



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 601 06 444 T2 2005.10.13**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 296 797 B1**

(51) Int Cl.7: **B23K 26/02**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **601 06 444.5**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/FR01/02157**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **01 984 097.4**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 02/002268**

(86) PCT-Anmeldetag: **05.07.2001**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **10.01.2002**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **02.04.2003**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **13.10.2004**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **13.10.2005**

(30) Unionspriorität:
0008798 06.07.2000 FR

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, GB, IT

(73) Patentinhaber:
Aerospatiale Matra CCR, Paris, FR

(72) Erfinder:
ESMILLER, Bruno, F-92000 Nanterre, FR

(74) Vertreter:
Henkel, Feiler & Hänzel, 81675 München

(54) Bezeichnung: **VERFAHREN ZUR FESTSTELLUNG, LOKALISIERUNG UND IDENTIFIZIERUNG VON FEHLERSTELLEN IN EINER SCHWEISSNAHT MIT EINEM LASERSTRAHL**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1, das zum Erfassen, Lokalisieren und Identifizieren von Mängeln, die eventuell in von einem oder mehreren Laserstrahlen hergestellten Schweißnähten bzw. Schweißraupen vorhanden sind, auf nicht destruktive Weise und in Echtzeit bestimmt ist (siehe beispielsweise US-A-5 651 903).

[0002] Genauer gesagt bezieht sich die Erfindung auf ein Erfassungs- und Identifizierungsverfahren von Fehlern bzw. Mängeln, welches optische Messfühler einsetzt, die gegenüber Schwankungen der Lichtintensität des Plasmas, das sich in der Schweißzone unter der Einwirkung eines oder mehrerer Laserstrahlen bildet, empfindlich sind.

[0003] Die Erfindung wird auf das Schweißen von beliebigen Metallteilen angewandt, wie z. B. Teilen aus Aluminiumlegierung, aus Titanlegierung, aus rostfreiem Stahl etc. Sie kann insbesondere zur Steuerung der Stoßschweißung zweier Bleche, des Anschweißens einer Versteifung bzw. Verstärkung auf einem Blech (T-Schweißung) etc. verwendet werden.

[0004] Übrigens ist die Erfindung an unterschiedliche Schweißkonfigurationen anpassbar. So betrifft sie alle Schweißtypen, welche einen oder mehrere Laser vom Typ YAG, CO₂ etc. mit oder ohne Zusatzmetall bzw. Auftragsmetall einsetzen.

[0005] Die Mängel, die durch das Verfahren gemäß der Erfindung erfasst und identifiziert werden können, sind interne oder externe Mängel, die als schädigend für die Schweißnaht angesehen werden. Unter diesen Mängeln werden als nicht einschränkende Beispiele das Fehlen einer gegenseitigen Durchdringung der Schweißnähte im Fall einer T-Schweißung, die Schweißdrahtprobleme, das Vorhandensein von Löchern oder von Ausblühungen bzw. Lunkern, die Existenz von geometrischen Mängeln etc. angeführt.

Stand der Technik

[0006] In der Luftfahrtindustrie wird der Zusammenbau der verschiedenen Teile wie z. B. der die äußere Umhüllung bildenden Bleche (Rumpf, Tragwerk etc.) eines Luftfahrzeugs untereinander sowie mit den internen Versteifungselementen für gewöhnlich mittels Nieten realisiert. Der Ersatz der traditionellen Nietverbindungen durch Schweißverbindungen würde einen bemerkenswerten Fortschritt darstellen, insbesondere hinsichtlich der Masse, der Aerodynamik und der Herstellungszeit.

[0007] Um die Verkleidungsbleche im Fall einer Montage Blech-Versteifungselement nicht zu verformen, erfordert die Ersetzung von Nietverbindungen

durch Schweißverbindungen den Einsatz der Laserschweißung. Diese Technik ermöglicht nämlich hohe Arbeitsgeschwindigkeiten, ohne zu stärkeren Verformungen zu führen.

[0008] Wenn man davon ausgeht, dass die Laserschweißtechnik anstelle der traditionellen Montagetechnik durch Nieten verwendet wird, muss man über wirksame und zuverlässige Mittel verfügen können, um die Schweißnähte zu kontrollieren und die eventuell erfassten Fehler zu identifizieren, um diese schnell zu beseitigen. Die Kontrollmittel müssen nicht-destruktiv sein und müssen so weit wie möglich eine Echtzeit-Datenerfassung gestatten, welche die Kontrolle ermöglicht, d.h. direkt während des Durchgangs des Schweißkopfs.

[0009] Es existieren Schweißnaht-Kontroll- oder -nachlaufsysteme, die von einem oder mehreren Lasern realisiert werden, und die optische Messfühler einsetzen, welche die Lichtstärkenschwankungen des Plasmas oder die Temperaturschwankungen der Schweißnaht messen. Das unter der Bezeichnung JURCA "LWM900" vertriebene Nachlaufsystem umfasst zwei Messfühlertypen. Das unter der Bezeichnung PROMOTEC "Welding Monitor FP1000" vertriebene Nachlaufsystem umfasst nur Messfühler, die auf die Lichtstärkenschwankungen des Plasmas ansprechen.

[0010] Diese existierenden Schweißvorgang-Nachlaufsysteme werden in der Hauptsache auf die Automobilindustrie angewandt und sind für die Kontrolle von Schweißnähten bzw. Schweißraupen bestimmt, die zwischen Stahlteilen hergestellt werden. Die Verarbeitungsmittel der von den Messfühlern gelieferten Signale werden im wesentlichen als Funktion des Ansprechverhaltens der Messfühler gegenüber diesem Material konzipiert. Sie sind daher gänzlich ungeeignet für Materialien unterschiedlicher Art und insbesondere für Titan- oder Aluminiumlegierungen, die in anderen Industriezweigen wie z. B. der Luftfahrtindustrie eingesetzt werden. Außerdem weisen die Signalverarbeitungsmittel, die bei diesen bekannten Schweißvorgang-Nachlaufsystemen verwendet werden, nicht die im Rahmen dieses letzteren Industriezweigs erforderliche Präzision und Zuverlässigkeit auf.

[0011] Außerdem verwenden die Schweißvorgang-Nachlaufsysteme, die in der Automobilindustrie verwendet werden, sperrige Messfühler, die in unmittelbarer Nähe zum Schweißkopf platziert sind. Eine solche Anordnung beschränkt die Anzahl der Messfühler und folglich die Anzahl von verfügbaren Messsignalen zur Erfassung der Fehler bzw. Mängel.

[0012] Unter den bestehenden Schweißvorgang-Nachlaufsystemen sind auch die in den Dokumenten US-A-5 329 091, US-A-5 651 903 und

US-A-5 272 312 beschriebenen Systeme anzuführen.

[0013] In dem Dokument US-A-5 329 091 wird die Ultraviolettstrahlung des Plasmas, die von dem Laserstrahl erzeugt wird, von einem in Nähe des Schweißpunkts plazierten und mit einem geeigneten Filter ausgestatteten Messfühler erfasst. Das von dem Messfühler gelieferte analoge Signal wird mit einem Schwellenwert verglichen und es wird ihm ein Wert 1 oder 0 zugewiesen, je nachdem, ob er über oder unter diesem Schwellenwert liegt. Anschließend werden die Perioden, in denen das Signal gleich 0 ist, nach ihren Zeitdauern sortiert. Dieses System gestattet die Erfassung bestimmter Mängel. Es gestattet jedoch nicht, sie auf sichere Weise und in ihrer Gesamtheit zu identifizieren.

[0014] In dem Dokument US-A-5 651 903 beobachtet ein erster optischer Messfühler die Schwankungen von ultravioletten Emissionen des Plasmas, und ein zweiter optischer Messfühler misst die Temperaturschwankungen der Schweißnaht stromab der Schweißzone. Anschließend werden diejenigen Zonen bestimmt, in denen die Schwankungen der von diesen beiden Messfühlern gesendeten Signale maximal sind, und wenn diese Zonen im wesentlichen die gleichen sind, und die Signale mit charakteristischen Werten bestimmter Fehler verglichen, um ein Fehlersignal auszugeben, wenn ein Mangel erfasst worden ist. Wie im vorhergehenden Fall gestattet dieses System nicht, auf zuverlässige Weise alle eventuell an der Schweißnaht vorhandenen Mängel zu erfassen und vor allem zu unterscheiden.

