



österreichisches
patentamt

(10)

AT 413 164 B 2005-11-15

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 987/2002
(22) Anmeldetag: 2002-07-02
(42) Beginn der Patentdauer: 2005-04-15
(45) Ausgabetag: 2005-11-15

(51) Int. Cl.⁷: **H01R 43/02**
H01B 7/08

(56) Entgegenhaltungen:
US 4941256A
PATENT ABSTRACT OF JAPAN,
VOL. 199, NO. 510, 1995,
JP 7183648A

(73) Patentinhaber:
I & T FLACHLEITER PRODUKTIONS-
GES.M.B.H.
A-7000 EISENSTADT, BURGENLAND
(AT).

(54) POSITIONIERUNG VON FLACHLEITERKABELN

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Positionierung von abisolierten Stellen (2, 2') zweier miteinander elektrisch leitend und mechanisch zu verbindender Flachleiterkabel.

Die Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass die abisolierten Stellen (2, 2') der beiden zu verbindenden Flachleiterkabel optisch sowohl nach ihrem Ort auf dem jeweiligen Flachleiterkabel als auch nach ihrer Form und Größe erfasst werden, dass sie derart aufeinandergelegt werden, dass die kleinste der überlappenden abisolierten Flächen ein Maximum wird, und dass die Spitze des Punktschweißgerätes in der Mitte jeder überlappenden abisolierten Fläche (3) aufgesetzt wird.

In einer Variante werden die abisolierten Stellen derart aufeinandergelegt, dass die größte der in einer überlappenden abisolierten Fläche (3) auftretenden Stromdichte ein Minimum wird.

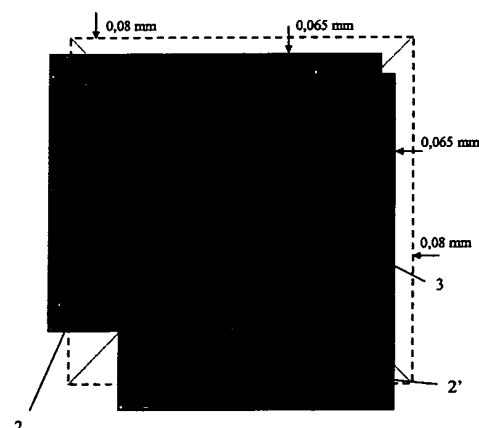


Fig. 33

AT 413 164 B 2005-11-15

DVR 0078018

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Positionierung von abisolierten Stellen zweier miteinander elektrisch leitend und mechanisch zu verbindender Flachleiterkabel.

Bei diesem Verfahren werden zwei, an vorbestimmten Stellen abisolierte Flachleiterkabel so positioniert, dass die Kontakte bildenden abisolierten Stellen überlappen und so ein Verbinden dieser Kontakte möglich wird, beispielsweise durch Verschweißen. Bei bestehenden Systemen, die keinen vorveröffentlichten Stand der Technik, sondern internes Wissen der Anmelderin darstellen, im weiteren klassisches Verfahren genannt, hängen die bei der Fertigung der Werkstücke auftretenden Fehler sowohl von den Toleranzen der Leiterbahnen als auch vom Versatz der Matrix ab, der auf die Ungenauigkeit des Lasers bei der Produktion zurückzuführen ist. Die zur Abschätzung bzw. Berechnung des maximalen Fehlers, der noch im Bereich der Toleranzen liegt, wurden die Datenblätter für das Flachleiterkabel, FFC der Anmelderin, herangezogen.

Ein weiterer Fehler ist durch den Anschlag gegeben. Der Vorgang des Verschweißens startet mit dem Anlegen des unteren Flachleiterkabels an einem Anschlag. Auch diese Abweichung vom Idealanschlag (Anschlagfehler) wird aus dem Datenblatt entnommen und repräsentiert die seitliche, außerhalb der Kupferbahnen liegende, Toleranz von $\pm 0,12$ mm.

Die Roboterpositionierung, bei der ein Roboter das Flachkabel greift und es mittels Vakuumsauger auf einem Carrier positioniert, ist ebenfalls mit Fehlern behaftet. Dabei gehen die Positionierungsgenauigkeiten des Robotergreifers in die Rechnung ein. Bei der Fehlerberechnung muss eine Abschätzung der Wiederholungsgenauigkeit und des Rotationsfehlers durchgeführt werden.

Das zweite (obere) Flachleiterkabel wird ebenfalls an den Anschlag gelegt. Es gelten dieselben Toleranzabschätzungen wie für den ersten Anschlagfehler.

Auch das zweite Flachleiterkabel wird durch den Robotergreifer auf dem Carrier positioniert. Dieses Kabel erfährt eine Drehung von 90° relativ zum ersten (unteren) Flachleiterkabel.

Verschweißen: Am Carrier werden die Flachleiterkabel an den definierten und freigelegten Kupferfenstern durch Verschweißen leitend verbunden. Da derselbe Roboterarm wie für die Positionierung verwendet wird, kann dieselbe Fehlerabschätzung herangezogen werden.

Der Nachteil des klassischen Verfahrens besteht darin, dass aufgrund der oben angesprochenen Toleranzen und der beim Verbindungsprozess auftretenden Fehler der Überlapp zwischen zwei miteinander zu verbindenden Fenstern nicht groß genug ist, um eine ausreichend feste und elektrisch leitende Verbindungen herzustellen. Derartige Kontakte zwischen zwei Fenstern mit nur geringem Überlapp, können den für die spätere Verwendung vorgesehenen Stromdichten nicht gerecht werden. Des weiteren kann es vorkommen, dass durch Überlappung eines Fensters mit zwei Fenstern des anderen Flachleiterkabels ein Kurzschluss entsteht.

Im Hinblick auf die oben beschriebenen Probleme bedarf es einer Lösung, mit der qualitativ hochwertige Verbindungen zwischen zwei oder mehreren Flachleitern hergestellt werden können. Gleichzeitig soll durch diese Lösung die Ausfallsquote bei der Produktion auf ein Minimum reduziert werden.

Erfindungsgemäß wird dies dadurch erreicht, dass die abisolierten Stellen der beiden zu verbindenden Flachleiterkabel optisch sowohl nach ihrem Ort auf dem jeweiligen Flachleiterkabel als auch nach ihrer Form und Größe erfasst werden, dass sie derart aufeinandergelegt werden, dass die kleinste der überlappenden abisolierten Flächen ein Maximum wird und dass die Spitze des Punktschweißgerätes in der Mitte jeder überlappenden abisolierten Fläche aufgesetzt wird.

Durch die Einbeziehung einer Bildverarbeitungseinheit im Positionier- und Verbindungsprozess von Flachleiterkabeln wird eine deutliche Verbesserung der Genauigkeit der Verbindung und, damit verbunden, eine Vergrößerung des Überlapps zwischen den zu verbindenden Fenstern erreicht, wodurch neben der elektrischen Leitfähigkeit auch die mechanische Stabilität vergrößert wird.

In einer Variante der Erfindung ist das Verfahren dadurch gekennzeichnet, dass die abisolierten Stellen der beiden zu verbindenden Flachleiterkabel optisch sowohl nach ihrem Ort auf dem jeweiligen Flachleiterkabel als auch nach ihrer Form und Größe erfasst werden, dass sie derart aufeinandergelegt werden, dass die größte der in einer überlappenden abisolierten Fläche zu erwartende Stromdichte ein Minimum wird und dass die Spitze des Punktschweißgerätes in der Mitte jeder überlappenden abisolierten Fläche aufgesetzt wird.

Durch diese Maßnahme kann die mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellte Verbindung zweier Flachkabeln an deren zukünftige Erfordernisse optimal angepasst werden, wodurch die Effizienz dieser elektrischen Verbindung im Hinblick auf die zu erwartenden Strombelastungen deutlich vergrößert wird.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren können die Fenster in jedem Verfahrensschritt genau lokalisiert werden, wodurch Ungenauigkeiten in der Positionierung der beiden Flachleiterkabel bzw. der dazugehörigen Fenstermatrix zueinander, korrigiert werden können. Dadurch fallen einige der eingangs behandelten Fehler bei der Herstellung weg.

Ein weiterer großer Vorteil der Bildverarbeitung ist letztendlich auch die Detektion von Fehlproduktionen und die Möglichkeit zur Angabe eines Schwellenwertes für die gemeinsame Kontaktfläche, bei dessen Unterschreitung das Werkstück (oder die Werkstücke) verworfen werden.

In einer besonders bevorzugten Ausgestaltung ist das erfindungsgemäße Verfahren dadurch gekennzeichnet, dass die Mitte der überlappenden abisolierten Flächen deren Schwerpunkt ist.

Durch diese Festlegung der Mitte der überlappenden Flächen wird nicht nur die Datenverarbeitung bei der Bildverarbeitung vereinfacht, sondern insbesondere bei der Matrixbetrachtung der Überlapp der Kontaktfläche bestens ausgenutzt.

