsform kann die Verbundleiterplatte während des Bewirkens der Ultraschallschwingungen an einer dem Metallelement entgegengesetzten Oberfläche mittels eines Widerlagerelements abgestützt werden.

Anders ausgedrückt können die Fügepartner, während sie von der Sonotrode, die mit ihrer Sonotrodenoberfläche an dem Metallelement angepresst wird, in einer ersten Richtung kraftbeaufschlagt werden, in einer entgegengesetzten zweiten Richtung von einem Bauteil, welches hierin als Widerlagerelement bezeichnet wird, gehalten werden. Dieses Widerlagerelement kann gleich oder ähnlich wie ein Amboss wirken, wie er bei Ultraschallschweißeinrichtungen üblicherweise zum Verschweißen zweier metallischer Fügepartner eingesetzt wird. Das Widerlagerelement kann teilweise oder vollständig aus Metall bestehen. Alternativ kann das Widerlagerelement teilweise oder vollständig aus einem nichtmetallischen Material, insbesondere einem Kunststoffmaterial, bestehen. Das Widerlagerelement kann direkt an der Verbundleiterplatte angreifen. Insbesondere kann das Widerlagerelement die Verbundleiterplatte durch direkten flächigen Kontakt mit deren von dem Metallelement weg gerichteten Oberfläche (das heißt quasi von hinten her oder unten her) abstützen. Eine Abstützfläche kann hierbei annähernd so groß, gleich groß oder sogar größer sein als die Kontaktfläche, an der die Sonotrodenoberfläche gegen die Fügepartner gepresst wird. Dementsprechend kann das Widerlagerelement die Fügepartner großflächig abstützen. Durch ein solches großflächiges Abstützen können die auf die Fügepartner und insbesondere auf die Verbundleiterplatte wirkenden Kräfte gut verteilt werden und Kraftspitzen und/oder Biegemomente minimiert werden.

Gemäß einer konkretisierten Ausführungsform kann das Widerlagerelement an einer die Verbundleiterplatte kontaktierenden Oberfläche plan sein oder eine Oberflächentextur mit Texturvorsprüngen aufweisen, welche hin zu der Verbundleiterplatte ragen und derart verrundet sind, dass Krümmungsradien an zu der Verbundleiterplatte gerichteten Enden der Texturvorsprünge größer als 20 µm sind.

Anders ausgedrückt kann das Widerlagerelement an der Widerlagerelementoberfläche, mit der es die Verbundleiterplatte kontaktiert bzw. gegen die die Verbundleiterplatte während des Ultraschallschweißvorgangs gepresst wird, ohne eine Oberflächentextur oder allenfalls mit einer Oberflächentextur ohne scharfkantige Texturvorsprünge ausgebildet sein. Die Krümmungsradien an den zu der Verbundleiterplatte gerichteten Enden der Texturvorsprünge können insbesondere größer als 30 µm, größer als 50 µm, größer als 100 µm oder sogar größer als 300 µm sein.

Durch das Fehlen einer Oberflächentextur oder zumindest scharfer Kanten oder Grate einer solchen Textur können lokale mechanische Beanspruchungen wie zum Beispiel punktuelle Einpressungen, ein Verkratzen oder ähnliches an der Rückseite der empfindlichen Verbundleiterplatte vermieden werden.

Insbesondere wird es als vorteilhaft erachtet, wenn die Widerlagerelement-oberfläche allenfalls eine Oberflächentextur mit Texturtiefen von weniger als 0,4 mm, vorzugsweise weniger als 0,3 mm oder weniger als 0,2 mm, aufweist. Insbesondere wird eine Verwendung eines Widerlagers mit einer planen Oberfläche oder maximal mit einer 0,3er Riffelung, einer 0,2er Riffelung oder einer noch feineren Riffelung an seiner Widerlagerelementoberfläche als vorteilhaft angenommen. Um die Leiterplatte zu fixieren, kann optional eine seitliche Klemmung derselben vorgesehen sein.