[0015] In dem Dokument US-A-5 272 312 werden zwei auf das von dem Laserstrahl gebildete Plasma ausgerichtete optische Messfühler verwendet, welche jeweils die Ultraviolettstrahlungen und Infrarotstrahlungen beobachten. Eventuelle Fehler bzw. Mängel werden erfasst, indem das von jedem der Messfühler gelieferte Signal individuell bearbeitet wird. Die Unterscheidung zwischen den verschiedenen Mängeltypen wird nicht auf zuverlässige Weise sichergestellt.

[0016] In dem Dokument US-A-5 486 677 wird die Schmelztiefe eines der Einwirkung eines Laserstrahls ausgesetzten Teils anhand von Signalen geregelt, die von Detektoren emittiert werden, welche gegenüber von dem Plasma oder dem Dampf emittierten optischen Signalen empfindlich sind, oder nach einer Reflexion an einem Spiegel. An den Signalen wird eine feststehende Fourier-Transformation durchgeführt, um sie einer Frequenzanalyse zu unterziehen und sie dann in zwei unterschiedliche Frequenzbänder zu unterteilen. Aus jedem dieser Bänder werden zwei mittlere Amplituden abgeleitet, und die eine wird durch die andere geteilt, um einen Wert zu berechnen, der die Steuerung bzw. Kontrolle der

Schmelztiefe gestattet.

Abriss der Erfindung

[0017] Aufgabe der Erfindung ist ein Verfahren, das es ermöglicht, in Echtzeit und auf zuverlässige und reproduzierbare Weise Fehler bzw. Mängel, die eventuell in den durch Laser hergestellten Schweißnähten vorhanden sind, zu erfassen und zu identifizieren.

[0018] Gemäß der Erfindung wird dieses Ergebnis erhalten mittels eines Verfahrens zur Erfassung und Identifizierung von Fehlern bei der Herstellung einer Schweißnaht bzw. Schweißraupe durch mindestens einen ein Plasma in einer Schweißzone bildenden Laserstrahl, gemäß dem in Echtzeit mindestens zwei Messsignale erfasst werden, die von unterschiedlichen Messfühlern geliefert werden, welche die Variationen der Lichtintensität des Plasmas erfassen, dadurch gekennzeichnet, dass die Messsignale kombiniert werden, indem auf sie mindestens ein mathematischer Operator, der zur Erfassung eines entsprechenden Fehlers geeignet ist, angewandt wird, um mindestens ein kombiniertes Signal zu erhalten, indem jedes kombinierte Signal mit einem vorbestimmten Schwellenwert verglichen wird und das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein des jedem mathematischen Operator entsprechenden Fehlers je nach dem Resultat des Vergleichs diagnostiziert wird.

[0019] Der Anmelder hat festgestellt, dass die Kombination von Signalen, die durch die Anwendung bestimmter besonders einfacher mathematischer Operatoren erstellt wird, eine beliebige Unterscheidung der verschiedenen Fehler bzw. Mängel untereinander gestattet.

[0020] In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird der mathematische Operator aus der die Addition, die Subtraktion, die Multiplikation, die Division und eine Kombination dieser Operationen enthaltenden Gruppe gewählt.

[0021] Eine erste Anwendung der Erfindung betrifft das Schweißen einer Versteifung bzw. Verstärkung auf einem Blech durch zwei auf beiden Seiten der Versteifung angeordnete Laserstrahlen.

[0022] Bei dieser Anwendung werden zwei Gruppen von mindestens einem optischen Messfühler oder zwei Gruppen mindestens zweier optischer Messfühler eingesetzt, welche die Schwankungen der Lichtintensität des Plasmas in unterschiedlichen optischen Bändern erfassen, und die auf beiden Seiten der Versteifung angeordnet sind, wobei die optischen Messfühler der beiden Gruppen identisch sind.

[0023] Wenn zwei Gruppen mindestens eines Messfühlers verwendet werden, werden vorzugswei-

se die von einem Messfühler jeder Gruppe gelieferten Messsignale addiert und das Vorhandensein einer mangelnden gegenseitigen Durchdringung der Schweißnähte infolge eines Leistungsmangels der Laserstrahlen erfasst, wenn das Ergebnis unter einem ersten vorbestimmten Schwellenwert liegt.

[0024] Wenn zwei Gruppen von mindestens zwei Messfühlern verwendet werden, werden vorteilhafterweise einerseits die von einem ersten Paar identischer Messfühler gelieferten Messsignale und andererseits die von einem zweiten Paar identischer Messfühler gelieferten Messsignale addiert und die beiden erhaltenen Summen miteinander multipliziert, und es wird eine mangelnde gegenseitige Durchdringung der Schweißnähte infolge eines anderen Mangels als eines Leistungsmangels der Laserstrahlen erfasst, wenn das Ergebnis über einem zweiten vorbestimmten Schwellenwert liegt.

[0025] Im allgemeinen werden das Versteifungs- bzw. Verstärkungselement und das Blech vorab durch Schweißpunkte in bezug auf einander positioniert. Hierbei werden vorzugsweise zwei Gruppen mindestens eines Messfühlers verwendet, wobei die von den beiden identischen Messfühlern gelieferten Messsignale untereinander dividiert werden und das Vorhandensein von mangelhaften, vorab positionierten Schweißpunkten erfasst wird, wenn das Ergebnis über einem vorbestimmten dritten Schwellenwert liegt.

[0026] Wenn zwei Gruppen mindestens zweier Messfühler verwendet werden, werden vorteilhafterweise einerseits die von einem ersten Paar identischer Messfühler gelieferten Messsignale und andererseits die von einem zweiten Paar identischer Messfühler gelieferten Messsignale addiert, die beiden erhaltenen Summen durcheinander dividiert und eine ungenügende Breite der Schweißnaht erfasst, wenn das Ergebnis der Division unter einem vorbestimmten vierten Schwellenwert liegt.

[0027] Eine weitere Anwendung der Erfindung betrifft das Stoßschweißen von zwei Blechen durch einen einzigen Laserstrahl.

[0028] In diesem Fall werden mindestens zwei optische Messfühler verwendet, welche Variationen der Lichtintensität des Plasmas in unterschiedlichen Bändern erfassen, die von den beiden Messfühlern gelieferten Messsignale werden untereinander dividiert und eine mangelhafte Dicke der Schweißnaht, wenn das erhaltene Resultat unter einem ersten Schwellenwert liegt, sowie eine fehlende Schweißnaht, wenn das Resultat über einem zweiten, über dem ersten Schwellenwert liegenden Schwellenwert liegt, erfasst.

[0029] In der bevorzugten Ausführungsform der Er-

findung werden die Messsignale mittels mindestens einer Gruppe aus drei Messfühlern erhalten, wobei die Messfühler jeder Gruppe Variationen der Lichtemission des Plasmas jeweils in einem hauptsächlich ultravioletten Frequenzband, in einem hauptsächlich sichtbaren Frequenzband und in einem hauptsächlich infraroten Frequenzband erfassen.

[0030] Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung werden sogenannte "Plasma"-Messfühler als optische Messfühler verwendet, von denen jeder eine Optikfaser umfasst, von der ein erstes Ende in Nähe der Schweißzone plaziert wird, ein optisches Filter, das in der Verlängerung des zweiten Endes der Optikfaser plaziert wird, sowie eine Photodiode, die gegenüber dem zweiten Ende der Optikfaser auf der anderen Seite des Filters plaziert wird.

[0031] In diesem Fall wird das erste Ende der Optikfaser etwa 10 cm von der Schweißzone plaziert.

[0032] Vorteilhafterweise wird ein zusätzliches Messsignal mittels eines zusätzlichen optischen Messfühlers erhalten, der als "thermischer Messfühler" bezeichnet wird, und der Variationen von Wärmeenergie der Schweißnaht hinter der Schweißzone erfasst.

