



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 102 30 587 A1** 2004.01.15

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **102 30 587.0**

(22) Anmeldetag: **05.07.2002**

(43) Offenlegungstag: **15.01.2004**

(51) Int Cl.⁷: **G01N 29/10**

(71) Anmelder:
Agfa NDT GmbH, 50354 Hürth, DE

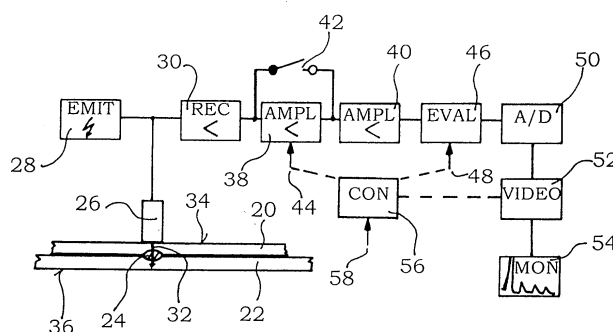
(74) Vertreter:
**Bauer, W., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., Pat.-Anw., 50968
Köln**

(72) Erfinder:
Erfinder wird später genannt werden

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Ultraschallprüfung von Punktschweißverbindungen, insbesondere von Karosserieblechen**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Ultraschallprüfung von Punktschweißverbindungen zwischen Blechen. Bei diesem Verfahren wird ein Ultraschallprüfkopf an die zu prüfende Punktschweißverbindung angekoppelt, mindestens ein Ultraschallimpuls in die zu prüfende Punktschweißverbindung eingeschallt, wo der Impuls unter Abschwächung mehrfach zwischen einer Vorderfläche und einer Rückfläche der Punktschweißverbindung hin- und herläuft und mit dem Ultraschallprüfkopf als Echosignale Anteile des Impulses empfangen werden, die mindestens einmal an der Rückfläche reflektiert wurden, die so empfangenen Echosignale in einem Verstärker verstärkt, vorzugsweise linear verstärkt, und anschließend in einer Auswerteeinheit ausgewertet werden, wobei die Auswerteeinheit nur solche Signale berücksichtigt, die mindestens eine Auswerteschwelle erreichen. Die Echosignale werden unterteilt in eine Gruppe höherer Ordnung und eine Gruppe tieferer Ordnung, dass die Echosignale niedriger Ordnung mindestens die ersten drei Echosignale, vorzugsweise die ersten vier Echosignale, einschließen, dass zu den Echosignalen höherer Ordnung mindestens das sechste Echosignal, vorzugsweise auch das fünfte Echosignal, gehört, und dass die Echosignale höherer Ordnung in dem Verstärker mit einem höheren Verstärkungsfaktor verstärkt werden und/oder mit einer niedrigeren Auswerteschwelle bewertet werden als die Echosignale niedriger Ordnung.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Ultraschallprüfung von Punktschweißverbindungen zwischen Blechen, bei welchem Verfahren ein Ultraschallprüfkopf an die zu prüfende Punktschweißverbindung angekoppelt wird, mindestens ein Ultraschallimpuls in die zu prüfende Punktschweißverbindung eingeschallt wird, wo der Impuls unter Abschwächung mehrfach zwischen einer Vorderfläche und einer Rückfläche der Punktschweißverbindung hin- und herläuft und mit dem Ultraschallprüfkopf als Echosignale Anteile des Impulses empfangen werden, die mindestens einmal an der Rückfläche reflektiert wurden, die so empfangenen Echosignale in einem Verstärker verstärkt, vorzugsweise linear verstärkt und anschließend in einer Auswerteeinheit ausgewertet werden, wobei die Auswerteeinheit nur solche Signale berücksichtigt, die mindestens eine Auswerteschwelle erreichen, sowie auf eine entsprechende Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens, bei der ein Ultraschallprüfkopf vorgesehen ist, dem eine Sendeempfangseinheit mit einem linearen Verstärker und einer Auswerteeinheit zugeordnet sind, dass die Auswerteeinheit eine Auswerteschwelle aufweist.

[0002] Verfahren und Vorrichtungen zur Ultraschallprüfung von Punktschweißverbindungen sind allgemein bekannt, nur beispielhaft verwiesen wird auf US 4,208,917; US 4,265,199 und US 5,537,875.

[0003] Ein Problem bei der Prüfung von Punktschweißverbindungen stellen die sogenannten Kleber da. Eine korrekte Punktschweißverbindung hat eine ausreichend große, etwa linsenförmige Schweißlinse im Verbindungsbereich benachbarter Bleche. Wenn man die verbundenen Bleche auseinanderreißt, beispielsweise mit einem Meißel trennt, bleibt an einem Blech ein Überstand stehen, der auch als Butzen oder Knopf bezeichnet wird. Ist dieser ausreichend groß, belegt dies, dass die geprüfte Punktschweißverbindung in Ordnung war.

[0004] Die Schweißlinse einer ordnungsgemäßen Punktschweißverbindung stellt ein eigenständiges, nachweisbares Gebilde dar, das zumeist ein anderes Gefüge aufweist als die ungestörten Bleche. In jedem Fall erhält man im Bereich der Schweißlinse bei der Ultraschallprüfung das Signal aus der Gesamtdicke, während man räumlich neben der Punktschweißverbindung die Signale aus der Dicke des oberen oder obersten Blechs und meist auch darunter befindlicher Bleche erhält.

[0005] Bei einem Kleber sind die Bleche nun so miteinander verbunden, dass für den Ultraschall eine ausreichende Kopplung zwischen den Blechen besteht. Eine ausreichende Kopplung könnte man beispielsweise erreichen, wenn man zwischen zwei Blechen einen Ölfilm vorsieht. Kleber führen nicht zu mechanisch ausreichend festen Punktschweißverbindungen. Sie sollen bei der Prüfung als solche erkannt

und ausselektiert werden.