Die Erfindung wird im folgenden anhand der Zeichnungen näher erläutert. Dabei zeigt

die Fig. 1 die Auswirkungen des Anschlagfehlers,
die Fig. 2 die zusätzlichen Auswirkungen des Roboterfehlers,
die Fig. 3 und 4 die Auswirkungen der Ausgangsdatenfehler,
die Fig. 5 bis 8 die Bildung des Deckungsfehlers,
die Fig. 9 den Überlappingsfehler,
die Fig. 10 den Anschlagfehler,
die Fig. 11 den Roboterfehler,
die Fig. 12 bis 14 die Auswirkungen von Verdrehungen,
die Fig. 15 die Auswirkung der Kombinationen der einzelnen Fehler,
die Fig. 16 die Situation eines Einzelfensters beim Bildverarbeitungsverfahren,
die Fig. 17 die Kombinationen der einzelnen Fehler beim Bildverarbeitungsverfahren,
die Fig. 18 und 19 die prinzipielle Situation bei mehreren Fenstern,
die Fig. 20 bis 24 die Auswirkungen auf die einzelnen Fenster,
die Fig. 25 bis 28 Darstellungen analog zu Fig. 20-24, aber beim Bildverarbeitungsverfahren,
die Fig. 29 bis 32 und 33 einerseits und die Fig. 34 bis 37 andererseits Darstellungen der Überlappung der Fenster beim klassischen bzw. beim Bildverarbeitungsverfahren.

Im folgenden wird durch eine worst case Abschätzung für beide Verfahren, für das klassische, bisher verwendete Verfahren und das erfindungsgemäße Bildverarbeitungsverfahren mit Be-

zugnahme auf die Figuren der Vorteil der Erfindung dargelegt.

Zunächst wird der für die Bildverarbeitung ungünstigere Fall behandelt, bei dem keinerlei Abweichungen bei der Produktion auftreten. Um hier mit der Bildverarbeitung besser als das klassische Verfahren zu sein, darf die Kamera nicht mehr als 0,08475 mm in der Genauigkeit abweichen.

Der Einfluss der Rotation des Positionierroboters wird ebenso abgeschätzt wie die theoretische Möglichkeit einen Kurzschluss durch Verbindung zweier Leiterbahnen zu verursachen. Es wird bei der Kabelproduktion von den schlechtestmöglichen Werten ausgegangen die aber noch im Bereich der Toleranzen liegen. Diese Abweichungen bei der Produktion werden als Ausgangsdatenfehler bezeichnet.

Im Folgenden werden beide Verfahren in Einzelfensterbetrachtung und in der weit praxisbezogeneren Matrixbetrachtung analysiert:

Einzelfenster:

Fehlerart	Klassisches Verfahren	Bildverarbeitungs-Verfahren
Ausgangsdatenfehler	77,33 %	77,33 %
Nach Deckungsfehler	64,00 %	64,00 %
Nach Anschlagfehler	52,80 %	-
Nach Roboterfehler	43,65 %	64,00 %
Nach Kamerafehler	-	64,00 %

Matrixbetrachtung:

Fehlerart	Klassisches Verfahren	Bildverarbeitungs-Verfahren
Ausgangsdatenfehler	77,33 %	77,33 %
Nach Deckungsfehler	57,25 %	61,10 %
Nach Anschlagfehler	45,79 %	-
Nach Roboterfehler	37,29 %	56,05 %
Nach Kamerafehler	-	51,17 %

Anhand der Darstellung im Koordinatensystem, gezeigt in den Fig. 15 und 17, lassen sich die Mittelpunktkreuze und die Auswirkungen der einzelnen Fehler auf die Verschiebung dieser Kreuze am einfachsten grafisch darstellen.

Liegt also der Kamerafehler unter dem Wert von 0,08475 mm ist das Bildverarbeitungsverfahren in allen Fällen dem klassischen System in der Genauigkeit überlegen.

Die Erhöhung der gemeinsamen Kontaktfläche, die ein Maß für die Verbesserung der Genauigkeit darstellt, kann folgendermaßen zusammengefasst werden:

Abschätzung	Abmessungen	Verbesserung
Betrachtung ohne Toleranzen	1,281 mm x 1,281 mm → 1,4005 mm x 1,4005 mm	16,34 %
Einzelfensterbetrachtung	0,991 mm x 0,991 mm → 1,20 mm x 1,20 mm	31,80 %
Matrixbetrachtung	0,916 mm x 0,916 mm → 1,073 mm x 1,073 mm	27,12 %

Überlegungen zur „Matrixpositionierung“

1. Beschreibung der Arbeitsabläufe

1.2. Bildverarbeitungsverfahren

Im folgenden wird auf den Ablauf des Bildverarbeitungsverfahrens und die dabei entstehenden Fehler näher eingegangen. Für die Fertigung der Werkstücke und die Positionierung der Matrix selbst werden dieselben Annahmen getroffen wie für den klassischen Herstellungsprozess.

Auch im Bildverarbeitungsprozess wird das erste Flachleiterkabel an einen Anschlag gelegt. Fehler die hier auftreten werden von der Kamera als Translation bzw. Rotation der Matrix am Flachleiterkabel gedeutet und ausgeglichen. Der Anschlagfehler geht im Bildverarbeitungsprozess nicht in die Genauigkeit mit ein.

Der Roboter greifer positioniert das erste Werkstück am Carrier. Fehler, die hier auftreten, werden von der Kamera als Translation bzw. Rotation der Matrix am Flachleiterkabel gedeutet und ausgeglichen. Der Roboterfehler geht im Bildverarbeitungsprozess beim ersten Flachleiterkabel nicht in die Genauigkeit ein.

Bei der Bildverarbeitung wird das am Carrier liegende Flachleiterkabel im Auf- und im Gegenlichtverfahren von der Kamera aufgenommen. Dabei wird die Fenstergröße, die Matrixstruktur und die Lage der Fenster bezüglich der Leiterstreifen ermittelt. Die Bildverarbeitung errechnet ein Mittelpunkt Kreuz der Matrix und Mittelpunkt Kreuze der einzelnen detektierten Kupferfenster. Der Kamerafehler geht hier in die Rechnung ein.

Das zweite (obere) Flachleiterkabel wird an den Anschlag gelegt. Auch hier gleicht die Bildverarbeitung eventuelle Fehler aus und die Genauigkeit ist von diesem Arbeitsschritt unbeeinflusst.

Bei der Roboterpositionierung hält der Roboter greifer das zweite Flachleiterkabel mit der Kontaktseite in die Kamera. Eventuelle Positionierungsfehler werden durch die Kamera ausgeglichen.

Das in die Kamera gehaltene Flachleiterkabel wird im Auf- und im Gegenlichtverfahren von der Kamera aufgenommen. Dabei wird die Fenstergröße, die Matrixstruktur und die Lage der Fenster bezüglich der Leiterstreifen ermittelt. Die Bildverarbeitung errechnet ein Mittelpunkt Kreuz der Matrix und Mittelpunkt Kreuze der einzelnen detektierten Kupferfenster. Der Kamerafehler geht hier in die Rechnung ein.

Die Trajektorie zur Überführung des Matrix-Mittelpunktkreuzes des oberen Flachleiterkabels in das des unteren Flachleiterkabels wird berechnet. Bei der Berechnung wird von keinem Fehler ausgegangen.

Der Roboter greifer positioniert das zweite Werkstück gemäß der errechneten Trajektorie nach einer 90° Rotation über dem ersten Kabel. Dieser Arbeitsschritt kann von der Kamera nicht mehr überprüft werden und auftretende Fehler gehen in der zweiten Roboterpositionierung

ebenso wie im klassischen Prozess in die Genauigkeit ein.

Am Carrier werden die Flachleiterkabel an den definierten und freigelegten Kupferfenstern durch Verschweißen leitend miteinander verbunden. Da derselbe Roboterarm wie für die Positionierung verwendet wird, kann dieselbe Fehlerabschätzung herangezogen werden.

1.3. Feststehende Werte

Feststehende Werte, die für die Fehlerberechnung herangezogen werden sind im folgenden beschrieben: Der Anschlagfehler wird aus dem Datenblatt mit $\pm 0,12$ mm angenommen. Für die Roboterpositionierung (Roboterfehler) gilt als Abschätzung eine Wiederholgenauigkeit von 0,07 mm bezogen auf den TCP 4 (tool center point; Fig. 11). Bei einer Rotation weicht der Robotergriffei bei einer Kabellänge von 600 mm nicht mehr als 0,05 mm ab. Für die Toleranzen bei der Kabelproduktion wurde das I&T FFC Datenblatt als Grundlage genommen. Obwohl man auf Basis von Algorithmen eine subpixelgenaue Kantendetektion mittels Bildverarbeitung erreicht, wird als worst case für den Kamerafehler die Abweichung von einem Vollpixel (derzeit 0,025 mm) angenommen.

2. Abschätzung ohne Toleranzen bei der Fertigung der Flachleiterkabel

Der Bildverarbeitungsprozess erkennt mehrere Fehler im Verlauf des gesamten Produktionsvorganges und kann diese ausgleichen. Je größer diese auftretenden Fehler sind, desto größer ist auch die Verbesserung des Bildverarbeitungsprozesses gegenüber dem klassischen Prozess. Es sollte nun das Verhalten und die Funktion beider Herstellungsprozesse bei optimalen Ausgangsbedingungen, d.h. keine Toleranzen bei der Produktion der Kabel, abgeschätzt werden.