[0033] In diesem Fall umfasst der thermische Messfühler eine weitere Optikfaser, von der ein erstes Ende hinter der Schweißzone plaziert wird und zur Schweißnaht ausgerichtet wird, sowie eine gegenüber Wärmestrahlung empfindliche Photodiode, die in der Verlängerung des zweiten Endes der zusätzlichen Optikfaser plaziert wird. Übrigens wird ein optisches Fokussierungsmittel, wie z. B. eine Linse am ersten Ende der Optikfaser plaziert. Das erste Ende der Optikfaser wird hierbei vorzugsweise in einem zwischen 10 cm und 20 cm von der Schweißzone liegenden Abstand plaziert. Die Messzone eines zwischen 1 und 3 mm liegenden Durchmessers wird vorzugsweise zwischen 5 mm und 5 cm hinter der Schweißzone je nach dem geschweißten Material plaziert.

[0034] In der bevorzugten Ausführungsform der Erfindung werden die Messsignale kombiniert und mit vorbestimmten Schwellenwerten verglichen, nachdem die Signale in Echtzeit für die betreffende Schweißnaht erhalten wurden.

[0035] In diesem Fall werden vorteilhafterweise der Mittelwert, der normalisierte Mittelwert und anschließend die typische Abweichung jedes Messsignals errechnet und eine unregelmäßige Qualität der Schweißnaht diagnostiziert, wenn die typische Abweichung einen vorbestimmten Wert überschreitet.

[0036] Hierbei kann anschließend der Mittelwert jedes Messsignals mit vorangehenden Mittelwerten

des Signals verglichen werden, die von einer gegebenen Anzahl von vorher kontrollierten Schweißnähten aufgezeichnet wurden, und es wird eine Abweichung der Messvorrichtung diagnostiziert, wenn der Mittelwert des Signals um mindestens etwa 30% in bezug auf die vorangehenden Mittelwerte abgewichen ist.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

[0037] Im folgenden wird anhand eines nicht einschränkenden Beispiels eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben, in denen zeigen:

[0038] [Fig. 1](#) eine perspektivische Ansicht, die schematisch eine Laserschweißvorrichtung darstellt, die für das Schweißen eines Verstärkungs- bzw. Versteifungselements auf einem Blech eingesetzt wird und die mit einem System zur Erfassung und Identifizierung von Fehlern bzw. Mängeln ausgestattet ist, welches das Verfahren gemäß der Erfindung einsetzt,

[0039] [Fig. 2](#) eine Seitenansicht zur schematischen Darstellung der Position des thermischen Messfühlers in Bezug auf diejenige der Plasma-Messfühler,

[0040] [Fig. 3](#) ein Ablaufdiagramm zur Erläuterung der verschiedenen Schritte der Messsignalverarbeitung in dem System zur Erfassung und Identifizierung von Fehlern der [Fig. 1](#),

[0041] [Fig. 4A](#) bis [Fig. 4C](#) Kurven, die in drei speziellen Anwendungen den Vergleich von mit vorbestimmten Schwellenwerten kombinierten Messsignalen, der gemäß der Erfindung durchgeführt wird, veranschaulicht.

Detaillierte Beschreibung einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung

[0042] Wie schematisch in [Fig. 1](#) dargestellt ist, bezieht sich die Erfindung auf die nicht-destruktive Echtzeitkontrolle der Qualität einer zwischen zwei Teilen **10** und **12** durch einen oder mehrere Laser **14** ausgeführten Schweißverbindung (durch Pfeile in [Fig. 1](#) dargestellt). Wie anhand eines nicht einschränkenden Beispiels dargestellt ist, kann das Teil **10** ein im wesentlichen flaches oder leicht gekrümmtes Blech sein und das Teil **12** ein Verstärkungs- bzw. Versteifungselement, das auf die Innenfläche des Blechs **10** mittels zweier Laserstrahlen **14** geschweißt wird, welche sich auf beiden Seiten des Versteifungselements **12** befinden. Die Erfindung ist aber auch auf andere Verbindungsarten anwendbar, wie z. B. die Stoßverbindung zweier Bleche etc. ...

[0043] Übrigens sind die Teile **10** und **12**, deren

Schweißverbindung kontrolliert werden soll, Metallteile, die aus verschiedenen Metallen hergestellt sein können, wie z. B. Aluminiumlegierungen, Titanlegierungen, rostfreie Stähle, etc. ...

[0044] Der oder die Laser **14**, die zum Verschweißen der Teile **10** und **12** verwendet werden, können aus allen üblicherweise in der Industrie verwendeten Lasertypen bestehen, um die betreffenden Materialien zu schweißen.

[0045] Gemäß einer üblichen Technik, der sogenannten "Punktschweißung", werden die Teile **10** und **12**, die durch einen Schweißvorgang zu verbinden sind, im allgemeinen vorher in bezug auf einander durch (nicht dargestellte) Schweißpunkte positioniert.

[0046] Der Schweißvorgang der Teile **10** und **12** wird durch ein (nicht dargestelltes) Schweißgerät realisiert, in das ein in Nähe der zu schweißenden Teile **10** und **12** gelegener Schweißkopf integriert ist, sowie durch Mittel zum Ausführen einer Relativverschiebung zwischen dem Schweißkopf und den Teilen entlang einer vorbestimmten Schweißlinie. Diese verschiedenen Elemente sind dem Fachmann bekannt und gehören nicht zur Erfindung. Sie werden somit nicht beschrieben. Zum besseren Verständnis der Erfindung wird hier einfach darauf hingewiesen, dass in den Schweißkopf insbesondere optische Systeme integriert sind, welche es ermöglichen, den oder die Laserstrahlen auf die Schweißzone zu richten, eine oder mehrere Zuführvorrichtungen für zum Schweißen notwendiges Auftragsmetall und eine oder mehrere Düsen, über die ein neutrales Gas, wie z. B. Argon oder Helium, der Schweißzone zugeführt wird.

[0047] Gemäß der Erfindung wird dem Schweißapparat ein Kontrollsystem oder ein Schweißvorgangs-Nachlaufsystem integriert, das die Erfassung, die Lokalisierung und die Identifizierung in Echtzeit, d.h. während des Durchgangs des Schweißkopfs, eventueller Mängel in der hergestellten Schweißnaht gestattet.

[0048] In der bevorzugten Ausführungsform der Erfindung, die schematisch in [Fig. 1](#) dargestellt ist, umfasst das Kontrollsystem sieben optische Messfühler C1 bis C7 sowie Mittel **10** zur Erfassung und Verarbeitung von über jeden dieser Messfühler gelieferten Messsignalen. In anderen Anwendungen kann die Anzahl eingesetzter optischer Messfühler von sieben abweichen und von einer beliebigen Anzahl gebildet werden, die höher oder gleich zwei ist, ohne den Rahmen der Erfindung zu überschreiten.

[0049] Die Messfühler C1 bis C6 sind sogenannte "Plasma-Messfühler", welche Lichtintensitätsschwankungen des von dem Laserstrahl **14** in der Schweißzone gebildeten Plasmas erfassen. Zu die-

sem Zweck ist jeder der Messfühler C1 bis C6 an dem Schweißkopf angebracht und auf den Auftreffpunkt der Laserstrahlen auf den Teilen **10** und **12** ausgerichtet.

[0050] Jeder der Plasma-Messfühler C1 bis C6 umfasst jeweils eine Optikfaser **16-1** bis **16-6**, von der sich ein erstes Ende in Nähe der Schweißzone befindet und zu der Zone hin ausgerichtet ist, d.h. zu dem Auftreffpunkt der Laserstrahlen **14** auf den Teilen **10** und **12**. Genauer gesagt befinden sich die Optikfasern **16-1** bis **16-3** auf einer Seite des Versteifungselements **12** und sind zu dem von dem auf eben diese Seite hin gerichteten Laserstrahl **14** gebildeten Plasma hin ausgerichtet, während die Optikfasern **16-4** bis **16-6** sich auf der anderen Seite des Versteifungselements **12** befinden und zu dem von dem auf diese andere Seite hin gerichteten Laserstrahl **14** gebildeten Plasma hin ausgerichtet sind. Um das Herausspritzen von geschmolzenem Metall sowie die starke Wärmeentwicklung während des Schweißvorgangs zu vermeiden, ist das erste Ende jeder der Optikfasern **16-1** bis **16-6** in etwa 10 cm von der Schweißzone plaziert.

[0051] Die Optikfasern **16-1** bis **16-6** sind beispielsweise PMMA-Fasern mit Indexsprung. Diese Art von Fasern weist insbesondere den Vorteil auf, eine starke numerische Öffnung zu präsentieren, welche eine Beobachtung des gesamten Plasmas gestattet, sowie eine gute Übertragung für die beobachteten Wellenlängen.