[0006] Kleber waren immer schon ein Problem bei der Blechverbindung durch Punktschweißung, sie werden zunehmend ein größeres Problem bei verzinkten Stahlblechen, insbesondere feuerverzinkten Karosserieblechen aus Stahl. Bei diesen kann durch den Schweißstrom der Fall auftreten, dass keine Schweißlinse ausgebildet wird, aber die Zinkschichten so weit erhitzt werden, dass ein Löten stattfindet, also eine sogenannte Haftlötung auftritt. Sie bildet eine Brücke für den Ultraschall.

[0007] Hier setzt nun die Erfindung ein. Sie hat es sich zur Aufgabe gemacht, die bekannten Verfahren und entsprechenden Vorrichtungen zur Ultraschallprüfung von Punktschweißverbindungen so weiterzuentwickeln, dass die Prüfung mit vernünftiger Sicherheit unterscheiden kann zwischen einerseits Klebern, insbesondere Klebern zwischen verzinkten Karosserieblechen, und andererseits ordnungsgemäßen Punktschweißverbindungen mit Ausbildung einer ausreichenden Schweißlinse.

[0008] Verfahrensmäßig wird diese Aufgabe ausgehend von den eingangs genannten Merkmalen dadurch gelöst, dass die Echosignale unterteilt werden in eine Gruppe höherer Ordnung und eine Gruppe tieferer Ordnung, dass die Echosignale niedriger Ordnung mindestens die ersten zwei Echosignale, vorzugsweise die ersten drei oder vier Echosignale einschließen, dass zu den Echosignalen höherer Ordnung mindestens das fünfte, sechste, siebte oder achte Echosignal, und dass die Echosignale höherer Ordnung in dem Verstärker mit einem höheren Verstärkungsfaktor verstärkt werden und/oder mit einer niedrigeren Auswerteschwelle bewertet werden als die Echosignale niedriger Ordnung.

[0009] Vorrichtungsmäßig wird diese Aufgabe ausgehend von den eingangs genannten Vorrichtungsmerkmalen dadurch gelöst, dass zeitabhängig der Verstärker zunächst auf eine normale Verstärkung und anschließend auf eine höhere Verstärkung und/oder die Auswerteschwelle der Auswerteeinheit zunächst auf einen höheren Wert und anschließend auf einen niedrigeren Wert einstellbar sind.

[0010] Die Erfindung macht sich die Erkenntnis zu nutze, dass der mehrfach zwischen Vorderfläche und Rückfläche hin- und herlaufende, sich dabei abschwächende Impuls stärker geschwächt wird, wenn er durch eine ordnungsgemäße Schweißlinse hindurchläuft und weniger geschwächt wird, wenn er durch eine Klebstelle hindurchläuft. Anders ausgedrückt weisen Kleber eine weniger stark abfallende Echofolge als ordnungsgemäße Punktschweißverbindungen auf.

[0011] Es hat sich überraschend gezeigt, dass es ausreicht, mindestens ein Echosignal aus dem Bereich des fünften bis achten Echosignals und gegebenenfalls weitere Echosignale oberhalb des fünften Echosignals anzuschauen, um unterscheiden zu können, ob eine Echofolge ausreichend rasch abklingt oder nicht. Nun sind aber bei der herkömmli-

chen Ultraschallprüfung diese Echosignale höherer Ordnung auf dem Bildschirm fast nicht zu erkennen und werden im allgemeinen von der Auswerteschwelle zurückgewiesen. Sie befinden sich mehr oder weniger in der Basislinie, also in Nähe der Zeitachse der Bildschirmdarstellung.

[0012] Der besondere Vorzug der Erfindung liegt nun darin, erkannt zuhaben, dass eine bevorzugte Auswertung relativ hoher Echosignale, z.B. eine höhere Verstärkung dieser Echosignale und/oder eine tiefer gelegte Auswerteschwelle eine so ausreichende Information liefert, dass mit gut vertretbarer Sicherheit zwischen einem Kleber und einer ordnungsgemäßen Punktschweißung unterschieden werden kann. Erreichen nämlich trotz bevorzugter Auswertung z.B. trotz höherer Auswerteschwelle und/oder zusätzlicher Verstärkung die Echosignale höherer Ordnung nicht die Auswerteschwelle, liegt eine ordnungsgemäße Punktschweißverbindung vor. Die zusätzliche, größere Verstärkung und/oder die Absenkung der Auswerteschwelle für die Signale höherer Ordnung wird dabei nur so hoch getrieben, wie es das Rauschen zulässt. Es darf nicht der Fall auftreten, dass das Rauschsignal selber die Auswerteschwelle erreicht.

[0013] Es hat sich gezeigt, dass durch entsprechende zusätzliche Verstärkung und/oder Absenkung der Auswerteschwelle bei den Signalen höherer Ordnung zwischen ordnungsgemäßen Punktschweißverbindungen und Klebern unterschieden werden kann.

[0014] Die normale Auswerteschwelle wird nach dem Stand der Technik bei etwa 10 % der maximalen Amplitude gesetzt. Sie kann auch darüber oder darunter liegen, typische Bereiche sind 3 bis 20 % und insbesondere 5 bis 15 %, jeweils bezogen auf eine normale Verstärkung, wie sie für die Signale niedriger Ordnung gewählt wird, nämlich eine Amplitude eines Echosignals niedrigerer Ordnung im Bereich 80 bis 100 % des Bildschirms. Zumeist gilt dies für das erste Echosignal.

[0015] Es liegt auch ein Eintrittsecho vor, das unmittelbar durch Reflektion des eingeschallten Impulses an der Vorderfläche erreicht wird, dieses Eintrittsechosignal hat einen deutlich höheren Wert als das erste Echosignal und wird somit nicht vollständig auf dem Bildschirm abgebildet, vielmehr am oberen Bildschirmrand abgeschnitten.