2.1. Klassisches (aber unveröffentlichtes) Verfahren

Ausgehend davon, dass sowohl die Leiterstreifen als auch die Matrix korrekt positioniert ist, bleiben im klassischen Herstellungsprozess nur jeweils zweimal der Anschlagfehler und der Roboterfehler für die Einschränkung der Genauigkeit.

Die Betrachtung erfolgt für das kleinstmögliche Einzelfenster 2, einem 1,5 mm x 1,5 mm Fenster.

Da der Anschlagfehler an beiden Flachleiterkabeln 1, 1' auftreten kann, verliert man jeweils 0,12 mm in der Höhe und der Seite nach von der gemeinsamen Deckfläche der Kupferquadrate. Wie in Fig. 1 dargestellt, reduziert sich das Fenster 2 durch den Anschlagfehler zu einem 1,38 mm x 1,38 mm Fenster, das noch 84,64% der ursprünglichen Kontaktfläche darstellt.

Der Roboterfehler bei der Positionierung der Werkstücke verursacht im worst case eine weitere Auseinanderdrift der Quadrate um jeweils $0,07 \text{ mm} \cdot \sin 45^\circ = 0,0495 \text{ mm}$ der Seite und der Höhe nach. Das dabei sich ergebende Deckungsfenster 3, in Fig. 2 dargestellt, ist somit auf 1,281 mm x 1,281 mm bzw. auf 72,93 % der Originalfläche reduziert.

2.2. Bildverarbeitungsverfahren

Der Anschlagfehler wird bei beiden Flachleiterkabeln 1, 1' durch die Bildverarbeitung kompensiert. Der Roboterfehler kommt nur einmal (beim Ablegen des zweiten Kabels nach der Bildverarbeitung) zum Tragen. Dabei reduziert sich das Fenster auf ein 1,4505 mm x 1,4505 mm Quadrat, das 93,51 % der ursprünglichen Fläche besitzt. Beim Verarbeitungsprozess mit Bildverarbeitung schränkt der Kamerafehler für beide Werkstücke die Genauigkeit ein. Um auch bei dieser Abschätzung ohne Fertigungstoleranzen der Kabel mit dem Verfahren der Bildverarbeitung bessere Resultate zu erzielen als mit dem bisher verwendeten Verfahren, muss der Kame-

rafehler jeweils kleiner als 0,08475 mm sein. Auch für andere Einzelfenstergrößen (bis 19 mm x 19 mm laut Datenblatt möglich) erhält man dieselbe untere Grenze für den Kamerafehler.

Dieser Wert wird auch unter der worst case Annahme einer Abweichung eines Vollpixels von 0,025 mm weit unterboten und führt zu einem Kontaktflächenquadrat 3 von 1,4005 mm x 1,4005 mm bzw. 87,17 % der Originalfläche.

Die Verbesserung des Bildverarbeitungsverfahrens gegenüber dem klassischen Verfahren beträgt somit 16,34%.

3. Fehler des klassischen (aber unveröffentlichten) Verfahrens

3.1. Ausgangsdatenfehler

Für eine worst case Abschätzung müssen auch die Abweichungen, die bei der Produktion der Flachleiterkabel 1, 1' vorkommen, zu den Fehlern im Verarbeitungs- und Verbindungsprozess dazugerechnet werden. Die Summe der Fehler, die bei der Kabelproduktion vorkommen, werden hier als Ausgangsdatenfehler bezeichnet, da sowohl das klassische Verfahren als auch das Bildverarbeitungsverfahren diesen Vorgaben unterworfen ist.

Bei der Produktion wirken sich nun folgende Toleranzen aus:

- Leiterstreifenversatz ($\pm 0,15$ mm)
- Leiterdickenänderung ($\pm 0,05$ mm)
- Matrixversatz ($\pm 0,12$ mm)
- Fenstergrößenänderung ($\pm 0,05$ mm)

Für eine worst case Abschätzung nimmt man bei einem 1,5 mm x 1,5 mm Fenster 2 (Fig. 4) Leiterstreifenversatz und Matrixversatz maximal gegeneinander verschoben an. Zudem werden sowohl Fenstergröße als auch Streifenleiterdicke auf ein Minimum reduziert. Ein solches worst case Fenster 2, dargestellt in Fig. 3, hat statt 1,5 mm x 1,5 mm nur 1,45 mm x 1,2 mm Abmessungen und die sichtbare Kupferfläche ist auf 77,33% gesunken.

3.2. Deckungsfehler

Für die Berechnung des Deckungsfehlers, also jener Kontaktflächenreduktion, die entsteht, wenn man eine worst case Situation mit den Ausgangsdatenfehlern aus Punkt 3.1 annimmt, werden detailliert die einzelnen Schritte angeführt, die zu der maximalen Abweichung führen. Die einzelnen Schritte samt Annahmen über die Fehler sind in den Fig. 5, 6, 7 und 8 gezeigt. Man erkennt, dass die gemeinsame Kontaktfläche ein Minimum hat, wenn die Kupferfenster 2, 2' beider Kabel 1, 1' eine Größe von 1,45 mm x 1,20 mm haben und maximal links und hoch verschoben sind.

Für die Verbindung der beiden Flachleiterkabel 1, 1' wird das zweite Werkstück 1' gewendet und um 90° verdreht auf das erste Werkstück 1 positioniert. Gelten an beiden Flachleiterkabeln 1, 1' dieselben Positionsmaße, sieht im worst case die Überlappung 3 entsprechend Fig. 9 aus.

Die volle Überlappung an der Schmalseite ist auch im worst case (nur Fertigungstoleranzen und Deckungsfehler bisher berücksichtigt) gegeben. Die Kontaktfläche 3 ist ein 1,2 mm x 1,2 mm großes Fenster das damit noch eine Fläche von 64 % der originalen Fenstergröße besitzt.

3.3. Anschlagfehler

Der Anschlagfehler hat dann den größten Einfluss auf die Genauigkeit, wenn sowohl das untere als auch das obere Flachleiterkabel 1, 1', wie in Fig. 10 gezeigt, am Anschlag um 0,12 mm zu schmal ist. Für die worst case Betrachtung im klassischen Verfahren kann davon ausgegangen

werden, dass bei beiden Werkstücken diese Abweichung zu finden ist.

Durch die 90° Drehung des oberen Flachleiterkabels 1' wird die Kupferkontaktfläche durch den Anschlagfehler um 0,12 mm in der Höhe und der Seite nach verkleinert. Die resultierende Kontaktfläche 3 ist bei worst case Betrachtung ein 1,09 mm x 1,09 mm Quadrat das nur noch 52,80 % der ursprünglichen Größe aufweist.

3.4. Roboterfehler (Positionierungsgenauigkeit)

Die Wiederholgenauigkeit des Positionierroboters ist mit 0,07 mm bezogen auf den TCP 4 gegeben, dargestellt in Fig. 11. In Zusammenspiel mit den anderen Fehlern tritt der worst case dann ein, wenn in den Koordinaten die Abweichungsvektoren gegeneinander links-hoch bzw. rechts-tief zeigen.

Damit ist die größte Kontaktflächenreduktion durch Abnahme der Seitenlängen des Kontaktflächenquadrates um jeweils $0,07 \text{ mm} \cdot \sin 45^\circ = 0,0495 \text{ mm}$ gekennzeichnet. Schlussendlich, nach Einwirkung aller Fehler, ist ein Quadrat mit $0,991 \text{ mm} \times 0,991 \text{ mm}$ das Resultat. Die Kupfer-Kupfer Kontaktfläche 3 beträgt noch 43,65 % der originalen Kontaktfläche.

4. Weitere Abschätzungen

4.1. Kurzschluss

Es wird untersucht, ob bei maximaler Ausreizung der Toleranzen der Fall auftreten kann, dass ein Fenster über zwei verschiedenen Leiterbahnen aufgebracht werden kann und so nach dem Verbinden zu einem Kurzschluss führt.

Nimmt man den Wert x als Idealabstand zwischen zwei Streifen, ist im worst case der Streifenabstand $x - 0,20 \text{ mm}$, da der Streifenabstand laut Datenblatt um als $0,15 \text{ mm}$ zu gering und die Streifendicken um jeweils $0,05 \text{ mm}$ zu breit angenommen werden. Das mit Laser aufgebrachte Fenster kann um $0,05 \text{ mm}$ zu groß und um $0,12 \text{ mm}$ zu tief (oder zu hoch) am Flachleiterkabel sein. Diese Abweichungen zusammen ergeben einen Streifenabstand von $x - 0,345 \text{ mm}$. Da der Abstand der Streifen in der Praxis über 1 mm (also deutlich über $0,345 \text{ mm}$) liegt, kann es unter Einhaltung der Toleranzen auch im ungünstigsten Fall zu keinem Kurzschluss kommen.

4.2. Auswirkungen von Rotation beim Robotergreifer

4.2.1. Einzelfensterbetrachtung

Für den maximalen Rotationsfehler wird eine Abweichung von $0,05 \text{ mm}$ für ein 600 mm langes Werkstück angegeben. Der Fehlerwinkel ist demzufolge

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{0,05 \text{ mm}}{600 \text{ mm}} = 0,00477^\circ$$

Im worst case kommt es zu einer gegensinnige Verdrehung um diesen Fehlerwinkel und damit zu einer Relativverdrehung um $0,00955^\circ$ zwischen den Quadraten.