Derart geringe Texturtiefen erlauben es einerseits, dass die Widerlagerelement-oberfläche sich nicht zu tief in die rückseitige Oberfläche der mehrschichtigen Verbundleiterplatte einpressen kann. Andererseits genügen derartige Oberflächentexturen dennoch, um die hochfrequenten Ultraschallschwingungen von der Sonotrode an die Fügepartner übertragen zu können und dabei die

Verbundleiterplatte an ihrer Rückseite zuverlässig halten und abstützen zu können.

Gemäß einer alternativen konkretisierten Ausführungsform kann das Widerlagerelement an einer die Verbundleiterplatte kontaktierenden Oberfläche plan sein oder eine Oberflächentextur mit Texturvorsprüngen aufweisen, welche hin zu der Verbundleiterplatte ragen und derart verrundet sind, dass Krümmungsradien an zu der Verbundleiterplatte gerichteten Enden der Texturvorsprünge größer als 20% einer Schichtdicke einer von dem Widerlagerelement direkt kontaktierten außenliegendsten Schicht der Verbundleiterplatte sind.

Mit anderen Worten kann, sofern das Widerlagerelement mit einer Oberflächentextur versehen ist, diese derart verrundet ausgestaltet sein, dass sie die Verbundleiterplatte und insbesondere eine an deren Rückseite angeordnete außenliegendste Schicht, welche in direkten Kontakt mit dem Widerlagerelement kommt, nicht beschädigt. Hierzu können die Krümmungsradien der Texturvorsprünge ausreichend groß gewählt werden, sodass die Texturvorsprünge in Relation zu der Schichtdicke dieser außenliegendsten Schicht verhältnismäßig stumpf sind, d.h. ausreichend stark verrundet sind, um diese Schicht beispielsweise nicht zu deformieren und/oder zu zerkratzen. Die genannten Krümmungsradien können vorzugsweise größer als 30 %, größer als 40 %, größer als 50 %, größer als 75 % größer als 100 % oder sogar größer als 200 % der Schichtdicke der außenliegendsten Schicht der Verbundleiterplatte sein.

Gemäß einer Ausführungsform können während des Bewirkens der Ultraschallschwingungen in aufeinander folgenden Zeitphasen unterschiedliche Ultraschallschweißbedingungen bewirkt werden.

Anders ausgedrückt kann die vorliegend zum Verschweißen der Fügepartner eingesetzte Ultraschallschweißeinrichtung speziell dazu konfiguriert sein, während eines Schweißvorgangs nicht konstant stets die gleichen Ultraschallschweißbedingungen zu bewirken, sondern diese zeitlich zu variieren. Dies wird auch als sogenanntes Phasenschweißen bezeichnet.

Zu den Ultraschallschweißbedingungen können hierbei unter anderem ein Anpressdruck, eine Ultraschallfrequenz, eine Ultraschallamplitude, eine Ultraschallleistung, eine Ultraschallschweißenergie, eine Schweißhöhe, ein zeitlich variabler Schweißhöhenverlauf, etc. zählen. Verschiedene Schweißphasen können hierbei Dauern von wenigen Millisekunden bis hin zu einigen Sekunden umfassen, d.h. beispielsweise zwischen 5 ms und 0,5 s dauern.

Beispielsweise können während einer ersten Zeitphase von zum Beispiel 50 ms Ultraschallschwingungen mit einem geringeren Anpressdruck bewirkt werden, um z.B. Oberflächen an den Fügepartnern von Schmutz und/oder einer Oxidschicht zu befreien. Anschließend kann während einer zweiten Zeitphase von beispielsweise 200 ms ein höherer Anpressdruck eingestellt werden, um die eigentliche Ultraschallschweißung durchzuführen.