[0052] Jeder der Messfühler C1 bis C6 umfasst außerdem jeweils ein optisches Filter **18-1** bis **18-6**, das in der Verlängerung des entgegengesetzten Endes der entsprechenden Optikfaser plaziert ist. Genauer gesagt lassen die Optikfilter **18-1** und **18-4** der Messfühler C1 und C4 hauptsächlich ein Frequenzband passieren, das einer Ultraviolettstrahlung entspricht, die Filter **18-2** und **18-5** der Messfühler C2 und C5 lassen hauptsächlich ein Frequenzband passieren, das einer sichtbaren Strahlung entspricht, und die Filter **18-3** und **18-6** lassen hauptsächlich ein Frequenzband passieren, das einer Infrarotstrahlung entspricht.

[0053] Jeder der Messfühler C1 bis C6 umfasst außerdem jeweils eine Photodiode **20-1** bis **20-6**, die gegenüber dem zweiten Ende der entsprechenden Optikfaser auf der anderen Seite des Filters plaziert ist. Die Photodioden wandeln die optischen Signale, die sie empfangen, in elektrische Signale um. Diese letzteren Signale bilden die von den Messfühlern C1 bis C6 gelieferten Messsignale. Die Photodioden **20-1** bis **20-6** sind beispielsweise Photodioden aus Silizium, die in der von 0,3 bis 1,1 μm reichenden Zone ansprechen.

[0054] In der soeben beschriebenen Anordnung ge-

stattet die Verwendung der Optikfasern **16-1** bis **16-6**, über eine hohe Anzahl von Messfühlern zu verfügen, wobei gleichzeitig die Platzeinnahme des Kontrollsystems in Nähe der Schweißzone maximal reduziert wird. Die relativ platzraubenden Elemente wie z. B. die Filter und die Photodioden können nämlich außerhalb dieser Zone installiert werden.

[0055] Diese Anordnung ermöglicht es auch, Messsignale zu erfassen, die eine hohe Anzahl unterschiedlicher Größen darstellen (in dem beschriebenen Beispiel sechs), was dazu beiträgt, mehr Informationen zu erhalten, die die Erfassung von eventuellen Mängeln sowie deren Unterscheidung untereinander ermöglichen.

[0056] Der siebte Messfühler C7, der fakultativ ist, ist ein sogenannter "thermischer" Messfühler, der Schwankungen von Wärmeenergie der Schweißnaht hinter der Schweißzone erfasst, d.h. hinter dem Auftreffpunkt der Laserstrahlen **14** auf den Teilen **10** und **12**. Genauer gesagt, und wie insbesondere in [Fig. 2](#) dargestellt ist, umfasst der thermische Messfühler C7 auch eine Optikfaser **16-7**. Ein erstes Ende dieser Optikfaser **16-7** ist zu der Schweißnaht S hin ausgerichtet, die hinter der Schweißzone auf einer Seite des Versteifungselements **12** gebildet wird. Genauer gesagt ist das erste Ende der Optikfaser **16-7** auf einen Punkt der Schweißnaht S ausgerichtet, der in einem Abstand L zwischen etwa 5 mm und etwa 1 cm hinter der Schweißzone gelegen ist. Die anderen Positionen des Messpunkts gestatten es nämlich nicht, auswertbare Signale zu erhalten.

[0057] Das der Schweißnaht S zugewandte Ende der Optikfaser **16-7** ist mit einem Fokussiermittel **22-7** ausgestattet, beispielsweise einer Linse mit einem Brennpunkt von 20 mm, welche eine Begrenzung der Beobachtungszone des Messfühlers C7 auf einen Kreis von etwa 1 bis 3 mm Durchmesser ermöglicht, sowie eine Platzierung des Endes der mit ihrem Fokussiersystem ausgestatteten Faser zwischen 10 und 20 cm von der Schweißzone entfernt.

[0058] Die Optikfaser **16-7** ist eine Siliziumfaser mit einer schwachen Dämpfung im infrarotnahen Bereich (zwischen 1 und 1,8 μm). Eine Photodiode **20-7** ist gegenüber dem entgegengesetzten Ende der Optikfaser **16-7** plaziert. Diese Photodiode **20-7** wandelt die von der Optikfaser **16-7** ausgesandten optischen Signale in elektrische Signale um, die ebenfalls Messsignale gemäß der Erfindung bilden. Das spektrale Ansprechverhalten der Photodiode **20-7** variiert beispielsweise zwischen 0,8 und 1,8 μm . In diesem Fall wird auch ein optisches Filter **18-7** zwischen die Optikfaser **16-7** und die Photodiode **20-7** eingefügt, um die Strahlung einer Wellenlänge unter 1 μm zu blockieren, damit der Messfühler C7 das von dem Plasma emittierte Licht nicht erkennt.

[0059] Ein elektronische Passierbandfilter (nicht dargestellt) ist am Ausgang jeder der Photodioden **20-1** bis **20-7** plaziert, um eventuelle parasitäre Signale in den behandelten Signalen zu unterdrücken. Die von jedem der Messfühler C1 bis C7 gelieferten Messsignale werden an die Erfassungs- und Verarbeitungsmittel **10** übertragen. Diese Mittel, die insbesondere einen Computer umfassen, können an einer beliebigen Stelle entweder in Nähe des Schweißkopfs oder nicht angeordnet werden.

[0060] Wie schematisch in [Fig. 3](#) dargestellt ist, führen die Signalerfassungs- und -verarbeitungsmittel **10** der Reihe nach eine bestimmte Anzahl von Operationen durch, die im folgenden detailliert beschrieben werden.

[0061] Während eines ersten Schritts E1, der gleichzeitig mit der Herstellung der Schweißnähte S durch die Laserstrahlen **14** durchgeführt wird, werden die sieben von den Messfühlern C1 bis C7 gelieferten Messsignale aufgezeichnet.

[0062] Ein zweiter Schritt, der in [Fig. 3](#) bei E2 dargestellt ist, wird ausgeführt, wenn die Schweißnähte S fertiggestellt sind. In diesem Stadium wird für jedes der Messsignale der mittlere Gesamtwert dieses Signals während der gesamten Messdauer entsprechend der Durchführung der betreffenden Schweißnähte S berechnet. Anschließend wird der normalisierte Mittelwert jedes Messsignals berechnet, indem dieses Signal in Einheiten festgelegt wird. Auf diese Weise werden insbesondere Probleme vermieden, die sich aus den Abweichungen in den Messwerten infolge der Unterschiede in der Relativpositionierung der Messfühler ergeben. Der mittlere Gesamtwert und der mittlere normalisierte Wert jedes der Signale werden in einer Datei aufgezeichnet, in der der zeitliche Ablauf aller ausgeführten Kontrollen im Speicher behalten wird.

[0063] Während eines Schritts E3 wird überprüft, ob keine inakzeptable Abweichung des Kontrollsystems existiert. Zu diesem Zweck wird der mittlere Gesamtwert jedes der Messsignale, der soeben berechnet wurde, mit den mittleren Gesamtwerten dieser Signale verglichen, die während einer bestimmten Anzahl von vorher durchgeführten entsprechenden Messungen aufgezeichnet wurden. Beispielsweise werden die fünf letzten aufgezeichneten Messwerte verglichen. Wenn dieser Vergleich eine Abweichung ergibt, die über einem vorbestimmten Schwellenwert liegt (beispielsweise 30%), wird die Bedienungsperson durch Auslösen eines Alarms davon verständigt. Dieser Alarm kann irgendeine Form annehmen (visuell, akustisch etc.).

[0064] Während des folgenden Schritts, der durch die Bezugsziffer E4 in [Fig. 3](#) gekennzeichnet ist, wird jedes dieser sieben Messsignale normalisiert. Dieser

Vorgang wird durchgeführt, indem der augenblickliche Wert jedes Signals durch den im Schritt E2 berechneten Mittelwert dieses Signals dividiert wird. Anschließend wird die typische Abweichung für jedes der Messsignale anhand der normalisierten Signale festgelegt.