Wie in den Fig. 12 und 13 gezeigt, ergeben sich 8 Verlustdreiecke der Gesamtfläche

$$A_{\text{verl}} = 4 \cdot \left(\frac{x}{2} \right)^2 \cdot \tan 0,00955^\circ \quad (\text{mit } x \text{ als Seitenlänge des Quadrates}).$$

Der relative Fehler ist in jedem Fall $0,016 \%$. Für den Fehler durch Rotation bei Einzelfensterbetrachtung wird dieser relative Fehler von weniger als $0,02 \%$ nicht berücksichtigt, würde aber im Falle einer Berücksichtigung für das Bildverarbeitungsverfahren sprechen, da nur dort ein Ausgleich durch die Kamera möglich ist.

4.2.2. Matrixbetrachtung

Die maximale Matrixgröße von 128 mm x 128 mm und eine Positionierung eines (realen) 1,45 mm x 1,2 mm großen Fensters in einer Ecke dieser Matrix vorausgesetzt, kann der entstehende Fehler mittels Fig. 14 abgeschätzt werden.

Angenähert hat nun das Fenster nicht mehr 1,45 mm x 1,20 mm sondern nur mehr 1,45 mm x 1,1787 mm, was einer Flächenverdeckung von weniger als 1,8 % entspricht. Da unter worst case Bedingungen die gemeinsame Kontaktfläche nur um weniger als 1,8% sinkt, kann auch für die Matrixbetrachtung der Rotationsfehler beim Robotergreifer vernachlässigt werden. Bei der Positioniermethode mit Bildverarbeitung könnte er zusätzlich noch reduziert werden.

5. Mittelpunktkreuze für das klassische Verfahren

Bei Betrachtung im Koordinatensystem kann man sich der Mittelpunktkreuze 5, 5' der einzelnen Fenster 2, 2' bzw. deren Verschiebung durch die einzelnen Fehler bedienen. Ein derartiges Koordinatensystem ist in Fig. 15 gezeigt.

6. Zusammenfassung des klassischen, unveröffentlichten Verfahrens bei Einzelfensterbetrachtung:

Durch die Ausgangsdatenfehler wird eine resultierende Fenstergröße von 1,45 mm x 1,20 mm vorausgesetzt. Der Deckungsfehler beschränkt die minimale Kontaktfläche 3 auf ein Quadrat mit 1,2 mm x 1,2 mm Seitenlänge. Es muss damit gerechnet werden dass der Anschlagfehler in jedem der beiden Werkstücke vorkommt und deshalb zweimal in die Rechnung eingeht. Es wird weiters angenommen dass auch der Roboterfehler bei jedem Werkstück schlechterstmöglich in die Genauigkeitsrechnung aufgenommen wird.

Fehlerart	Häufigkeit	Fenstergröße	% von Originalfläche
Ausgangsdatenfehler	zweimal	1,45 mm x 1,20 mm	77,33 %
nach Deckungsfehler	einmal	1,20 mm x 1,20 mm	64,00 %
nach Anschlagfehler	zweimal	1,09 mm x 1,09 mm	52,80 %
nach Roboterfehler	zweimal	0,991 mm x 0,991 mm	43,65 %

7. Zusammenfassung des Bildverarbeitungsverfahrens bei Einzelfensterbetrachtung:

Wie beim klassischen Verfahren ist man auch im Bildverarbeitungsverfahren auf die Vorgaben aus der Flachleiterkabel-Produktion angewiesen und muss die Ausgangsdatenfehler als Startwert heranziehen. Für die Einzelfensterbetrachtung kann der Deckungsfehler in der Art ausgeglichen werden, dass sich die Mittelpunktkreuze 5, 5' von oberem und unterem Werkstück decken. Der Roboterfehler geht nur einmal in die Genauigkeitsrechnung ein, da nur für das zweite Werkstück die Kompensation durch die Bildverarbeitung nicht durchgeführt werden kann. Man erhält eine überlappende Fläche 3, die wie in Fig. 16 skizziert werden kann.

Für dieses Verfahren geht der Kamerafehler KF (Differenz zwischen Wirklichkeit und digitalem Abbild) zweimal in die Genauigkeit ein, da jedes der beiden Werkstücke „vermessen“ wird. Die resultierende Gesamtkontaktfläche lässt sich nun durch folgende Formel angeben:

für $KF \leq 0,03775$ mm: $relativeDeckfläche = 64\%$

für $KF > 0,03775$ mm: $relativeDeckfläche = \frac{(1,2 - |0,0755 - 2 \cdot KF|)^2}{1,5^2} \cdot 100\%$

Es zeigt sich auch für einen worst case Kamerafehler von 0,025 mm dass die seitlichen „Überlappungsreserven“ groß genug sind und die gemeinsame Kontaktfläche durch den Kamerafehler nicht eingeschränkt wird.

5	Fehlerart	Häufigkeit	Fenstergröße	% von Originalfläche
	Ausgangsdatenfehler	zweimal	1,45 mm x 1,20 mm	77,33 %
	nach Deckungsfehler (mit Ausgleich)	einmal	1,20 mm x 1,20 mm	64,00 %
10	nach Roboterfehler	einmal	1,20 mm x 1,20 mm	64,00 %
	nach Kamerafehler	zweimal	1,20 mm x 1,20 mm	64,00 %

15 Für die Einzelfensterbetrachtung kann eine worst case Verbesserung von 31,80 % für das Bildverarbeitungsverfahren gegenüber dem klassischen Verfahren angegeben werden. Die Betrachtung der Mittelpunktkreuze in einem Koordinatensystem, dargestellt in Fig. 17, macht deutlich, wie klein die Abweichungen durch Fehler nun sind.

20 8. Mehrfenstermatrix-Betrachtung für das klassische Verfahren:

Der worst case bei Mehrfenstermatrizen (praktischer Fall) ist skizzenhaft in den Fig. 18 und 19 dargestellt. In diesem Fall driften bei einem Kabel 1, alle Fenster 2 bis zu den maximalen Toleranzen auseinander und am anderen Flachleiterkabel 1' rücken die Fenster 2' bis zu einem
25 Minimum zusammen. Für ein ursprünglich 1,5 mm x 1,5 mm großes Fenster 2, 2', das durch die Fertigungstoleranzen auf 1,45 mm x 1,20 mm reduziert wurde, tritt dadurch die in den Fig. 20, 21, 22 und 23 gezeigte Überlappung 3 auf. Eine Detailzeichnung von Fig. 23 ist in Fig. 24 zu sehen.

30 Es kann also bei der Matrixbetrachtung zu einem zusätzlichen Deckungsfehler von 10,54 % kommen, der schließlich die Kontaktfläche auf ein 1,135 mm x 1,135 mm Quadrat reduziert. Die Fläche des Kontaktquadrates 3 entspricht nur noch 57,25 % der Originalfläche. Auch hier kann der Anschlagfehler für beide Kabel 1, 1' auftreten und damit die Kontaktfläche auf 45,79 % der Originalfläche reduzieren.

35 Der Roboterfehler tritt wiederum zweimal auf und hat eine Verkleinerung der Kontaktfläche auf ein 0,916 mm x 0,916 mm großes Quadrat zur Folge dessen Größe 37,29 % der Originalgröße entspricht.

40 Würde ein etwaiger Verbindungsfehler, der dieselbe Abweichung wie der Roboterfehler besitzt, miteinberechnet, beträgt die Oberfläche der gefügten Kupfer-Kupfer Verbindung 0,8665 mm x 0,8665 mm und somit 33,37 % der ursprünglichen Deckungsfläche.

45	Fehlerart	Häufigkeit	Fenstergröße	% von Originalfläche
	Ausgangsdatenfehler	zweimal	1,45 mm x 1,20 mm	77,33 %
	nach Deckungsfehler	einmal	1,135 mm x 1,135 mm	57,25 %
	nach Anschlagfehler	zweimal	1,015 mm x 1,015 mm	45,79 %
50	nach Roboterfehler	zweimal	0,916 mm x 0,916 mm	37,29 %

9. Mehrfenstermatrix-Betrachtung für das Bildverarbeitungsverfahren:

55 Nimmt man wieder den Fall der maximal auseinanderliegenden Fenster 2 am einen Werkstück

und der maximal zusammenliegenden Fenster 2' am anderen Werkstück für die Betrachtung her, kann man mit Hilfe der Bildverarbeitung den Deckungsfehler verkleinern. Dabei wird so vorgegangen, dass man den recht großen Fehler im rechten unteren Fenster zu Lasten der anderen Fenster verkleinert und so einen Fehlerausgleich bei allen Fenstern durchführt. Im worst case entspricht dieser Fehlerausgleich einer Translation des oberen Flachleiterkabels um 0,0375 mm links und hoch. Die unter Punkt 8 aufgeführten Überlappungen werden durch diese Translation zu Überlappungen 3, deren Struktur in den Fig. 25, 26, 27 und 28 gezeigt ist.