[0016] In einer ersten Alternative wird die Auswerteschwelle konstant gehalten, es wird also dieselbe Auswerteschwelle für alle Echosignale benutzt. Es wird lediglich die Verstärkung geändert. Vorzugsweise werden die Echosignale hintereinander auf dem Bildschirm mit der unterschiedlichen Verstärkung dargestellt, mit der sie auch verstärkt werden. Es werden also die Echosignale niedriger Ordnung, die mit der normalen Verstärkung verstärkt werden, wie üblich dargestellt. Wenn der Zeitpunkt erreicht ist, an dem die Echosignale höherer Ordnung eintreffen, ist die Verstärkung auf den höheren Wert eingestellt und

werden die nachfolgenden Signale und damit auch die Echosignale höherer Ordnung mit der höheren Verstärkung verstärkt und entsprechend dargestellt. Dabei ist es vorteilhaft, auf dem Bildschirm den Bereich, auf dem die Verstärkung höherer ist, besonders zu kennzeichnen, beispielsweise durch einen parallel zur Zeitachse verlaufenden Balken.

[0017] Bei der höheren Verstärkung wird auch das Rauschen deutlich größer. Während das Rauschsignal im Bereich normaler Verstärkung einen sehr deutlichen Abstand von der Auswerteschwelle hat, ist dies für den Bildschirmteil, in dem die Signale höherer Ordnung auftreten nicht mehr gegeben. Das Rauschsignal kann auch in die Nähe der Auswerteschwelle kommen, es kann beispielsweise maximal bei 50 % der Auswerteschwelle liegen.

[0018] In einer anderen Alternative wird die Verstärkung für alle Echosignale konstant gehalten, es wird aber die Auswerteschwelle geändert. Für die Echosignale niedriger Ordnung gilt die normale Auswerteschwelle, wie sie auch nach dem Stand der Technik gewählt wurde. Wenn der Zeitpunkt erreicht ist, an dem die Echosignale höherer Ordnung eintreffen, wird die Auswerteschwelle abgesenkt und werden die nachfolgenden Signale und damit auch insbesondere die Echosignale höherer Ordnung mit der tieferen Auswerteschwelle bewertet. Auch hierbei ist es vorteilhaft, auf dem Bildschirm den Bereich, für den die niedrigere Auswerteschwelle gilt besonders zu kennzeichnen. Aufgrund der abgesenkten Auswerteschwelle ist auch für diese Alternative der Abstand der Auswertestelle zum Rauschsignal geringer. Es muss darauf geachtet werden, dass das Rauschsignal nicht die Auswerteschwelle erreichen kann.

[0019] Es sind auch Mischformen zwischen höherer Verstärkung und zugleich abgesenkter Auswerteschwelle für die Signale höherer Ordnung möglich.

[0020] Die Gesamtlechtdicken bei Punktschweißverbindungen der hier in Rede stehenden Art liegen typischerweise zwischen einem und fünf mm. die Dicke einer ordnungsgemäßen Schweißlinse ist abhängig von der Gesamtlechtdicke. Sie liegt typischerweise im Bereich von 20 bis 80 % der Gesamtlechtdicke. Nun ist die Schwächung, die ein Ultraschallimpuls beim Durchlaufen von Materie erfährt, abhängig von der Wegstrecke. Bei dünnem, miteinander verbundenen Blechen ist die Schwächung des Ultraschallimpulses bei einem Hin- und Herlauf deutlich geringer als bei höheren Gesamtlechtdicken. Bei kleineren Gesamtlechtdicken sieht man höhere Echosignale, beispielsweise bis hin zum zehnten Echosignal, auf dem Bildschirm. Bei dickeren Gesamtlechtdicken sind diese hohen Signale nicht mehr zu sehen, sie werden zu stark geschwächt. Die mit der Erfindung gegebene Anweisung lässt sich auch wie folgt formulieren: Es ist auf diejenigen Echosignale der Gruppe höherer Ordnung zu achten, die a) erkennbar sind, b) möglichst hohen Klang haben und c) bei denen die durch das vielmalige Hin- und Herlaufen erreichte Gesamtlauftrecke so ausrei-

chend gross ist, dass zwischen der stärkeren Schwächung im Bereich der Schweisslinse und der geringeren Schwächung der Ultraschallsignale im ungestörten Blechmaterial ausreichend gut unterschieden werden kann. Dies bedeutet, dass bei dünnen Gesamtblechdicken beispielsweise das achte, neunte und zehnte Echosignal beachtet werden, während bei dicken Gesamtblechdicken eher auf das fünfte, sechste und siebte Signal abgestellt wird, eventuell sogar auch auf das vierte.

[0021] Allgemein wird auf dem Bildschirm die Zeitachse so eingestellt, dass auch das zehnte Echosignal grundsätzlich empfangen werden kann. Es wird nun zunächst nach dem Stand der Technik gearbeitet, also alle Signale werden hinsichtlich Verstärkung und Auswerteschwelle gleich behandelt. Es wird darauf geachtet, welche Signale unterhalb der Auswerteschwelle sind. Die ersten Signale, die unterhalb der Auswerteschwelle sind, werden für die Auswertung beachtet. Bei geringen Gesamtblechdicken sind dies Signale um das achte oder neunte Echosignal, bei grösseren Gesamtblechdicken beispielsweise Signale um das fünfte, sechste oder siebte Echosignal. Es wird nun untersucht, ob die Schwächung dieser, normalerweise nicht ausgewerteter Echosignale so ausreichend gross ist, dass auf Durchlauf des Echosignals durch eine ordnungsgemässe Schweisslinse geschlossen werden kann oder eben nicht.

[0022] In einer vorzugsweisen Weiterbildung wird mit ansteigenden Zeitwerten und für die Signale höherer Ordnung entweder die Verstärkung zunehmend erhöht und/oder die Auswerteschwelle zunehmend erniedrigt. Dies kann beispielsweise mit einer linearen zeitlichen Abhängigkeit erfolgen. Auf diese Weise können auch Echosignale relativ hoher Ordnung, beispielsweise ein achtes Echosignal, noch in die Auswertung eingezogen werden.