[0065] Während des folgenden Schritts E5 wird überprüft, ob der Wert der typischen Abweichung jedes Messsignals, der soeben berechnet wurde, nicht einen diesem Signal eigenen vorbestimmten Schwellenwert überschreitet. Wenn dieser-Schwellenwert überschritten wird, wird die Bedienungsperson durch das Aussenden eines Alarmsignals in irgendeiner geeigneten Form (akustisch, visuell etc.) davon verständigt. Die Überschreitung dieses Schwellenwerts zeigt nämlich eine Schweißnahtqualität auf, welche auf exzessive Weise auf ihrer gesamten Länge variiert.

[0066] Das Programm geht anschließend zu einem Schritt E6 über, der gemäß der Erfindung entscheidend ist, und während dem die verschiedenen normalisierten Messsignale verarbeitet werden, um die verschiedenen eventuell in der soeben hergestellten Schweißnaht vorhandenen Fehler bzw. Mängel zu erfassen, zu lokalisieren und zu identifizieren.

[0067] Während dieses Schritts E6 wird mindestens ein einfacher mathematischer Operator auf eine oder mehrere Gruppen mindestens zweier normalisierter Messsignale so angewandt, dass ein oder mehrere kombinierte Messsignale erhalten werden. Dieser Operator und die Signalgruppe, auf die er angewandt wird, sind der Erfassung eines bestimmten Fehlertyps eigen, wie die im folgenden beschriebenen Beispiele veranschaulichen werden.

[0068] Jedes durch die Anwendung eines speziellen Operators erhaltene kombinierte Signal wird anschließend bei E7 mit einem vorbestimmten Schwellenwert verglichen, der ebenfalls von dem Operator und folglich von der Art des zu erfassenden Fehlers abhängt. Wenn das kombinierte Signal diesen Schwellenwert überschreitet (d.h. wenn es über diesem Schwellenwert liegt, wenn dieser einem Maximalwert entspricht oder wenn es unter diesem Schwellenwert liegt, wenn dieser einem Minimalwert entspricht), wird die Bedienungsperson vom Auftreten einer Anomalie, von der Stelle des Fehlers und von dessen Art informiert. Diese Information kann durch ein beliebiges Mittel wie z. B. einen visuellen, akustischen oder anderen Alarm, eine Anzeige etc. bewerkstelligt werden.

[0069] Die durch die Anwendung dieser verschiedenen Verarbeitungsgänge erhaltenen Ergebnisse werden schließlich in Form eines Syntheseberichts, wie er bei E8 in [Fig. 3](#) angegeben ist, erhalten. Der Synthesebericht gibt insbesondere an, ob die Schweiß-

verbindung akzeptabel ist oder nicht, ob bestimmte Einstellungen an dem Schweißapparat modifiziert werden müssen, etc. ...

[0070] In dem in den [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) dargestellten speziellen Fall des Schweißens eines Versteifungselements **12** auf ein Blech **10** werden verschiedene Verarbeitungsgänge, die im Schritt E7 durchgeführt werden können, im folgenden als Beispiele beschrieben, wenn man über sieben Messfühler C1 bis C7 verfügt.

[0071] Bei einem ersten Verarbeitungsschritt werden die normalisierten, von den Messfühlern C1 und C4 oder den Messfühlern C2 und C5 abgeleiteten Messsignale addiert. Der Operator ist also eine einfache Addition. Anschließend wird das erhaltene kombinierte Signal mit einem vorbestimmten Schwellenwert verglichen. Wenn die vorher berechnete Summe zumindest auf einem Teil der Länge der Schweißnähte S unter dem Schwellenwert liegt, so bedeutet dies, dass in dieser Zone eine mangelnde gegenseitige Durchdringung der Schweißnähte vorhanden ist und dass dieser Mangel von einem Leistungsmangel der Laserstrahlen herrührt. Diese Information wird dabei der Bedienungsperson in irgendeiner geeigneten Form zur Kenntnis gebracht.

[0072] Die [Fig. 4A](#) ist eine bei einem Versuch erhaltene Kurve, wobei dieser erste Verarbeitungsschritt auf die Basis der aus den Messfühlern C1 und C4 hervorgegangenen normalisierten Messsignalen angewandt wird. Auf dieser Kurve wird an der Abszisse der Abstand (in mm) aufgetragen, der entlang der Schweißnaht zurückgelegt wurde, und auf der Ordinate das kombinierte Signal SC1, das der Summe der von den Messfühlern C1 und C4 gelieferten normalisierten Messsignalen entspricht. Wie ersichtlich ist, wird das kombinierte Signal SC1 kleiner als der untere Schwellenwert S11 in dem Abschnitt der Schweißnähte, die zwischen 900 mm und 1350 mm gelegen sind. Daraus geht hervor, dass die gegenseitige Durchdringung der Schweißnähte in dieser Zone aufgrund eines Leistungsmangels der Laserstrahlen ungenügend ist.

[0073] Gemäß einem zweiten Arbeitsgang wird auf die zweiten normalisierten Messsignale, die aus den Messfühlern C1, C2, C4 und C5 hervorgehen, ein mathematischer Operator angewandt, der einerseits die von den Messfühlern C1 und C4 kommenden Signale und andererseits die von den Messfühlern C2 und C5 kommenden Signale addiert und dann die beiden Summen miteinander multipliziert. Das kombinierte Signal, das durch Anwenden dieses Operators erhalten wird, wird anschließend mit einem vorbestimmten zweiten Schwellenwert verglichen. Wenn dieser Schwellenwert überschritten wird, so wird daraus abgeleitet, dass eine mangelnde gegenseitige Durchdringung der beiden Schweißnähte S

infolge eines anderen Problems als dem Leistungsmangel der Laserstrahlen existiert. Dieses andere Problem kann beispielsweise ein Mangel an Auftragsmetall sein. Wie im vorhergehenden Fall wird die entsprechende Information dem Benutzer bzw. Anwender zur Kenntnis gebracht.

[0074] Gemäß einem dritten Verarbeitungsgang wird auf die normalisierten, von den Messfühlern C1 und C4 kommenden Messsignale ein aus einer Division bestehender Operator angewandt. Mit anderen Worten wird das vom Messfühler C1 kommende normalisierte Messsignal durch das vom Messfühler C4 kommende normalisierte Messsignal dividiert. Das so erhaltene kombinierte Signal wird anschließend mit einem dritten Schwellenwert verglichen. Wenn der Vergleich ergibt, dass das kombinierte Signal diesen dritten Schwellenwert überschreitet, so wird daraus abgeleitet, dass die "Zentrierung" ("pointage") der Teile mangelhaft ist. Die entsprechende Information wird dem Benutzer in irgendeiner geeigneten Form übermittelt.

[0075] Schließlich wird gemäß einem vierten Verarbeitungsgang einerseits die Summe der von den Messfühlern C1 und C4 kommenden normalisierten Messsignale und andererseits die Summe der von den Messfühlern C2 und C5 kommenden normalisierten Messsignale berechnet. Anschließend wird die erste dieser Summen durch die zweite geteilt, wonach das erhaltene kombinierte Signal mit einem unteren vierten Schwellenwert verglichen wird. Wenn sich aus diesem Vergleich ergibt, dass das so berechnete kombinierte Signal unter diesem vierten Schwellenwert liegt, so wird daraus abgeleitet, dass die Schweißnähte S zu schmal sind. Die entsprechende Information wird in irgendeiner geeigneten Form dem Benutzer übermittelt.

[0076] Der gleiche Fehler kann erfasst werden, indem ein dem vorhergehenden (Operator) vergleichbarer Operator angewandt wird, wobei die beiden Summen durch zwei Multiplikationen ersetzt werden. Man vergleicht hierbei das erhaltene kombinierte Signal, indem die Ergebnisse dieser beiden Multiplikationen untereinander geteilt werden, mit einem anderen vorbestimmten unteren Schwellenwert.

[0077] Wie bereits angegeben wurde, findet die Erfindung auch auf andere Schweißstypen Anwendung. So kann sie auch im Fall der Stoßschweißung zweier Bleche durch einen einzigen Laserstrahl eingesetzt werden.

[0078] In diesem Fall werden beispielsweise mindestens zwei Plasma-Messfühler verwendet, welche Lichtintensitätsschwankungen des Plasmas in unterschiedlichen optischen Bändern erfassen. Die normalisierten Messsignale, die von diesen Messfühlern kommen, können hierbei untereinander geteilt wer-

den, um ein kombiniertes Signal zu liefern, das anschließend mit einem vorbestimmten unteren Schwellenwert und/oder mit einem vorbestimmten oberen Schwellenwert verglichen wird.