Es wird darauf hingewiesen, dass mögliche Merkmale und Vorteile von verschiedenen Ausführungsformen der Erfindung hierin teilweise mit Bezug auf ein erfindungsgemäß ausgestaltetes Verfahren und teilweise mit Bezug auf eine zum Durchführen dieses Verfahrens einsetzbare Ultraschallschweißeinrichtung beschrieben sind. Fachleute werden erkennen, dass die für einzelne Ausführungsformen beschriebenen Merkmale in analoger Weise geeignet auf andere Ausführungsformen übertragen werden können, angepasst werden können und/oder ausgetauscht werden können, um zu weiteren Ausführungsformen der Erfindung und möglicherweise Synergieeffekten zu gelangen.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

Nachfolgend werden vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen weiter erläutert, wobei weder die Zeichnungen noch die Erläuterungen als die Erfindung in irgendeiner Weise einschränkend auszulegen sind.

Fig. 1 veranschaulicht eine Ultraschallschweißeinrichtung während der Durchführung eines Verfahrens gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

Fig. 2 zeigt eine Explosionsansicht einer beispielhaften mehrschichtigen Verbundleiterplatte.

Fign. 3 – 5 veranschaulichen Beispiele von Metallelementen, die mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens an eine Verbundleiterplatte geschweißt wurden.

Die Figuren sind lediglich stark schematisch und nicht maßstabsgetreu. Gleiche Bezugszeichen bezeichnen in den verschiedenen Zeichnungen gleiche bzw. gleichwirkende Merkmale.

BESCHREIBUNG VON VORTEILHAFTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

Fig. 1 zeigt eine Ultraschallschweißeinrichtung 1, mithilfe derer eine mehrschichtige Verbundleiterplatte 3 mit einem Metallelement 5 in Form eines Metallband 6 durch Ultraschallschweißen elektrisch verbunden werden kann. Fig. 2 zeigt ein Beispiel einer solchen mehrschichtigen Verbundleiterplatte 3 in einer Explosionsansicht.

Die mehrschichtige Verbundleiterplatte 3 setzt sich im dargestellten Beispiel aus einer Vielzahl von dünnen Schichten 7 zusammen, welche übereinander gestapelt und miteinander zu einem festen Verbund verbunden sind. Einige der Schichten 7 sind dabei Metallschichten 9 beispielsweise in Form dünner Kupferfolien 11. Andere der Schichten 7 bestehen aus einem elektrisch nicht-leitfähigen Material wie beispielsweise faserverstärktem Epoxidharz und wirken somit als Isolatorschichten 13. Die Isolatorschichten 13 können beispielsweise als sogenannte prepregs 15 ausgebildet sein.

Eine an einer Vorderseite der Verbundleiterplatte 3 am weitesten außen liegende Metallschicht 9 wird als erste Metallschicht 17 bezeichnet. Eine an einer

Rückseite der Verbundleiterplatte 3 am weitesten außen liegende Metallschicht 9 wird als letzte Metallschicht 19 bezeichnet. Im Zentrum der lediglich beispielhaft dargestellten Verbundleiterplatte 3 befinden sich zwei weitere Metallschichten 9, welche zusammen mit einer verhältnismäßig dicken dazwischen angeordneten Isolatorschicht 13 eine stabile Kernstruktur 21 in Form eines Kupferverbundlaminats 23 bilden.

Das Metallelement 5 kann beispielsweise ein Anschlussblech sein, welches als Teil eines Kontaktierungssystems (nicht dargestellt) ausgestaltet sein kann. Das Metallelement 5 kann beispielsweise aus Kupfer oder Aluminium bestehen und eine deutlich größere Dicke aufweisen als die Verbundleiterplatte 3 oder zumindest als deren erste Metallschicht 17.

In einem Verbindungsbereich 25, in dem die Verbundleiterplatte 3 mit dem Metallelement 5 verbunden werden soll, liegt die erste Metallschicht 17 von außen kontaktierbar frei. Der Verbindungsbereich 25 kann sich dabei entlang der gesamten vorderen Oberfläche der Verbundleiterplatte 3 erstrecken oder beispielsweise als Kontaktpad lediglich ein Teilbereich der Oberfläche bedecken.

Um die Verbundleiterplatte 3 an ihrem Verbindungsbereich 7 mit dem Metallelement 5 mechanisch und elektrisch zu verbinden, sollen beide Komponenten mithilfe der Ultraschallschweißeinrichtung 1 mittels Ultraschallschweißens miteinander verschweißt werden.