[0023] Weitere Vorteile und Merkmale der Erfindung ergeben sich aus den übrigen Ansprüchen sowie der nun folgenden Beschreibung von nicht einschränken zug verstehenden Ausführungsbeispielen, die in Bezugnahme auf die Zeichnung näher erläutert werden. In dieser Zeichnung zeigen

[0024] **Fig. 1** Eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zur Prüfung einer Punktschweißverbindung zwischen zwei Blechen,

[0025] **Fig. 2** eine Darstellung der Echosignale einer Punktschweißverbindung in Form eines sogenannten A-Bildes auf einem Bildschirm für den Fall konstanter Verstärkung und konstant gehaltener Auswerteschwelle,

[0026] **Fig. 3** eine Darstellung wie **Fig. 2**, jedoch nunmehr mit erhöhter Verstärkung im hinteren Bildschirmmittel und beibehaltener Auswerteschwelle,

[0027] **Fig. 4** einen Ausschnitt im vergrösserten Maßstab aus einer Darstellung wie **Fig. 2**, jedoch nunmehr mit abgesenkter Auswerteschwelle im hinteren Bildschirmmittel, die Verstärkung ist konstant,

[0028] **Fig. 5** eine Darstellung ähnlich **Fig. 2**, jedoch nun für eine ordnungsgemässe Punktschweißverbin-

dung.

[0029] **Fig. 1** zeigt prinzipiell eine Anordnung zur Prüfung einer Punktschweißverbindung zwischen einem ersten Blech **20** und einem zweiten Blech **22**. Die Punktschweißverbindung ist durch eine Schweisslinse **24** kenntlich gemacht.

[0030] An die zu prüfende Punktschweißverbindung ist ein Ultraschallprüfkopf **24** angekoppelt. Er ist elektrisch mit einem Ultraschallsender **EMIT 28** und einem Ultraschallempfänger **REC 30** verbunden. Wird der Ultraschallsender **28** ausgelöst, der Ultraschallprüfkopf **26** also angesteuert, wird von diesem ein Ultraschallimpuls in die zu prüfende Punktschweißverbindung eingeschaltet, siehe Pfeil **32**. Die Ultraschallemission hat im Bereich der Schweisslinse **24** etwa einen Durchmesser, der dem Durchmesser einer ordnungsgemässen Schweisslinse entspricht, z.B. 4 mm. Der Ultraschallimpuls läuft in bekannter Weise mehrfach und unter Abschwächung zwischen einer Vorderfläche und einer Rückfläche der miteinander verbundenen Bleche **20, 22** hin und her. Als erstes Echosignal wird derjenige Anteil des Impulses bezeichnet, der einmal an der Rückfläche **36** reflektiert wurde und dann in den Ultraschallprüfkopf **26** eintritt. Das zweite Echosignal ist entsprechend ein zweimaliger Hin- und Herlauf durch die Gesamtblechdicke **D**. Die empfangenen Echosignale werden vom Ultraschallempfänger **30**, der bereits eine Vorverstärkung durchführt, einer Verstärkerstufe zugeleitet. Diese besteht im konkreten Ausführungsbeispiel aus zwei hintereinander angeordneten linearen Verstärkern, nämlich dem ersten Verstärker **AMPL 38** und dem zweiten Verstärker **AMPL 40**. Dem ersten Verstärker **38** ist ein Schalter **42** parallelgeschaltet. Wird er geschlossen, so ist der erste Verstärker **38** wirkungslos. Ist der Schalter **42** geöffnet, werden die Signale des Ultraschallempfängers **30** verstärkt, beispielsweise um 6 dB.

[0031] Es ist auch möglich, den Verstärkungsfaktor der Verstärkerstufe elektronisch einzustellen, hierzu ist ein Eingang **44**, siehe Pfeil, vorgesehen, über den eine Stellspannung zugeleitet werden kann.

[0032] Am Ausgang der Verstärkerstufe ist eine Auswerteeinheit **EVAL 46** angeordnet. Sie ist beispielsweise als Komparator ausgeführt. Über eine einstellbare Auswerteschwelle **UA**, deren Stellgrösse über einen Eingang **48** zugeführt wird, erfolgt eine Bewertung der Signale. Nur solche Signale, die oberhalb der Auswerteschwelle liegen, werden durchgelassen, die anderen werden unterdrückt.

[0033] Der Auswerteeinheit **46** folgt ein Analog-Digital-Wandler **A/D 50**, an ihn schliesst sich eine Videostufe **VIDEO 52** und dahinter ein Monitor **MON 54** an. Gesteuert wird mittels einer Steuereinheit **CON 56**, die mit der Videostufe **52** verbunden ist und dadurch in Abhängigkeit von der Bildschirmdarstellung Steuersignale geben kann. Über einen Eingang **58** werden der Steuereinheit **56** Informationen eingegeben, beispielsweise für welchen Wert **t** auf der Zeitachse (waagerechte Achse) des Bildschirms die Verstär-

kung geändert werden soll, also beispielsweise der Schalter **42** geschlossen oder geöffnet werden soll und/oder die Auswerteschwelle in der Auswerteeinheit **46** beeinflusst werden soll. Es können mehrere Zeitpositionen ausgewählt werden, zu denen eine Änderung der Verstärkung und/oder der Auswerteschwelle vorgenommen wird, es können auch beliebige Verläufe eine Änderung der Verstärkung und/oder der Auswerteschwelle von einem ersten Wert, der zu einem Zeitpunkt t_S vorliegt, zu einem zweiten Wert, der zu einem Zeitpunkt t_F .

[0034] **Fig. 2** zeigt in typisches Monitorbild der Prüfung einer Punktschweissverbindung nach dem Stand der Technik. Nach rechts ist die Zeit t aufgetragen, die Bildschirmdarstellung wird so gewählt, dass möglichst das erste bis zehnte, in **Fig. 2** konkret das erste bis achte Echosignal dargestellt werden können. Nach oben ist die Signalspannung U der empfangenen Signale dargestellt. In **Fig. 2** ist auch der Spannungswert U_A der Auswerteschwelle eingezeichnet. Er ist über die gesamte Zeit, die auf dem Bildschirm dargestellt ist, konstant.