Der worst case für das Kontaktflächenquadrat liegt also bei 1,1725 mm x 1,1725 mm Seitenlänge und damit bei einer Kontaktflächenreduktion auf 61,10 % von der Originalfläche. Bei dem Verfahren mit der Bildverarbeitung kommt der Anschlagfehler nicht in die Genauigkeitsrechnung - dieser Fehler wird von der Bildverarbeitung kompensiert.

Der Roboterfehler muss nur einmal berücksichtigt werden, wenn nämlich das zweite Flachleiterkabel 1' nach der Analyse durch die Kamera auf dem ersten Kabel 1 positioniert wird.

Zieht man die Auswirkungen dieses einen Roboterfehlers von der Kontaktfläche ab, erhält man eine Kupfer-Deckungsfläche von 56,05 % der originalen Fläche (1,123 mm x 1,123 mm statt 1,5 mm x 1,5 mm).

Nun muss noch zweimal der Kamerafehler berücksichtigt werden. Um besser als der worst case im klassischen Fall mit 0,916 mm x 0,916 mm zu sein, muss der Kamerafehler weniger als 0,1035 mm bezogen auf den TCP 4 betragen. Der Kameratest in der Praxis bestätigt eine Abweichung von 0,025 mm als worst case Fehler.

Fehlerart	Häufigkeit	Fenstergröße	% von Originalfläche
Ausgangsdatenfehler	zweimal	1,45 mm x 1,20 mm	77,33 %
nach Deckungsfehler (mit Ausgleich)	einmal	1,1725 mm x 1,1725 mm	61,10 %
nach Roboterfehler	einmal	1,123 mm x 1,123 mm	56,05 %
nach Kamerafehler	zweimal	1,073 mm x 1,073 mm	51,17 %

Für die in der Praxis vorkommende Matrixbetrachtung liegt die Erhöhung der gemeinsamen Kupfer-Kupfer Kontaktfläche 3 und somit die Verbesserung der Genauigkeit bei 27,12 %.

Matrixbetrachtung klassisches Verfahren:

Die entsprechenden Überlappungen 3 sind in den Fig. 29, 30, 31 und 32 skizzenhaft dargestellt. Zur verständlicheren Darstellung ist die Detailzeichnung des rechten unteren Fensters von Fig. 32 in Fig. 33 gezeigt. Das Gestricheltes Quadrat entspricht einem Idealquadrat mit 1,5 mm x 1,5 mm. Die punktierten Linien sind die Diagonalen vom Idealquadrat und vom resultierenden Kontaktflächenquadrat dienen der Bestimmung der Mittelpunktkreuze 5, 5'. Das Mittelpunkt Kreuz der verbleibenden Kontaktfläche ist rechts-hoch verschoben gegenüber dem idealen Mittelpunkt Kreuz.

Matrixbetrachtung Bildverarbeitungsverfahren:

Die entsprechenden Überlappungen sind in den Fig. 34, 35, 36 und 37 dargestellt.

Klassisches (unveröffentlichtes) Verfahren:

Fehlerart	Häufigkeit	Fenstergröße	% von Originalfläche
Ausgangsdatenfehler	zweimal	1,45 mm x 1,20 mm	77,33 %
nach Deckungsfehler	einmal	1,135 mm x 1,135 mm	57,25 %
nach Anschlagfehler	zweimal	1,015 mm x 1,015 mm	45,79 %
nach Roboterfehler	zweimal	0,916 mm x 0,916 mm	37,29 %

Bildverarbeitungsverfahren:

Fehlerart	Häufigkeit	Fenstergröße	% von Originalfläche
Ausgangsdatenfehler	zweimal	1,45 mm x 1,20 mm	77,33 %
nach Deckungsfehler (mit Ausgleich)	einmal	1,1725 mm x 1,1725 mm	61,10 %
nach Roboterfehler	einmal	1,123 mm x 1,123 mm	56,05 %
nach Kamerafehler	zweimal	1,073 mm x 1,073 mm	51,17 %

Zusammenfassung des Vergleiches:

Fehlerart	Klassisches Verfahren	Bildverarbeitungs- Verfahren
Ausgangsdatenfehler	77,33 %	77,33 %
nach Deckungsfehler	57,25 %	61,10 %
nach Anschlagfehler	45,79 %	-
nach Roboterfehler	37,29 %	56,05 %
nach Kamerafehler	-	51,17 %

Wie aus den obigen Ausführungen klar ersichtlich ist, schafft die Erfindung durch ihre Maßnahmen:

Optisches Erfassen der abisolierten Stellen 2, 2' zweier zu verbindender Flachleiterkabel 1, 1' sowohl nach ihrem Ort auf dem jeweiligen Flachleiterkabel als auch nach ihrer Form und Größe, dem Aufeinanderlegen derart, dass die (relativ) kleinste überlappende abisolierte Fläche 3 ein Maximum wird und dem Aufsetzen der Spitze des Punktschweißgerätes in der Mitte der überlappenden abisolierten Fläche 3, dass eine um Größenordnungen reduzierte Verkleinerung der tatsächlichen Kontaktflächen 3 und damit eine wesentliche Herabsetzung des elektrischen Widerstandes und eine wesentliche Erhöhung der mechanischen Festigkeit erreicht wird.

Als „relativ kleinste Fläche“ ist die anzusehen, die zufolge der Breite der zu verbindenden Kupferleiter und der vorgesehenen spezifischen Strombelastung als die kritischste zu betrachten ist, es muß daher nicht die mit der nach dem reinen Flächenausmaß kleinste Fläche sein. Wenn beispielsweise zwei geometrisch gleich große überlappende Flächen vorhanden sind, so ist die mit der höheren zu erwartenden Strombelastung die kleinere.

Die Erfindung ist nicht auf die beschriebenen Beispiele beschränkt, sondern kann verschiedentlich abgewandelt werden. So kann durch entsprechende Adaption der Formeln, die für den Fachmann in Kenntnis der Erfindung leicht durchgeführt werden kann, eine entsprechende

Anwendung für schräg (und nicht rechtwinkelig) miteinander zu verbindende Flachleiterkabel 1, 1' getroffen werden. Die Erfindung ist für alle Arten von Robotern und Flachkabel (lamierte und extrudierte, mit untereinander gleichen Kupferleitern oder mit untereinander verschiedenen, etc.) anwendbar, das Abisolieren kann auf unterschiedlichste Weise erfolgen, auch wenn in der
5 Anmeldung auf Laserabtrag der Isolierung besonders Bedacht genommen wurde. Die Form der abisolierten Flächen 2, 2' muss nicht rechteckig sein, kreisrunde oder ovale Formen sind ebenso möglich.

Die Frage der „Mitte“ der überlappend abisolierten Fläche 3 kann entweder durch Wahl des
10 Schwerpunktes oder durch eine andere, dem jeweiligen Verbindungsverfahren angepaßte Wahl gelöst werden, es ist beispielsweise möglich, einen Schwerpunkt mit einer Gewichtung, linear oder quadratisch, vorzunehmen, um besondere Bedürfnisse zu berücksichtigen. Insbesondere bei komplex geformten überlappenden Flächen 3 kann zur Vereinfachung der Schnittpunkt der kürzesten mit der längsten Sehne od. dergl. verwendet werden.

15 Auch ist die Verwendung besonders geformter Werkzeugspitzen, die wiederum eine eigene Wahl möglich und notwendig machen, denkbar.

20 Patentansprüche:

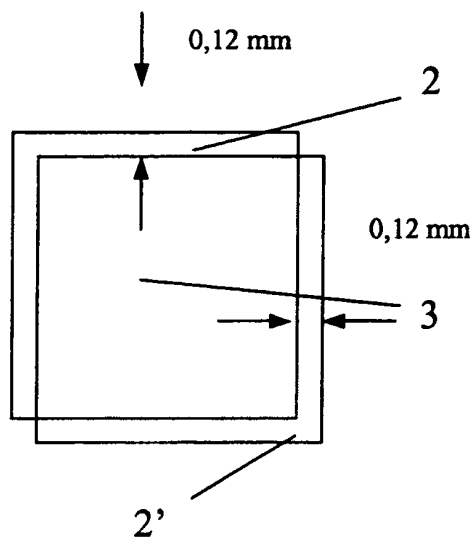
1. Verfahren zur Positionierung von abisolierten Stellen (2, 2') zweier miteinander elektrisch leitend und mechanisch zu verbindender Flachleiterkabel (1, 1'), *dadurch gekennzeichnet*,
25 dass die abisolierten Stellen (2, 2') der beiden zu verbindenden Flachleiterkabel (1, 1') optisch sowohl nach ihrem Ort auf dem jeweiligen Flachleiterkabel als auch nach ihrer Form und Größe erfasst werden, dass sie derart aufeinandergelegt werden, dass die kleinste der überlappenden abisolierten Flächen (3) ein Maximum wird und dass die Spitze eines Punktschweißgerätes in der Mitte jeder überlappenden abisolierten Fläche (3) aufgesetzt wird.
30
2. Verfahren zur Positionierung von abisolierten Stellen (2, 2') zweier miteinander elektrisch leitend und mechanisch zu verbindender Flachleiterkabel (1, 1'), *dadurch gekennzeichnet*,
35 dass die abisolierten Stellen (2, 2') der beiden zu verbindenden Flachleiterkabel (1, 1') optisch sowohl nach ihrem Ort auf dem jeweiligen Flachleiterkabel als auch nach ihrer Form und Größe erfasst werden, dass sie derart aufeinandergelegt werden, dass die größte der in einer überlappenden abisolierten Fläche (3) zu erwartende Stromdichte ein Minimum wird und dass die Spitze eines Punktschweißgerätes in der Mitte jeder überlappenden abisolierten Fläche (3) aufgesetzt wird.
- 40 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Mitte der überlappenden abisolierten Flächen (3) deren Schwerpunkt ist.