Die Ultraschallschweißeinrichtung 1 verfügt hierzu über eine Ultraschall-sonotrode 27. Die Ultraschallsonotrode 27 verfügt an einer Sonotrodenoberfläche 29, welche während des Verschweißens hin zu dem Verbindungsbereich 25 der Verbundleiterplatte 3 sowie dem bereits zuvor dort angeordneten Metallelement 5 gerichtet ist. Diese Sonotrodenoberfläche 29 verfügt über eine Oberflächentextur 39 beispielsweise in Form einer Riffelung, insbesondere einer Kreuzriffelung.

Während des Ultraschallschweißvorgangs wird die Ultraschallsonotrode 27 gesteuert von einer Steuerung 41 der Ultraschallschweißeinrichtung 1 mithilfe

einer Aktuatorik 43 mit ihrer Sonotrodenoberfläche 29 entlang einer Kontaktfläche 30 an eine gegenüberliegende erste Oberfläche 31 des Metallelements 5 angelegt und angepresst. Anschließend werden in der Ultraschallschweißeinrichtung 1 Ultraschallschwingungen erzeugt und an die Ultraschallsonotrode 27 weitergeleitet und letztendlich über deren Sonotrodenoberfläche 29 an das Metallelement 5 übertragen. Das Metallelement 5 kontaktiert mit einer rückseitigen zweiten Oberfläche 33 eine frontseitige erste Oberfläche 35 der ersten Metallschicht 17 der Verbundleiterplatte 5, sodass es aufgrund der eingekoppelten Ultraschallschwingungen an dieser Grenzfläche zu einer stoffschlüssigen Verbindung beider Fügepartner kommt.

An einer Rückseite wird die Verbundleiterplatte 3 dabei von einem Widerlagerelement 45 abgestützt. Die Verbundleiterplatte 3 liegt hierzu mit einer rückseitigen zweiten Oberfläche 37 an einer zu ihr gerichteten Oberfläche 47 des Widerlagerelements 45, welche im dargestellten Beispiel eben ist, an. Alternativ kann die Oberfläche 47 des Widerlagerelements 45 ähnlich wie die Sonotrodenoberfläche 29 eine Textur aufweisen, welche jedoch möglichst keine scharfkantigen Strukturen sondern allenfalls verrundete Texturvorsprünge besitzen sollte.

Die Ultraschallschweißeinrichtung 1 mit ihrer Sonotrode 13 ist als Biegeschwinger 49 ausgebildet. Bei einem solchen Biegeschwinger 49 werden Ultraschallschwingungen derart erzeugt, dass sich die Sonotrodenoberfläche 29 ausschließlich oder zumindest überwiegend in einer Biegeschwingungsrichtung 51 bewegt, welche parallel oder tangential zu der Oberfläche der zu verschweißenden Verbundleiterplatte 3 in deren Verbindungsbereich 25 ist.

Die Ultraschallschweißeinrichtung 1 kann insbesondere als Servopresse ausgestaltet sein. Dabei verfügt die Ultraschallschweißeinrichtung 1 über eine Sensorik 53, die Aktuatorik 43 sowie die Steuerung 41 (in der Figur lediglich sehr schematisch angedeutet). Mithilfe der Sensorik 53 können dabei an der Sonotrodenoberfläche 29 wirkende Kräfte bzw. Drücke gemessen werden. Mit der Aktuatorik 43 kann unter anderem die Ultraschallsonotrode 27 verlagert werden,

insbesondere in einer Richtung hin zu der Verbundleiterplatte 3. Die Steuerung 41 kann die Aktuatorik 43 steuern und dabei Signale der Sensorik 53 berücksichtigen. Insbesondere kann mithilfe der Steuerung 41 die Ultraschall-sonotrode 27 somit derart hin zu der Verbundleiterplatte 3 verlagert werden, dass ein Anpressdruck zwischen der Sonotrodenoberfläche 29 und der Verbundleiterplatte 3 durch gezieltes Ansteuern oder Regeln der Aktuatorik 43 auf einen vorgebbaren Druck bzw. eine damit korrelierende vorgebbare Kraft begrenzt werden kann.