[0035] Auf dem Bildschirm erkennt man zunächst ein Eintrittsecho, das zum Zeitpunkt t_E eintrifft. Im Anschluss hieran erkennt man mehrere Echosignale, die zu den Zeitpunkten t_1 , t_2 usw. eintreffen. Die Verstärkung des regelbaren Verstärkers ist so eingestellt, dass die Signalspannung des ersten Echosignals – oder eines grössten Echosignals – oberhalb von 80 %, aber unterhalb von 100 % Bildschirmhöhe liegt. Dieser Zustand ist in **Fig. 2** gezeigt. Aus **Fig. 2** ist der bekannte Abfall der Amplituden der Echosignale erkennbar. Nur die ersten vier Echosignale bleiben oberhalb der Auswerteschwelle U_A , die darauffolgenden Echosignale bleiben darunter und werden nicht in der Auswertung, die durch die Auswerteeinheit **46** erfolgt, berücksichtigt.

[0036] Es zeigt sich nun, dass die Darstellung, wie sie in **Fig. 2** gezeigt ist, sowohl bei ordnungsgemässen Punktschweissverbindungen als auch bei Klebern, insbesondere Klebern bei verzinkten Karosserieblechen, anzutreffen ist.

[0037] **Fig. 3** zeigt wiederum ein A-Bild für die in **Fig. 2** geprüfte Punktschweissverbindung. Im Gegensatz zur Prüfung, die das Ergebnis gemäss **Fig. 2** liefert, ist aber nun im rechten Bildschirmbereich die Verstärkung grösser als im Bereich kleinerer Zeiten, also für den Bildschirmanfang. Durch einen Doppelpfeil **60** ist der Zeitbereich kenntlich gemacht, für den eine höhere Verstärkung gilt, also beispielsweise der Schalter **42** geöffnet ist. Der Spannungswert für die Auswerteschwelle U_A ist ebenso wie in **Fig. 2** für die gesamte abgebildete Zeitdauer konstant.

[0038] Man erkennt, dass nun die Signale auch des fünften, sechsten und siebten Echosignals, die zu den Zeitpunkten t_5 , t_6 und t_7 eintreffen, die Auswerteschwelle überschreiten. Man erkennt auch ein deutlich angestiegenes Rauschsignal. Es ist nun im Gegensatz zu **Fig. 2** möglich, auch die Echosignale **5** bis **7** in die Auswertung einzubeziehen. Anhand ih-

rer Amplitude kann entschieden werden, ob die Schwächung, die der Ultraschallimpuls bei mehrfachem Hin- und Herlaufen durch die Punktschweissverbindung erfährt, so ausreichend hoch ist, dass auf eine ordnungsgemässe Schweisslinse geschlossen werden kann, oder eben nicht ausreichend hoch ist, sodass auf einen Kleber geschlossen werden kann. Im Ausführungsbeispiel nach **Fig. 3** liegt ein Kleber vor. Für den Fall, dass auch das fünfte bis siebte Echosignal bei der hier untersuchten Punktschweissverbindung die Auswerteschwelle übersteigt, liegt nicht ausreichende Schwächung vor. Dabei kann die Auswertung so eingestellt werden, dass schon ein einziges Signal vom fünften Echosignal aufwärts, das die Auswerteschwelle U_A übersteigt, ein Ausgangssignal „fehlerhafte Punktschweissverbindung“ bewirkt.

[0039] Im Ausführungsbeispiel nach **Fig. 3** gehören die ersten bis vierten Echosignale zur Gruppe der Echosignale tieferer Ordnung, während die Echosignale fünf bis sieben zur Gruppe der Echosignale höherer Ordnung gehören. Durch Vergleich beider Gruppen wird festgestellt, ob die Qualität der Punktschweissverbindung ausreichend ist.

[0040] Wird im Gegensatz zu den bisher besprochenen Ausführungsbeispielen eine Punktschweissverbindung geprüft, die eine grössere oder geringere Gesamtlechdicke D hat, müssen andere Gruppierungen gewählt werden. Bei sehr grosser Gesamtlechdicke D , beispielsweise 5 mm, gehören beispielsweise nur die beiden ersten Echosignale zur Gruppe höherer Ordnung, während bereits das dritte oder vierte Echosignal zur Gruppe tieferer Ordnung gehören kann. Bei einer sehr dünnen Gesamtlechdicke von beispielsweise 1 mm kann es sein, dass erst ab siebtem Echosignal, vielleicht auch erst achtem oder neuntem Echosignal die Gruppe tieferer Ordnung beginnt.

[0041] Dabei ist auch das Blechmaterial entscheidend. Es gibt Blechqualitäten, bei denen eine Schweisslinse stark unterschiedlich zum ungestörten Blechmaterial absorbiert, in diesem Falle ist eine Unterscheidung zwischen Klebern und ordnungsgemässen Schweisslinsen relativ gut durchführbar, es gibt aber auch Blechqualitäten, bei denen sich die Schwächung des Ultraschallimpulses innerhalb der Schweisslinse nur wenig unterscheidet von der Schwächung im normalen Blech. In diesem Fall ist die Qualitätsaussage schwieriger. Erfindungsgemäss werden möglichst lange Gesamtlauftrecken betrachtet und ausgewertet, also möglichst numerisch hohe Echosignale, weil bei diesen eine unterschiedliche Schwächung in der Schweisslinse bzw. im ungestörten Material besser zu erkennen ist als bei Echosignalen tieferer Numerierung.

[0042] **Fig. 5** zeigt das Beispiel einer ordnungsgemässen Punktschweissverbindung für Bleche entsprechend der bisher diskutierten Prüfung. **Fig. 5** unterscheidet sich von **Fig. 3** nur dadurch, dass trotz zusätzlicher Verstärkung im hinteren Bildschirmbe-

reich die Echosignale fünf, sechs usw. nicht die Auswerteschwelle UA erreichen. Diese Echosignale sind also nach mehrfachem Durchlauf der Schweisslinse so stark geschwächt, dass trotz zusätzlicher Verstärkung die Auswerteschwelle nicht mehr erreicht wird. Es handelt sich somit um einen ordnungsgemässen Schweisspunkt.