45 Hiezu 13 Blatt Zeichnungen

45

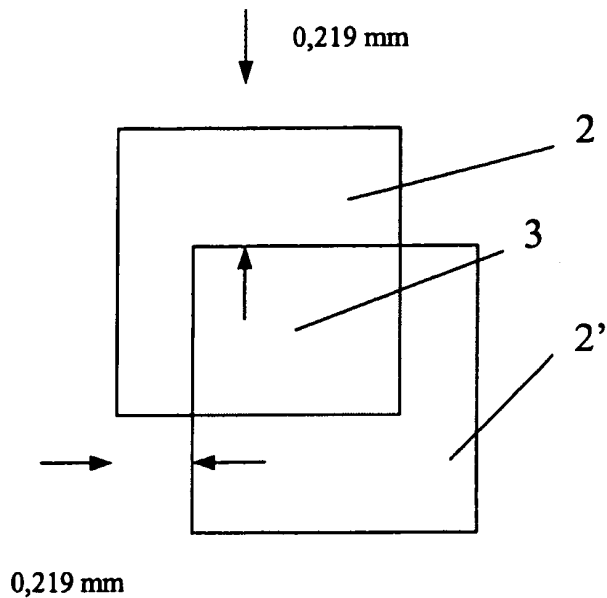
50

55



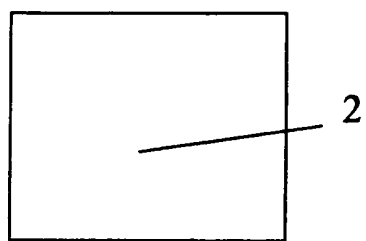
Anschlagfehler

Fig. 1



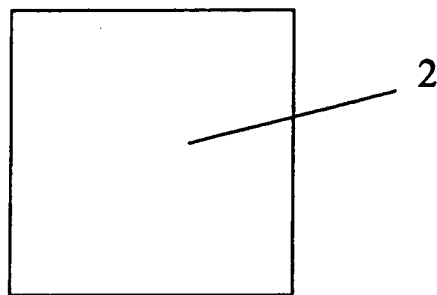
zusätzlich Roboterfehler

Fig. 2



1,45 mm x 1,2 mm

Fig. 3

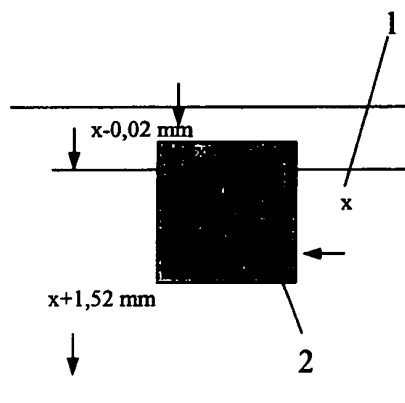


1,5 mm x 1,5 mm

Fig. 4

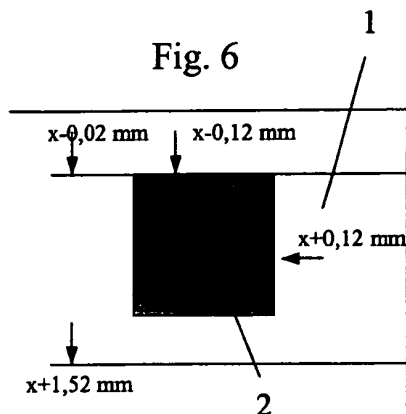


Fig. 5

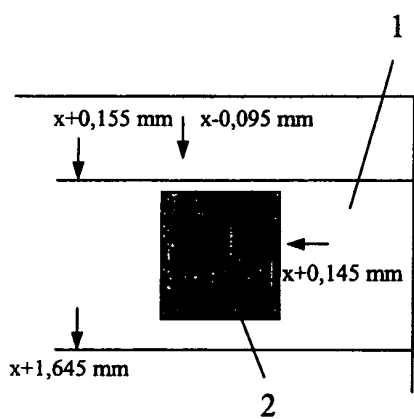


ideale Verhältnisse

Fig. 6

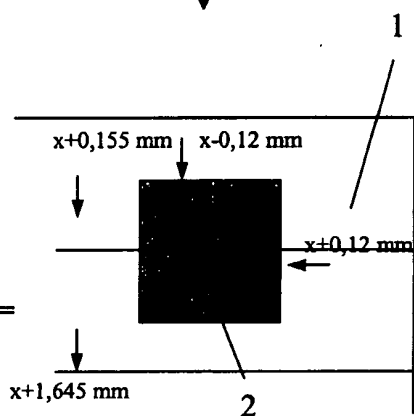


Matrixversatz links hoch



verkleinerte Matrix

Fig. 7



schmaler, versetzter Leiterstreifen

Fig. 8

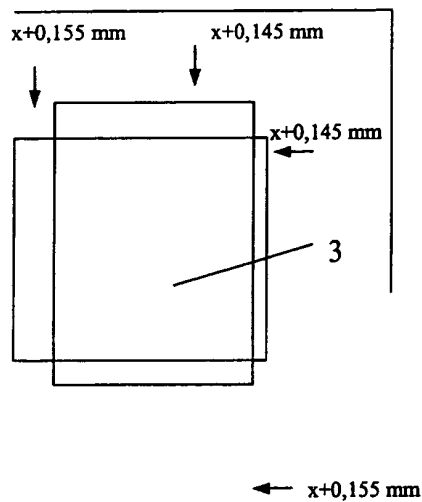


Fig. 9

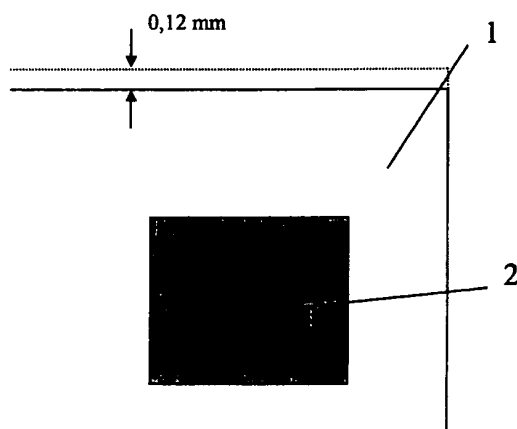


Fig. 10

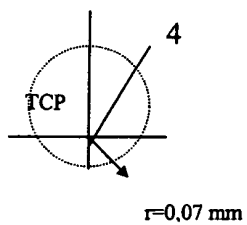
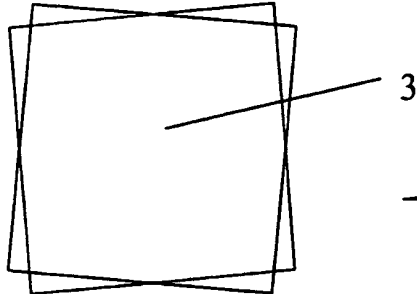
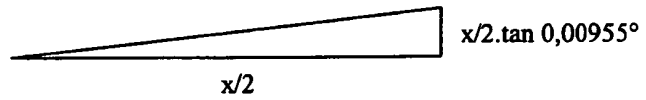


Fig. 11



Gegensinnige Verdrehung

Fig. 12



Verlustdreieck

Fig. 13

Angenähert:

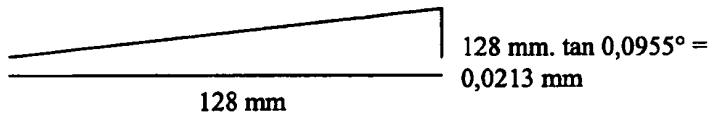


Fig. 14

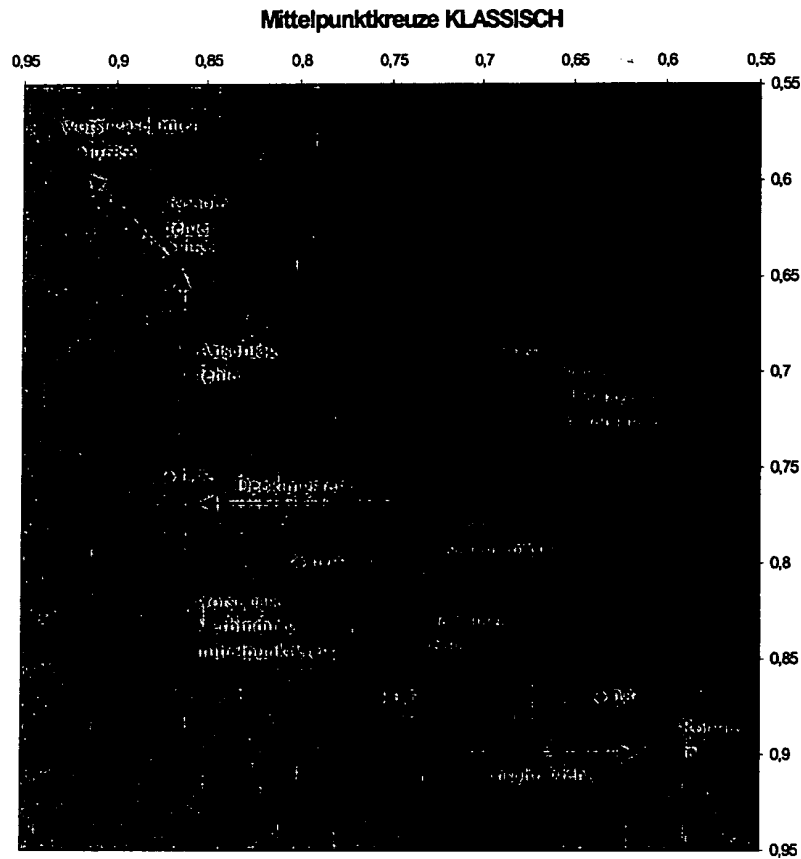


Fig. 15

worst case oben

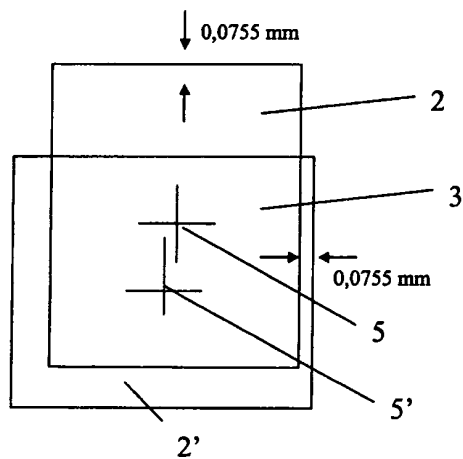


Fig. 16



Mittelpunktkreuze BILDVERARBEITUNG

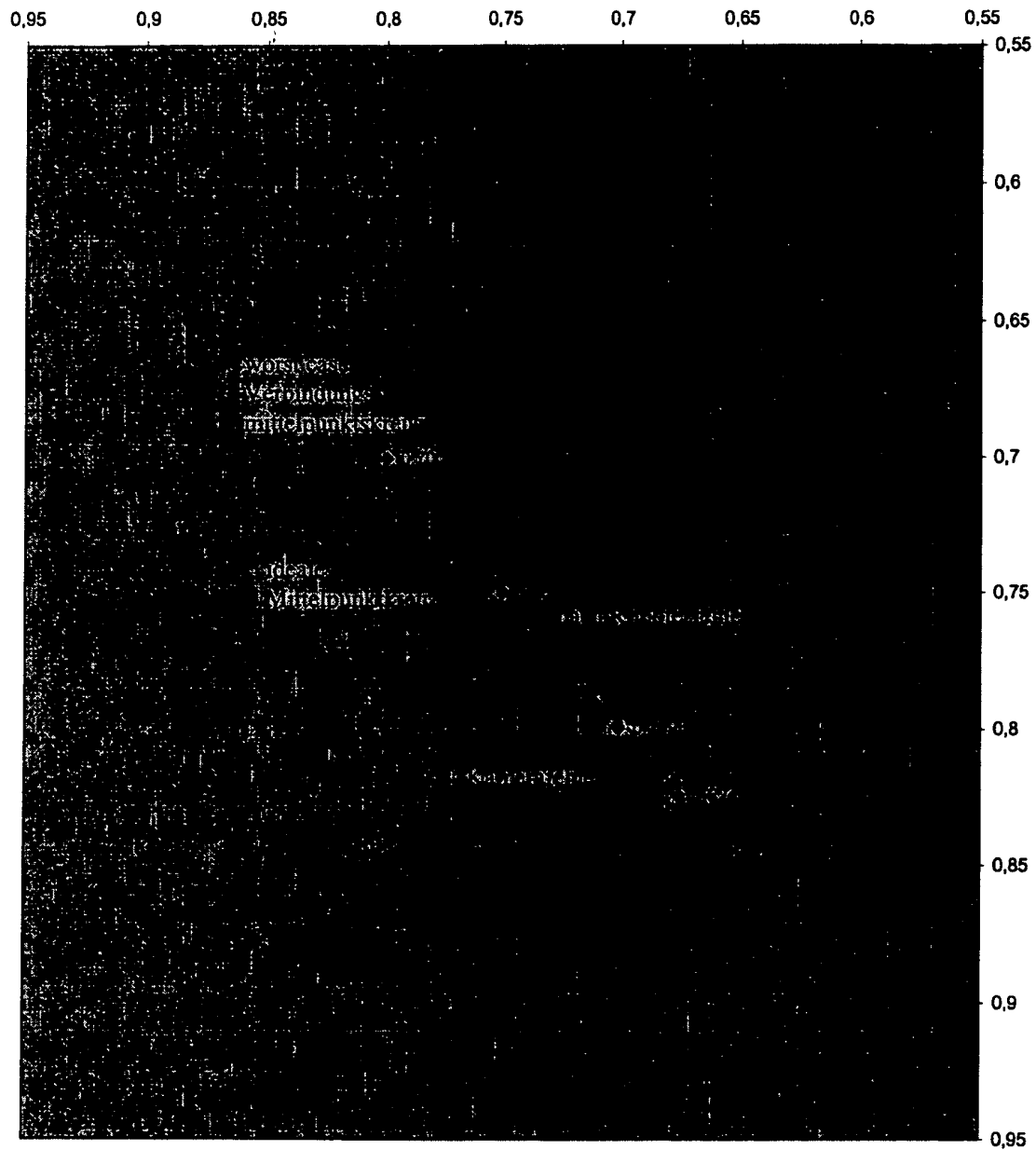


Fig. 17

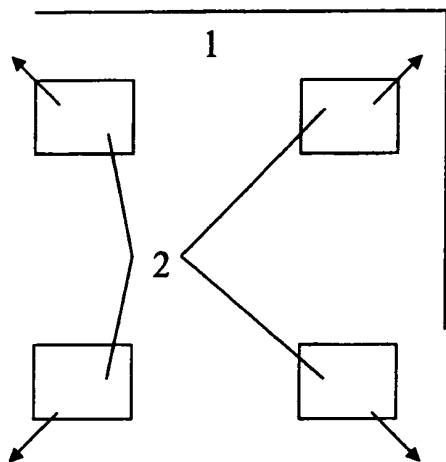


Fig. 18

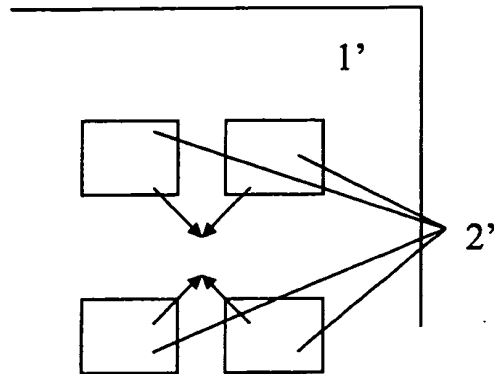
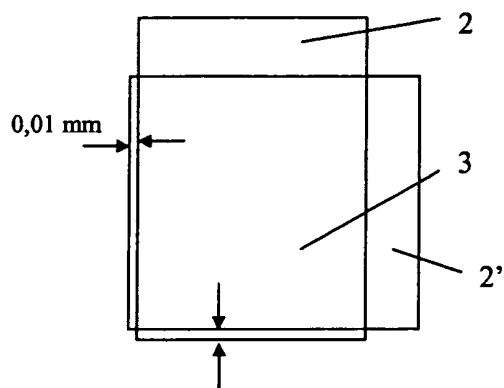