Ferner können die Steuerung 41 sowie gegebenenfalls die Aktuatorik 43 und/oder die Sensorik 53 derart konfiguriert sein, dass während des Ultraschallschweißens in aufeinanderfolgenden Zeitphasen unterschiedliche Ultraschallschweiß-bedingungen bewirkt werden können, beispielsweise in Form zeitlich variierender Ultraschallfrequenzen, Ultraschallamplituden, Anpressdrücke, Ultraschallleistungen oder -energien, Schweißhöhen, etc.

Die Ultraschallschweißeinrichtung 1 sowie die Art und Weise, wie diese betrieben wird, sind dabei derart gewählt, dass die Ultraschallschwingungen einerseits möglichst effektiv und andererseits möglichst schonend für die empfindliche mehrschichtige Verbundleiterplatte 3 auf das Metallelement 5 und die angrenzende Verbundleiterplatte 3 als Fügepartner übertragen werden können und dort für die gewünschte Verschweißung sorgen können. Hierzu werden, wie weiter oben ausführlich ausgeführt, spezielle Bedingungen geschaffen bzw. Prozessparameter innerhalb vorgegebener Prozessfenster gehalten.

Einige oder alle der genannten Eigenschaften der Ultraschallschweißeinrichtung 1 bzw. der beim Verschweißen eingesetzten Maßnahmen und/oder Bedingungen können dazu beitragen, dass bei dem hier beschriebenen Verfahren die Verbundleiterplatte 3 in ihrem Verbindungsbereich 25 nicht aufgrund des Ultraschallschweißvorgangs geschädigt wird.

Dabei können die genannten Eigenschaften, Maßnahmen und/oder Bedingungen insbesondere dazu beitragen, dass die Verbundleiterplatte 3 während des

Ultraschallschweißvorgangs allenfalls unwesentlich lokal belastet und/oder deformiert wird. Hierdurch können insbesondere oberflächliche Schädigungen an der Verbundleiterplatte 3 sowie Delaminationen zwischen den einzelnen Schichten 7 der Verbundleiterplatte 3 vermieden werden.

Insgesamt kann mit dem hierin beschriebenen Verfahren sowie der hierfür einsetzbaren Ultraschallschweißeinrichtung 1 ein elektrisches Verbinden einer Verbundleiterplatte 3 mit einem beliebigen Metallelement 5 deutlich vereinfacht werden, zuverlässig ausgestaltet werden und/oder Kosten dabei eingespart werden.

In den Figuren 3-5 sind Beispiele von Fügepartnern, die mithilfe des hierin vorgestellten Verfahrens erfolgreich verschweißt wurden, dargestellt.

In Figur 3 ist ein längliches Metallband 61 an einen Verbindungsbereich 25 einer ersten Metallschicht 17 an einer mehrschichtigen Verbundleiterplatte 3 geschweißt. Eine Kontaktfläche bzw. eine verschweißte Fläche weist hierbei Abmessungen von 3,5 x 3,5 mm² auf. Die Sonotrode wurde mit 40 N angepresst. Dabei wurde während des Schweißvorgangs eine Energie von 45 Ws übertragen.

In Figur 4 sind mehrere längliche Stifte 63 jeweils an zugehörige Verbindungsbereiche 25 einer ersten Metallschicht 17 einer Verbundleiterplatte 3 angeschweißt. Die Stifte 63 weisen hierfür an ihrem unteren Ende jeweils einen ringförmigen Flansch 65 auf, der an der ersten Metallschicht 17 der Verbundleiterplatte 3 anliegt. Eine Kontaktfläche zwischen diesem Flansch 65 und der ersten Metallschicht 17 beträgt im dargestellten Beispiel 3,5 x 3,5 mm². Die Sonotrode wurde mit 50 N angepresst und dabei eine Energie von weniger als 10 Ws eingebracht.