[0079] Wenn das kombinierte Signal unter dem unteren Schwellenwert liegt, so wird daraus abgeleitet, dass die Schweißnaht einen hohlen Abschnitt in der betreffenden Zone aufweist. Wenn hingegen das kombinierte Signal über dem oberen Schwellenwert liegt, so wird daraus abgeleitet, dass die Schweißnaht unvollständig ist.

[0080] Die [Fig. 4B](#) und [Fig. 4C](#) veranschaulichen die Versuchsergebnisse, die jeweils beim Stoßschweißen zweier Bleche aus rostfreiem Stahl und beim Stoßschweißen zweier Bleche aus Titanlegierung durchgeführt wurden. In den beiden Fällen wurde die Schweißverbindung durch einen CO₂-Laser hergestellt. Wie in [Fig. 4A](#) ist an der Abszisse die Distanz (in mm) längs der Schweißnaht und an der Ordinate der Wert des Verhältnisses der dem kombinierten Signal entsprechenden Signale aufgetragen.

[0081] Im Fall der [Fig. 4B](#) ist das kombinierte Signal kleiner als der vorbestimmte untere Schwellenwert SC2 zwischen 301 und 340 mm und größer als der vorbestimmte obere Schwellenwert SS2 von 340 mm bis 392 mm. Daraus wird abgeleitet, dass die Schweißnaht einen hohlen Abschnitt in der ersten Zone und einen nicht geschweißten Abschnitt in der zweiten Zone aufweist.

[0082] Im Fall der [Fig. 4C](#) überschreitet das kombinierte Signal SC3 den vorbestimmten oberen Schwellenwert SS3 in dem Abschnitt der Schweißnaht, der einer Distanz von mehr als 270 mm entspricht. Daraus wird abgeleitet, dass die Schweißnaht in dieser Zone unvollständig ist.

[0083] Im allgemeinen ist der gemäß der Erfindung verwendete mathematische Operator ein einfacher, aus einer Addition, einer Subtraktion, einer Multiplikation, einer Division oder irgendeiner Kombination dieser verschiedenen Operationen bestehender Operator. Die Anzahl der eingesetzten Messfühler kann ebenfalls eine beliebige Zahl sein, die größer oder gleich 2 ist.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erfassung, Lokalisierung und Identifizierung von Fehlern bei der Herstellung einer Schweißnaht bzw. Schweißraupe (S) durch mindestens einen ein Plasma in einer Schweißzone bildenden Laserstrahl (14), wobei in Echtzeit mindestens zwei Messsignale erfasst werden, die von unterschiedlichen Messfühlern (C1-C6) geliefert werden, welche die Variationen der Lichtintensität des Plasmas erfassen, **dadurch gekennzeichnet**, dass für

jeden der zu erfassenden, zu lokalisierenden und zu identifizierenden Fehler die von den optischen Messfühlern (C1-C6) gelieferten mindestens zwei Messsignale kombiniert werden, indem auf sie mindestens ein mathematischer Operator, der zur Erfassung eines entsprechenden Fehlers geeignet ist, angewandt wird, um mindestens ein kombiniertes Signal zu erhalten, jedes kombinierte Signal mit dem dem entsprechenden Fehler zugeordneten Schwellenwert verglichen und das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein des jedem mathematischen Operator entsprechenden Fehlers je nach dem Resultat des Vergleichs diagnostiziert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der mathematische Operator aus der Addition, Subtraktion, Multiplikation, Division und eine Kombination derselben umfassenden Gruppe ausgewählt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, angewandt auf das Schweißen eines Verstärkungs- bzw. Versteifungselements (12) auf ein Blech (10) durch zwei auf beiden Seiten des Verstärkungselements plazierte Laserstrahlen (14), wobei zwei Gruppen mindestens eines optischen Messfühlers (C1, C2, C3; C4, C5, C6) verwendet werden, die auf beiden Seiten des Verstärkungselements angeordnet werden, wobei die optischen Messfühler der beiden Gruppen identisch sind, die von einem Messfühler jeder Gruppe gelieferten Mess-Signale addiert werden und das Vorhandensein einer fehlenden gegenseitigen Durchdringung der Schweißnähte infolge eines Leistungsmangels der Laserstrahlen erfasst wird, wenn das Ergebnis unter einem ersten vorbestimmten Schwellenwert liegt.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 oder 3, angewandt auf das Schweißen eines Verstärkungs- bzw. Versteifungselements (12) auf ein Blech (10) durch zwei auf beiden Seiten des Verstärkungselements plazierte Laserstrahlen (14), bei dem zwei Gruppen von mindestens zwei optischen Messfühlern (C1, C2, C3; C4, C5, C6) verwendet werden, welche Variationen der Lichtintensität des Plasmas in unterschiedlichen optischen Bändern erfassen und auf beiden Seiten des Verstärkungselements angeordnet sind, wobei die optischen Messfühler der beiden Gruppen identisch sind, und bei dem einerseits die von einem ersten Paar identischer Messfühler gelieferten Messsignale und andererseits die von einem zweiten Paar identischer Messfühler gelieferten Messsignale addiert werden, die beiden erhaltenen Summen miteinander multipliziert werden und eine mangelhafte gegenseitige Durchdringung der Schweißraupen bzw. Schweißnähte infolge eines anderen Mangels als eines Leistungsmangels der Laserstrahlen erfasst wird, wenn das Ergebnis über einem zweiten vorbestimmten Schwellenwert liegt.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4,

angewandt auf das Schweißen eines Verstärkungs- bzw. Versteifungselements (**12**) auf ein Blech (**10**) durch zwei auf beiden Seiten des Verstärkungselements platzierte Laserstrahlen (**14**), bei dem das Versteifungs- bzw. Verstärkungselement und das Blech vorab durch Schweißpunkte in bezug aufeinander positioniert werden, bei dem zwei Gruppen mindestens eines optischen Messfühlers (C1, C2, C3; C4, C5, C6) verwendet werden, die auf beiden Seiten des Verstärkungselements angeordnet werden, wobei die optischen Messfühler der beiden Gruppen identisch sind, die von den beiden identischen Messfühlern gelieferten Messsignale durcheinander dividiert werden und das Vorhandensein von mangelhaften vorab positionierten Schweißpunkten erfasst wird, wenn das Ergebnis über einem vorbestimmten dritten Schwellenwert liegt.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 5, angewandt auf das Schweißen eines Verstärkungs- bzw. Versteifungselements (**12**) auf ein Blech (**10**) durch zwei auf beiden Seiten des Verstärkungselements platzierte Laserstrahl (**14**), bei dem zwei Gruppen von mindestens zwei optischen Messfühlern (C1, C2, C3; C4, C5, C6) verwendet werden, welche Variationen der Lichtintensität des Plasmas in unterschiedlichen optischen Bändern erfassen und auf beiden Seiten des Verstärkungselements angeordnet sind, und bei dem die optischen Messfühler der beiden Gruppen identisch sind, wobei einerseits die von einem ersten Paar identischer Messfühler gelieferten Messsignale und andererseits die von einem zweiten Paar identischer Messfühler gelieferten Messsignale addiert werden, die beiden erhaltenen Summen durcheinander dividiert werden und eine ungenügende Breite der Schweißnaht erfasst wird, wenn das Ergebnis der Division unter einem vorbestimmten vierten Schwellenwert liegt.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, angewandt auf das Stoß-Schweißen von zwei Blechen durch einen einzigen Laserstrahl, wobei mindestens zwei optische Messfühler verwendet werden, welche Variationen der Lichtintensität des Plasmas in unterschiedlichen optischen Bändern erfassen, die von den beiden Messfühlern gelieferten Messsignale durcheinander dividiert werden und eine mangelhafte Dicke der Schweißnaht, wenn das erhaltene Resultat unter einem ersten Schwellenwert liegt, sowie eine fehlende Schweißnaht, wenn das Resultat über einem zweiten, über dem ersten Schwellenwert liegenden Schwellenwert liegt, erfasst wird.

8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Messsignale mittels mindestens einer Gruppe aus drei Messfühlern (C1, C2, C3; C4, C5, C6) erhalten werden, die Messfühler jeder Gruppe Variationen der Lichtemission des Plasmas jeweils in einem hauptsächlich ultravioletten Frequenz-

band, in einem hauptsächlich sichtbaren Frequenzband und in einem hauptsächlich infraroten Frequenzband erfassen.