[0043] Anschliessend an die Ultraschallprüfung wurde eine zerstörende Prüfung durchgeführt. Dabei zeigte es sich, dass der bei der in den **Fig. 2** und **3** untersuchten Punktschweissverbindung ein Kleber vorlag, es konnte keine Schweisslinse festgestellt werden. Dagegen wurde bei der Punktschweissverbindung für **Fig. 5** eine ordnungsgemässe Punktschweissverbindung vorgefunden.

[0044] **Fig. 4** zeigt eine Alternative zur Prüfung gemäss **Fig. 3**. Es wird nun nicht die Verstärkung im hinteren Bildschirm Drittel angehoben, vielmehr wird die Auswerteschwelle abgesenkt. **Fig. 4** zeigt, wie der Spannungswert der Auswerteschwelle UA zwischen dem vierten Echosignal und dem fünften Echosignal, also zwischen T4 und T5 nach unten abgesenkt wird, z. B. um 6 dB. Er bleibt immer noch deutlich oberhalb des Rauschsignals. **Fig. 4** zeigt das Ergebnis für dieselbe Punktschweissverbindung wie **Fig. 2** und **3**. Durch Absenken der Auswerteschwelle UA erreichen nun auch die Echosignale fünf bis sieben die Auswerteschwelle, sodass sie in der Auswertung berücksichtigt werden. Es liegt, wie bereits ausgeführt, ein Kleber vor. Würde die Punktschweissverbindung gemäss **Fig. 5** durch Absenken der Auswerteschwelle geprüft, so würden die fünften bis siebten Echosignale unterhalb der abgesenkten Auswerteschwelle bleiben.

[0045] **Fig. 4** zeigt, dass die Auswerteschwelle nicht abrupt, sondern innerhalb einer gewissen Zeit und vorzugsweise nach einer entsprechenden Funktion UA(t) abgesenkt wird. Dadurch vermeidet man einen Durchgriff auf das tatsächliche Signal. Entsprechend wird auch die Verstärkung nicht abrupt, wie es eigentlich der Schalter **42** bewirkt, verändert, vielmehr wird die Verstärkung innerhalb einer gewissen Zeit verändert, also als Funktion der Zeit.

[0046] Es ist durchaus möglich, mehrere Zeitpunkte auszuwählen, an denen entweder die Verstärkung und/oder die Auswerteschwelle verändert wird. Weiterhin haben sich Verfahren zur Mittelung der Signalspannung über eine Vielzahl von einzelnen gesendeten Ultraschallimpulsen, sogenannten „Schüssen“, bewährt. Es werden beispielsweise in schneller Folge, beispielsweise mit 100 KHz, eine Vielzahl von Schüssen eingeschallt, beispielsweise 100 oder mehr. Die jeweils erhaltenen elektrischen Signale, zu denen insbesondere auch die Echosignale gehören, werden Bemittelt. Dadurch wird der Spannungspegel des Rauschens erniedrigt. Als Verfahren zur Mittelung eignen sich bekannte Verfahren nach dem Stand der Technik, beispielsweise Lock-In, Boxcar.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ultraschallprüfung von Punktschweißverbindungen zwischen Blechen, bei welchem Verfahren

- ein Ultraschallprüfkopf (**26**) an die zu prüfende Punktschweißverbindung angekoppelt wird,
- mindestens ein Ultraschallimpuls in die zu prüfende Punktschweißverbindung eingeschallt wird, wo der Impuls unter Abschwächung mehrfach zwischen einer Vorderfläche (**34**) und einer Rückfläche (**34**) der Punktschweißverbindung hin- und herläuft und
- mit dem Ultraschallprüfkopf (**26**) als Echosignale Anteile des Impulses empfangen werden, die mindestens einmal an der Rückfläche (**34**) reflektiert wurden,
- die so empfangenen Echosignale in einem Verstärker (**38, 40**) verstärkt, vorzugsweise linear verstärkt und anschließend in einer Auswerteeinheit (**46**) ausgewertet werden, wobei die Auswerteeinheit (**46**) nur solche Signale berücksichtigt, die mindestens eine Auswerteschwelle UA erreichen, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Echosignale unterteilt werden in eine Gruppe höherer Ordnung und eine Gruppe tieferer Ordnung, dass die Echosignale niedriger Ordnung mindestens die ersten zwei Echosignale, vorzugsweise die ersten drei Echosignale einschließen, dass zu den Echosignalen höherer Ordnung mindestens das fünfte, sechste, siebte oder achte Echosignal gehört, und dass die Echosignale höherer Ordnung in dem Verstärker (**38, 40**) mit einem höheren Verstärkungsfaktor verstärkt werden und/oder mit einer niedrigeren Auswerteschwelle bewertet werden als die Echosignale niedriger Ordnung.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass für die Echosignale niedriger Ordnung der Verstärkungsfaktor des Verstärkers (**38, 40**) so eingestellt ist, dass mindestens ein Echosignal, z.B. das erste Echosignal, weniger als 100 %, aber mehr als 80 % der maximalen Ausgangsspannung des Verstärkers (**38, 40**) erreicht und insbesondere auf einem Bildschirm, der dem Verstärker (**38, 40**) nachgeschaltet ist, eine Amplitude kleiner als 100%, aber mehr als 80% Amplitude aufweist.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass für die Echosignale niedriger Ordnung die Auswerteschwelle mindestens zwei dB, vorzugsweise mindestens sechs dB, größer ist, als die Auswerteschwelle für die Echosignale niedrigerer Ordnung

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass für die Echosignale höherer Ordnung der Verstärkungsfaktor des Verstärkers (**38, 40**) mindestens zwei dB, vorzugsweise mindestens sechs dB, größer ist, als der Verstärkungsfaktor für die Echosignale niedrigerer Ordnung.