In Figur 5 wurden zwei von einem elektrischen Bauteil 67 kommende verhältnismäßig dicke Drähte 69 jeweils an Verbindungsbereiche 25 in Form von Kontaktpads 71 einer ersten Metallschicht 17 einer Verbundleiterplatte 3 angeschweißt. Eine Kontaktfläche beträgt hierbei wiederum 3,5 x 3,5 mm². Die

Sonotrode wurde mit 50 N angepresst und dabei eine Energie von 10 Ws eingebracht.

Abschließend ist darauf hinzuweisen, dass Begriffe wie „aufweisend“, „umfassend“, etc. keine anderen Elemente oder Schritte ausschließen und Begriffe wie „eine“ oder „ein“ keine Vielzahl ausschließen. Ferner sei darauf hingewiesen, dass Merkmale oder Schritte, die mit Verweis auf eines der obigen Ausführungsbeispiele beschrieben worden sind, auch in Kombination mit anderen Merkmalen oder Schritten anderer oben beschriebener Ausführungsbeispiele verwendet werden können. Bezugszeichen in den Ansprüchen sind nicht als Einschränkung anzusehen.

Bezugszeichenliste

1	Ultraschweißeinrichtung
3	mehrschichtige Verbundleiterplatte (PCB)
5	Metallelement
6	Metallband
7	Schichten
9	Metallschicht
11	Kupferfolie
13	Isolatorschicht
15	prepreg
17	erste Metallschicht
19	letzte Metallschicht
21	Kernstruktur
23	Kupferverbundlaminat
25	Verbindungsbereich
27	Ultraschallsonotrode
29	Sonotrodenoberfläche
30	Kontaktfläche
31	erste Oberfläche des Metallelements
33	zweite Oberfläche des Metallelements
35	erste Oberfläche der Verbundleiterplatte
37	zweite Oberfläche der Verbundleiterplatte
39	Oberflächentextur
41	Steuerung
43	Aktuatorik
45	Widerlagerelement
47	Oberfläche des Widerlagerelements
49	Biegeschwinger
51	Biegeschwingungsrichtung
53	Sensorik
55	Servopresse

61	Metallband
63	Stift
65	Flansch
67	elektrisches Bauteil
69	Draht
71	Kontaktpad

Ansprüche

1. Verfahren zum elektrischen Verbinden eines Metallelements (5) mit einer mehrschichtigen Verbundleiterplatte (3) mittels Ultraschallschweißen,
wobei die Verbundleiterplatte (3) in einem Verbindungsbereich (25) eine erste Metallschicht (17), zumindest eine die erste Metallschicht (17) stützende Isolatorschicht (13) und zumindest eine zweite Metallschicht (9), welche durch die Isolatorschicht (13) von der ersten Metallschicht (17) beabstandet ist, aufweist,
wobei das Verfahren umfasst:
Anordnen des Metallelements (5) angrenzend an die erste Metallschicht (17) der Verbundleiterplatte (3),
Anlegen einer Ultraschallsonotrode (27) mit einer Sonotrodenoberfläche (29) an eine der Verbundleiterplatte (3) entgegengesetzte Oberfläche (31) des Metallelements (5),
Bewirken von Ultraschallschwingungen an der Sonotrodenoberfläche (29),
wobei die Ultraschallschwingungen mit einer Frequenz von weniger als 55 kHz, einer Leistung von mehr als 400 W und über eine Kontaktfläche (30) zwischen der Sonotrodenoberfläche (29) und dem Metallelement (5) von wenigstens 2 mm^2 bewirkt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1,
wobei die Ultraschallschwingungen mit einer Amplitude von mehr als 10 µm bewirkt werden.

3. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,
wobei das Anordnen des Metallelements (5) angrenzend an die erste Metallschicht (17) der Verbundleiterplatte (3) und das Anlegen der Ultraschallsonotrode (27) an die der Verbundleiterplatte (3) entgegengesetzte Oberfläche (31) des Metallelements (5) zeitlich voneinander separiert erfolgen.