9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei optische Messfühler (C1, C2, C3; C4, C5, C6) verwendet werden, von denen jeder eine Optikkfaser (**16-1** bis **16-6**), von der ein erstes Ende in Nähe der Schweißzone platziert wird, ein optisches Filter (**18-1** bis **18-6**), das in der Verlängerung des zweiten Endes der Optikkfaser platziert wird, sowie eine Photodiode (**20-1** bis **20-6**), die gegenüber dem zweiten Ende der Optikkfaser auf der anderen Seite des Filters platziert wird, umfasst.

10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei das erste Ende der Optikkfaser etwa 10 cm von der Schweißzone platziert wird.

11. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei ein zusätzliches Messsignal mittels eines zusätzlichen optischen Messfühlers (C7) erhalten wird, der Variationen von Wärmeenergie der Schweißnaht hinter der Schweißzone erfasst.

12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei der weitere optische Messfühler (C7) eine zusätzliche optische Faser (**16-7**) aufweist, von der ein erstes Ende hinter der Schweißzone platziert wird und zur Schweißnaht hin ausgerichtet wird, sowie eine gegenüber Wärmestrahlung empfindliche Diode (**20-7**), die in der Verlängerung des zweiten Endes der zusätzlichen Optikkfaser platziert wird.

13. Verfahren nach Anspruch 12, wobei das erste Ende der zusätzlichen Optikkfaser (**16-7**) in einem Abstand platziert wird, der zwischen etwa 10 cm und etwa 20 cm von der Schweißzone liegt.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 oder 13, wobei ein optisches Fokussierungsmittel (**22-7**) am ersten Ende der zusätzlichen optischen Faser (**16-7**) platziert wird.

15. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Messsignale kombiniert und mit vorbestimmten Schwellenwerten verglichen werden, nachdem die Signale in Echtzeit für die in Frage kommende Schweißnaht erhalten wurden.

16. Verfahren nach Anspruch 15, wobei der Mittelwert, der normalisierte Mittelwert und dann die typische Abweichung jedes Messsignals berechnet werden und eine unregelmäßige Qualität der Schweißnaht diagnostiziert wird, wenn die typische Abweichung einen vorbestimmten Wert überschreitet.

17. Verfahren nach Anspruch 16, wobei der Mittelwert jedes Messsignals mit vorhergehenden Mittel-

werten des Signals verglichen, für eine gegebene Anzahl von vorher kontrollierten Schweißnähten aufgezeichnet und eine Abweichung der Messvorrichtung diagnostiziert wird, wenn der Mittelwert des Signals um mindestens etwa 30% in bezug auf die vorangehenden Mittelwerte abgewichen ist.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