5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass für die Echosignale höherer Ordnung der höhere Verstärkungsfaktor des Verstärkers **(38, 40)** nicht so groß und/oder die niedrigere Auswerteschwelle nicht so klein gewählt ist, dass das Rauschen die Auswerteschwelle erreichen kann, insbesondere das Rauschen zumindest 6 dB unter der Auswerteschwelle liegt.

6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass für die Echosignale höherer Ordnung der Verstärkungsfaktor des Verstärkers **(38, 40)** zeitabhängig ansteigt und/oder der Wert der Auswerteschwelle zeitabhängig abfällt.

7. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Punktschweißverbindung zwischen verzinkten Stahlblechen, insbesondere feuerverzinkten Karosserieblechen aus Stahl vorliegt.

8. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Ultraschallprüfkopf **(26)** vorgesehen ist, dem eine Sendeempfangseinheit mit einem linearen Verstärker **(38, 40)** und einer Auswerteeinheit **(46)** zugeordnet sind, dass die Auswerteeinheit **(46)** eine Auswerteschwelle aufweist, und dass zeitabhängig der Verstärker **(38, 40)** zunächst auf eine normale Verstärkung und anschliessend auf eine höhere Verstärkung und/oder die Auswerteschwelle der Auswerteeinheit **(46)** zunächst auf einen höheren Wert und anschliessend auf einen niedrigeren Wert einstellbar sind.

9. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Verstärker **(38, 40)** ein Einstellmittel für die Einstellung seiner Verstärkung hat und dass Schaltmittel vorgesehen sind, die bewirken, dass die Verstärkung des Verstärkers **(38, 40)** während einer Messung geändert wird.

10. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswerteeinheit **(46)** zumindest zwei Auswerteschwellen aufweist, von denen die eine höher liegt als die andere, und dass Schaltmittel vorgesehen sind, die bewirken, dass in der Auswerteeinheit **(46)** während einer Prüfung zunächst die höhere Auswerteschwelle und danach die tiefere Auswerteschwelle vorliegt.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Fig. 1