4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,
wobei eine Leistungsflächendichte, welche als Verhältnis zwischen der Leistung, mit der die Ultraschallschwingungen bewirkt werden, und der Kontaktfläche (30) zwischen der Sonotrodenoberfläche (29) und dem Metallelement (5) definiert ist, kleiner als

200 W/mm² ist.

5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,
wobei eine Energie , welche insgesamt während eines Schweißvorgangs mittels der bewirkten Ultraschallschwingungen auf das Metallelement (5) übertragen wird, weniger als 200 Ws beträgt.

6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,
wobei eine Energieflächendichte, welche als Verhältnis zwischen einer Energie, welche insgesamt während eines Schweißvorgangs mittels der bewirkten Ultraschallschwingungen auf das Metallelement (5) übertragen wird, und der Kontaktfläche (30) zwischen der Sonotrodenoberfläche (29) und dem Metallelement (5) definiert ist, kleiner als 5 Ws/mm² ist.

7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,
wobei eine Kraft, mit der die Sonotrodenoberfläche (29) während des Bewirkens der Ultraschallschwingungen an das Metallelement (5) angepresst wird, wenigstens 10 N und höchstens 300 N beträgt.

8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,
wobei ein Druck, mit der die Sonotrodenoberfläche (29) während des Bewirkens der Ultraschallschwingungen an das Metallelement (5) angepresst wird, wenigstens 1 N/mm² und höchstens 10 N/mm² beträgt.

9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,
wobei die Ultraschallsonotrode (27) mit einer in einer Ultraschallschweißeinrichtung (1) vorgesehenen Servopresse (55) verlagert und an das Metallelement (5) angepresst wird.

10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,
wobei die Ultraschallsonotrode (27) als Biegeschwinger (49) ausgebildet ist.

11. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,
wobei die Verbundleiterplatte (3) während des Bewirkens der Ultraschallschwingungen an einer dem Metallelement (5) entgegengesetzten Oberfläche (37) mittels eines Widerlagerelements (45) abgestützt wird.

12. Verfahren nach Anspruch 11,
wobei das Widerlagerelement (45) an einer die Verbundleiterplatte (3) kontaktierenden Oberfläche (47) plan ist oder eine Oberflächentextur mit Texturvorsprüngen aufweist, welche hin zu der Verbundleiterplatte (3) ragen und derart verrundet sind, dass Krümmungsradien an zu der Verbundleiterplatte (3) gerichteten Enden der Texturvorsprünge größer als 20 µm sind.

13. Verfahren nach Anspruch 11,
wobei das Widerlagerelement (45) an einer die Verbundleiterplatte (3) kontaktierenden Oberfläche (47) plan ist oder eine Oberflächentextur mit Texturvorsprüngen aufweist, welche hin zu der Verbundleiterplatte (3) ragen und derart verrundet sind, dass Krümmungsradien an zu der Verbundleiterplatte (3) gerichteten Enden der Texturvorsprünge größer als 20% einer Schichtdicke einer von dem Widerlagerelement (45) direkt kontaktierten außenliegendsten Schicht (19) der Verbundleiterplatte (3) sind.

14. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,
wobei während des Bewirkens der Ultraschallschwingungen in aufeinander folgenden Zeitphasen unterschiedliche Ultraschallschweißbedingungen bewirkt werden.

15. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,
wobei die Verbundleiterplatte (3) aus mindestens fünf übereinander gestapelten Schichten (7) zusammengesetzt ist und aneinander angrenzende Schichten (7) aus unterschiedlichen Materialien bestehen, und/oder
wobei die Verbundleiterplatte (3) wenigstens eine Schicht (7) mit einer Schichtdicke von zwischen 5 µm und 300 µm aufweist, und/oder
wobei die erste Metallschicht (17) der Verbundleiterplatte (3) ein Material ausgewählt aus der Gruppe umfassend Kupfer, Aluminium, Silber, Nickel, Gold und Palladium aufweist, und/oder

wobei die Isolatorschicht (13) der Verbundleiterplatte (3) ein Material ausgewählt aus der Gruppe umfassend Epoxid, Polyimid, Polytetrafluorethylen, FR-4, FR-1, CEM-1 oder CEM-3 aufweist, und/oder

wobei die Isolatorschicht (13) faserverstärkt ist.