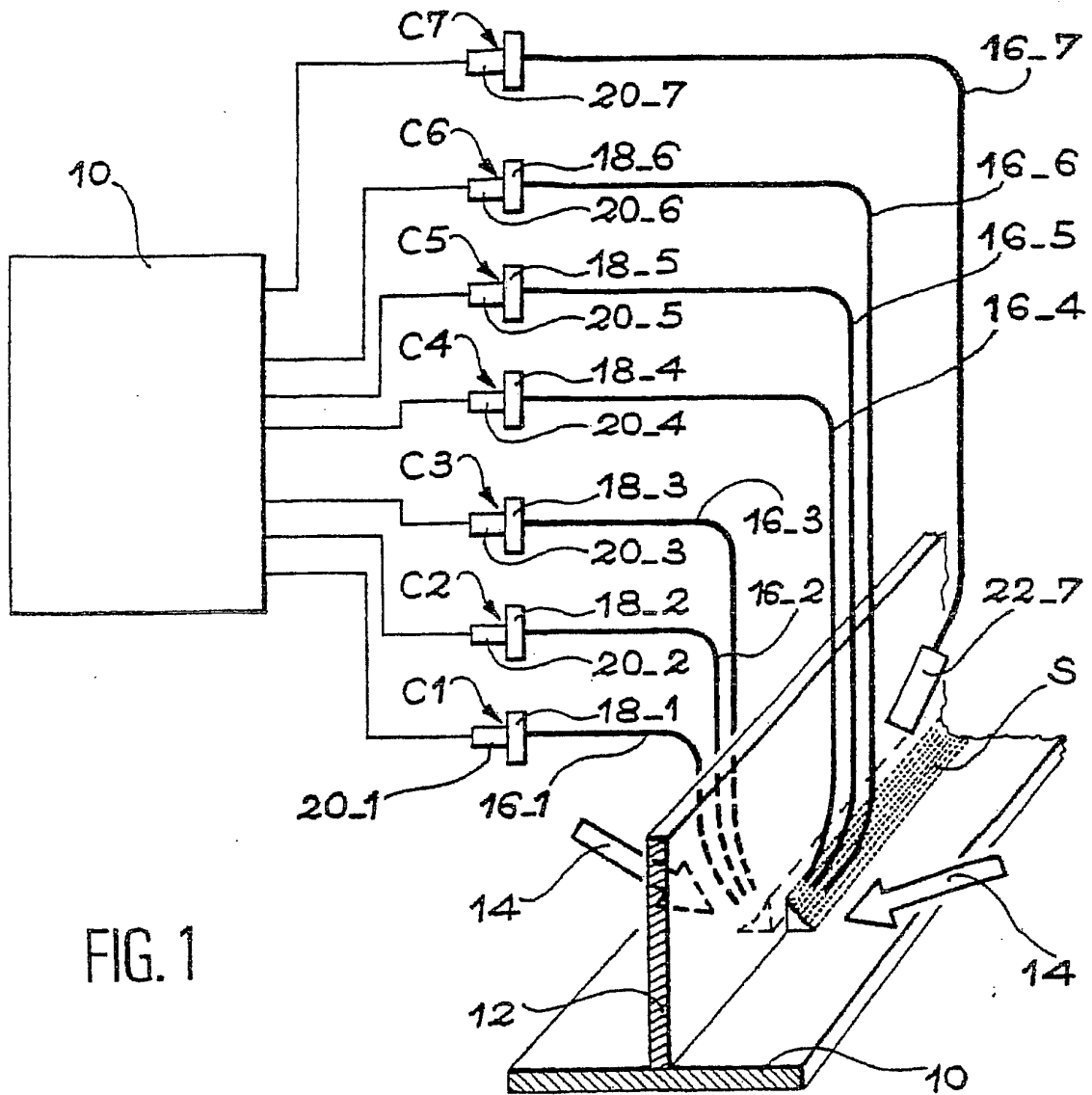


FIG. 1

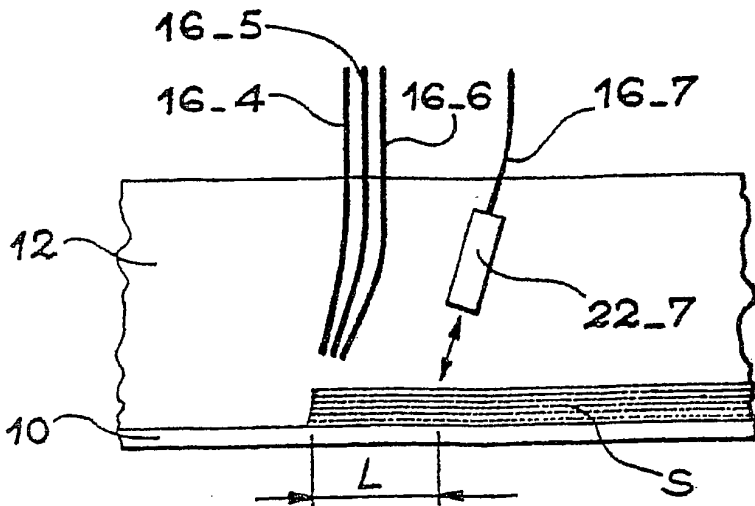
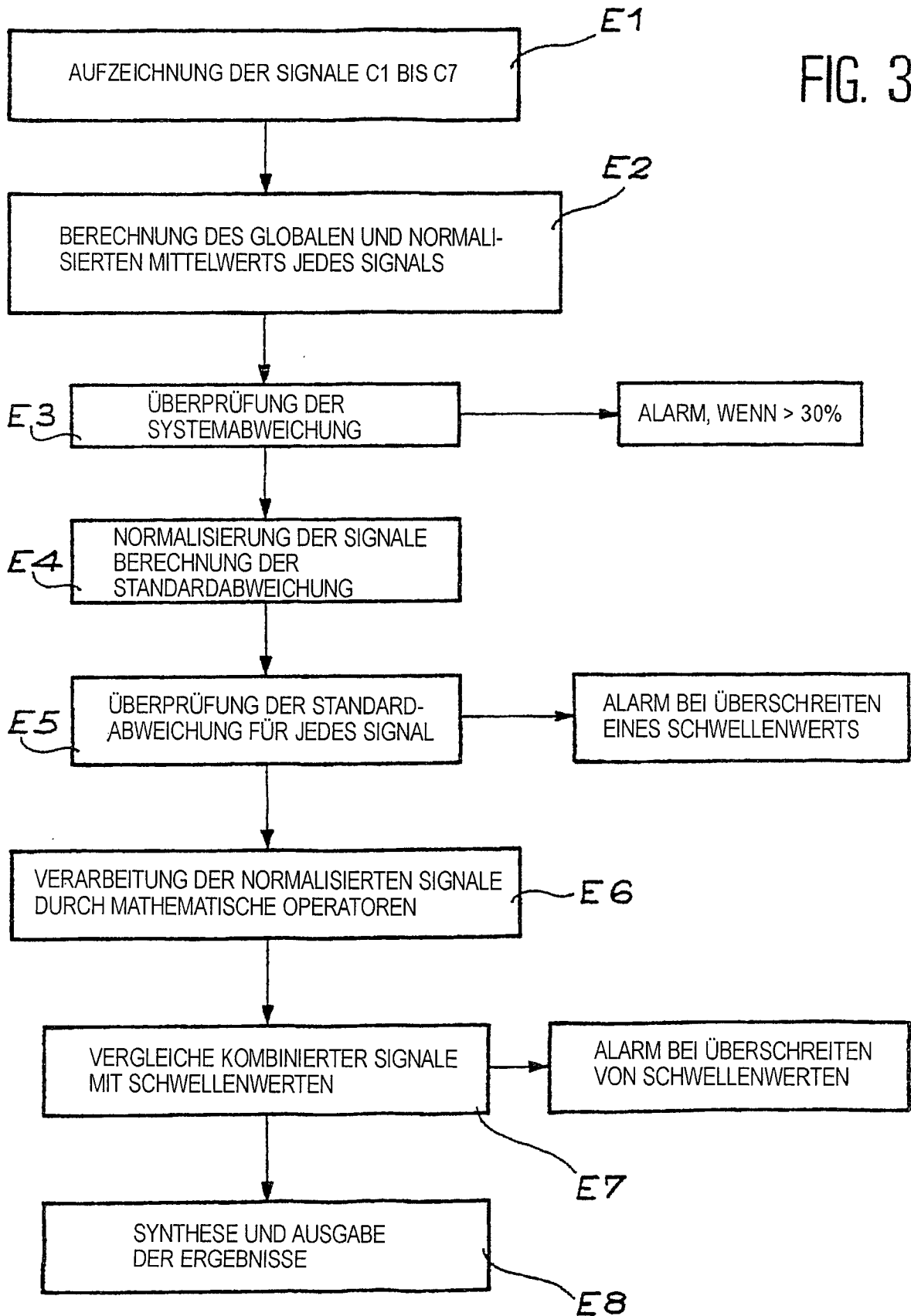


FIG. 2

FIG. 3



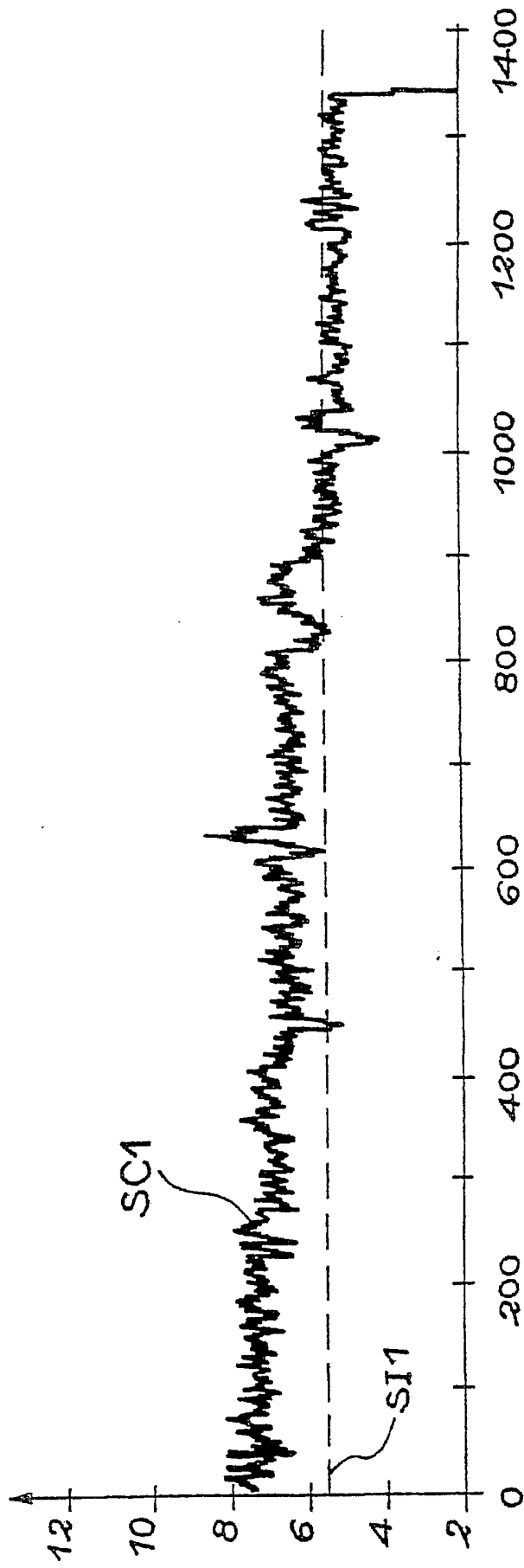


FIG. 4A

FIG. 4B

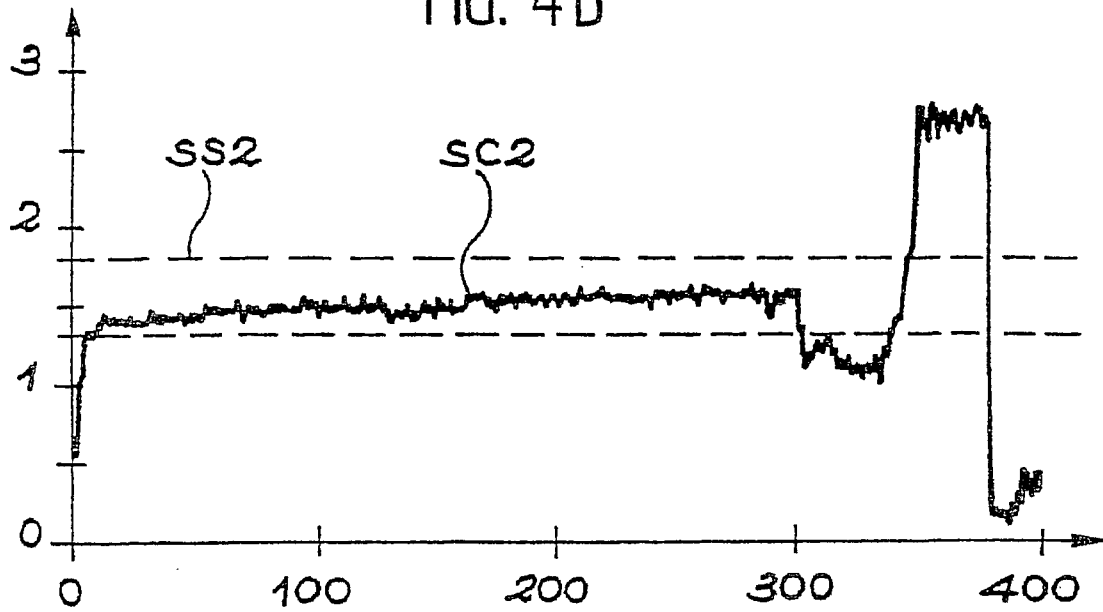


FIG. 4C