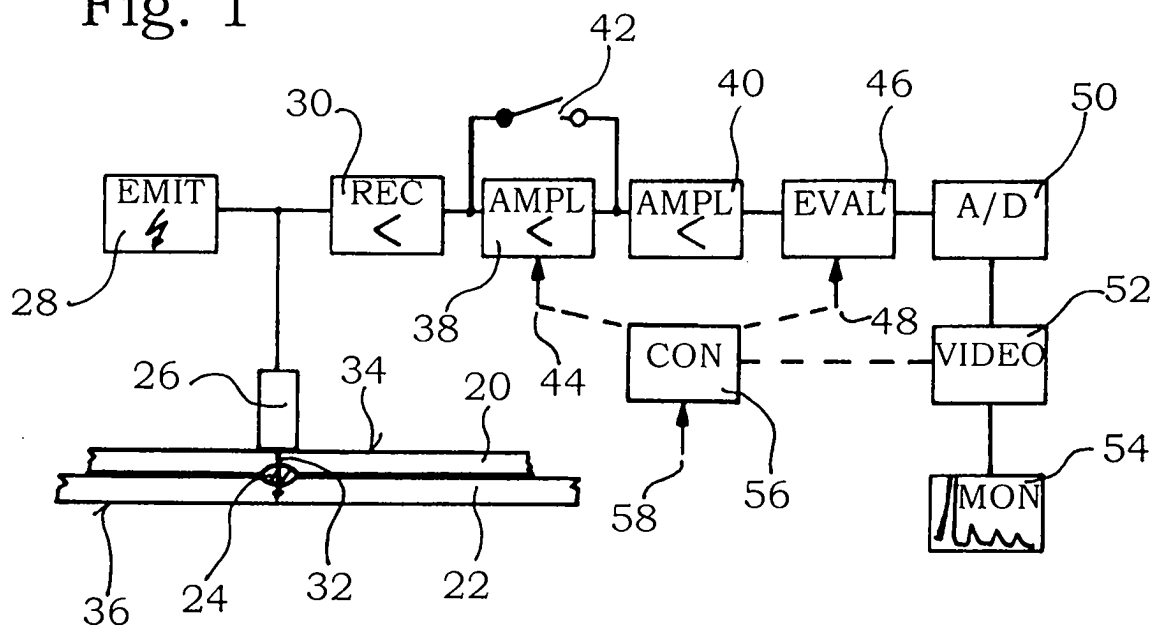


Fig. 2

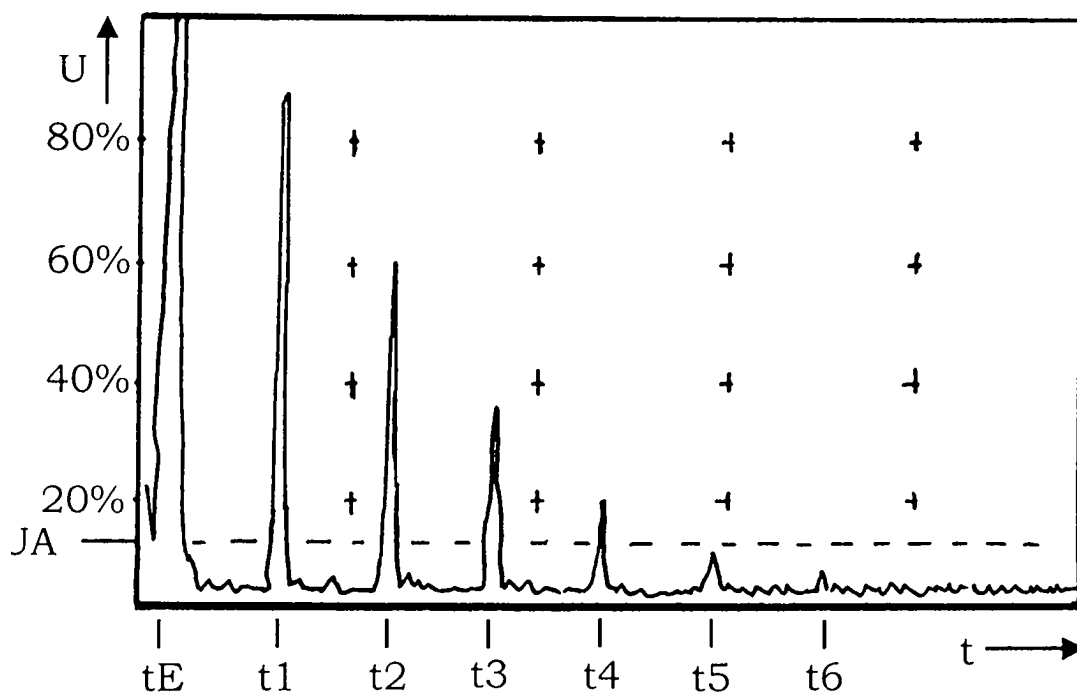


Fig. 3

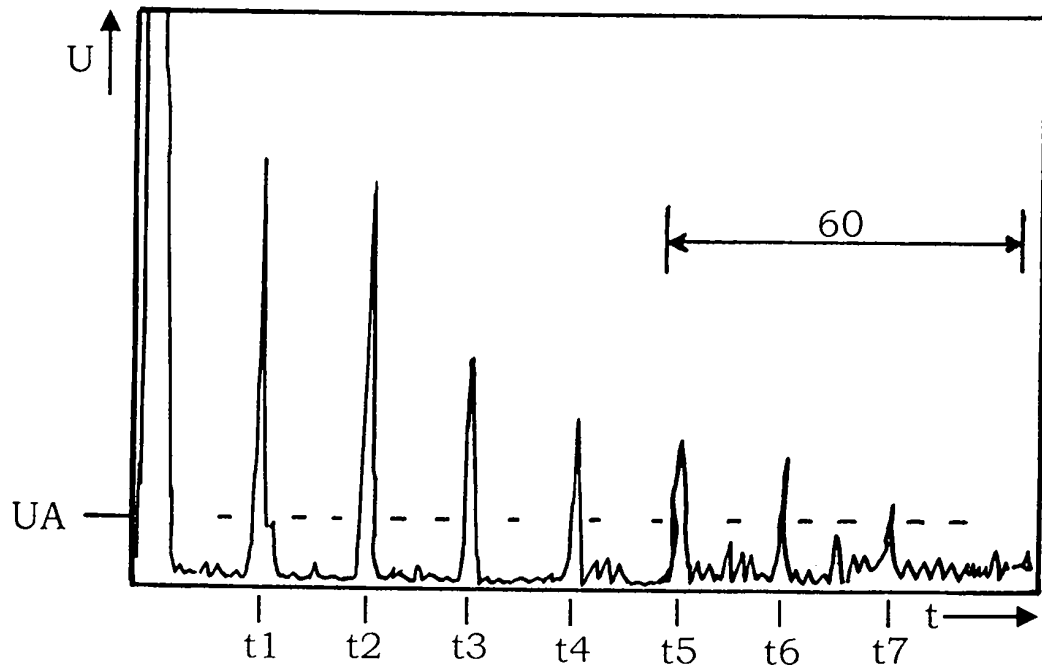


Fig. 4

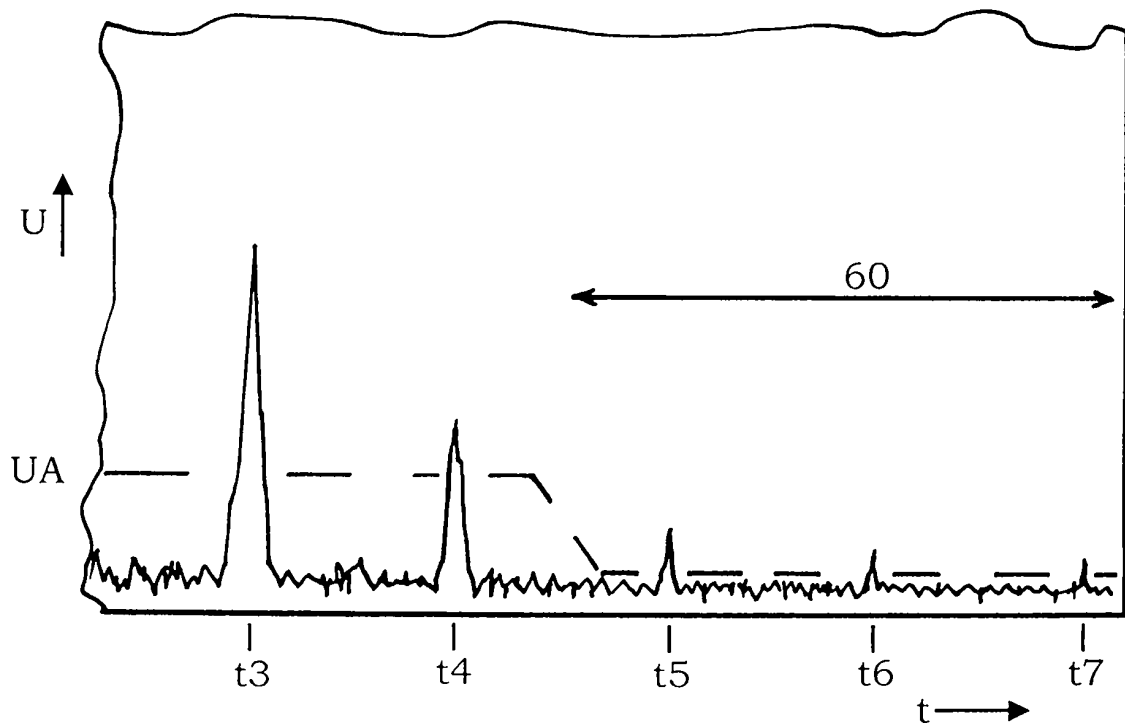


Fig. 5