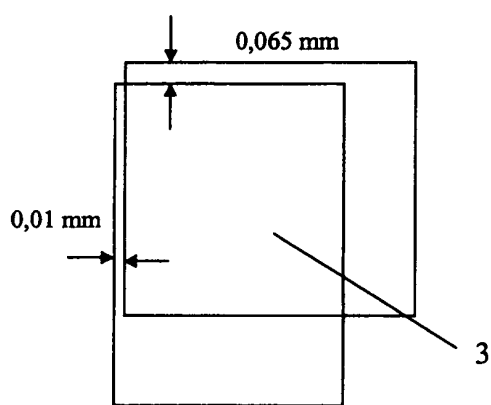
Fig. 19



Fig. 20



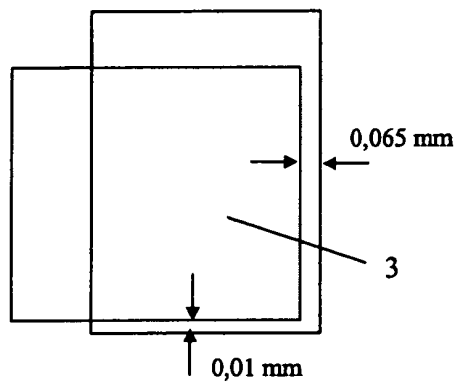
links oben
1,2 mm x 1,2 mm



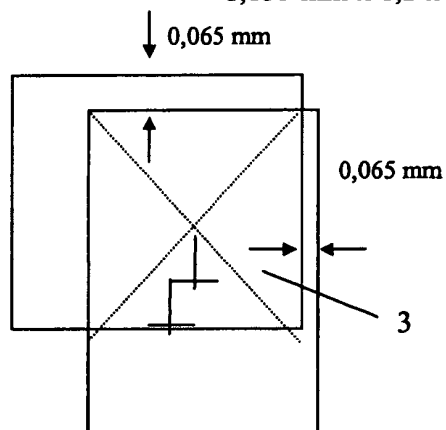
links unten
1,2 mm x 1,135 mm

Fig. 22

Fig. 21

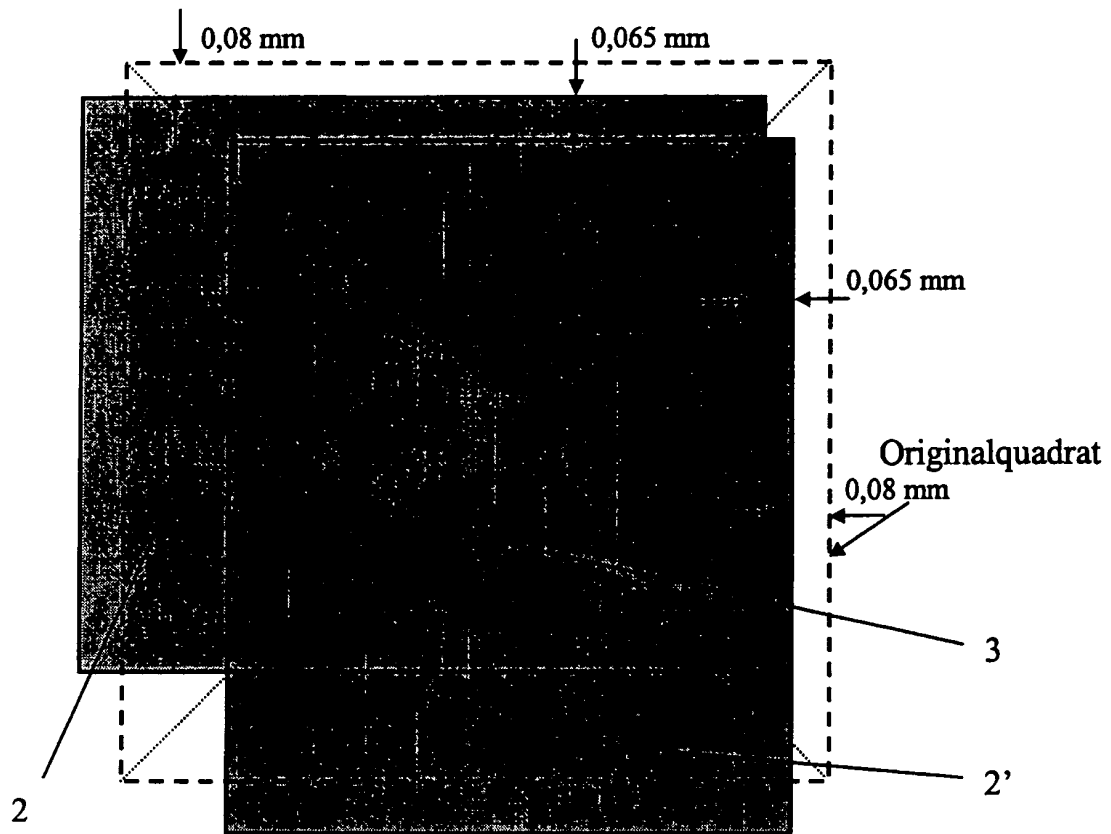


rechts oben
1,135 mm x 1,2 mm



rechts unten
1,135 mm x 1,135 mm

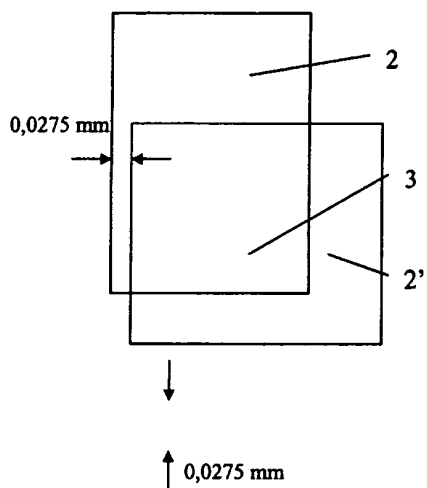
Fig. 23



Detailzeichnung der rechten unteren Ecke

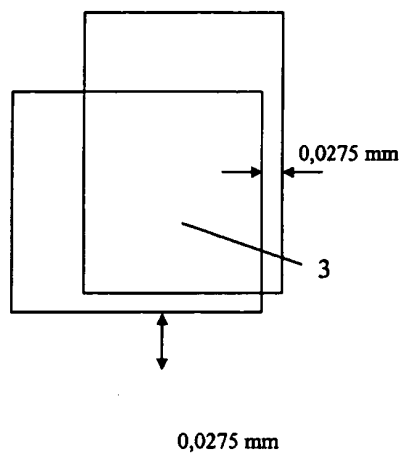
Fig. 24

Fig. 25

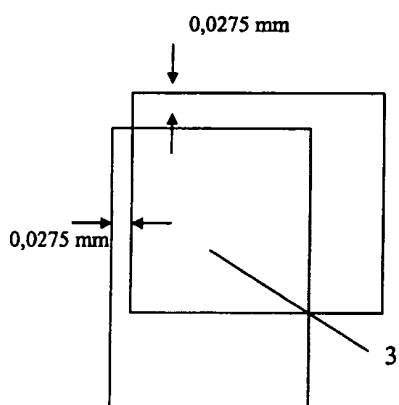


links oben
1,1725 mm x 1,1725 mm

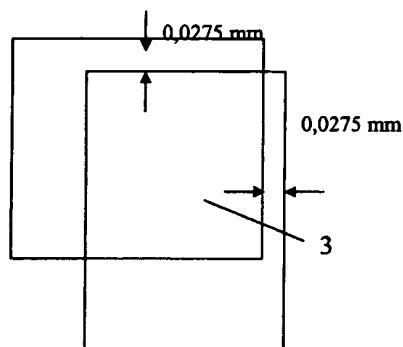
Fig. 26



rechts oben
1,1725 mm x 1,1725 mm



links unten
1,1725 mm x 1,1725 mm



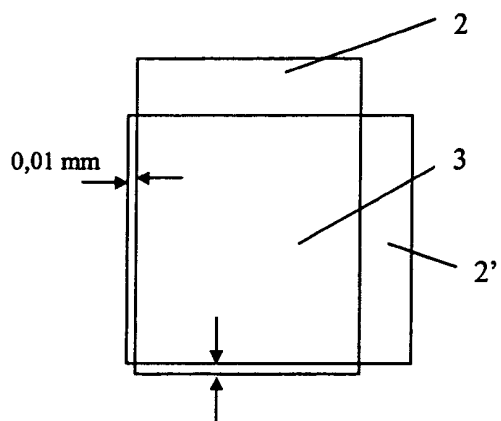
rechts unten
1,1725 mm x 1,1725 mm

Fig. 27

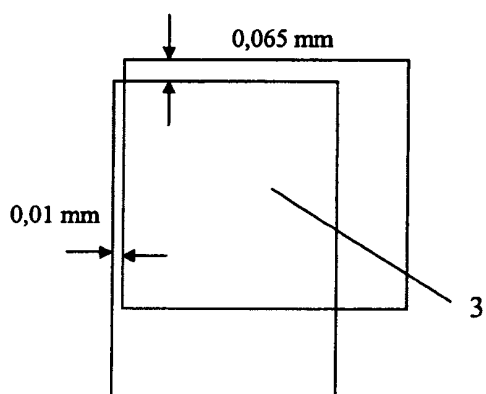
Fig. 28



Fig. 29

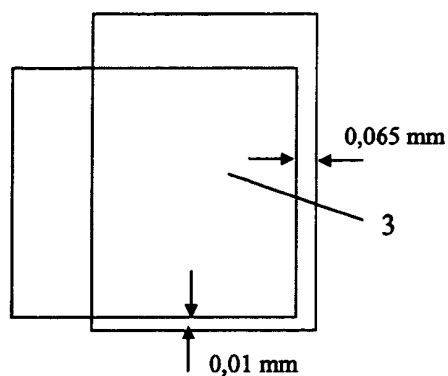


links oben
1,2 mm x 1,2 mm

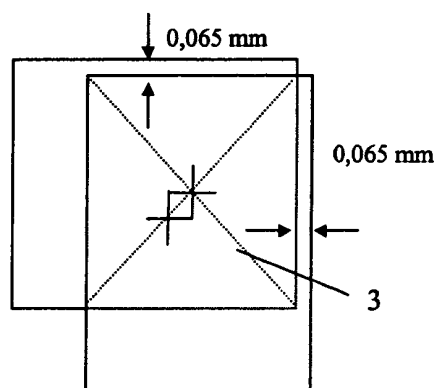


links unten
1,2 mm x 1,135 mm

Fig. 30



rechts oben
1,135 mm x 1,2 mm



rechts unten
1,135 mm x 1,135 mm

Fig. 31

Fig. 32

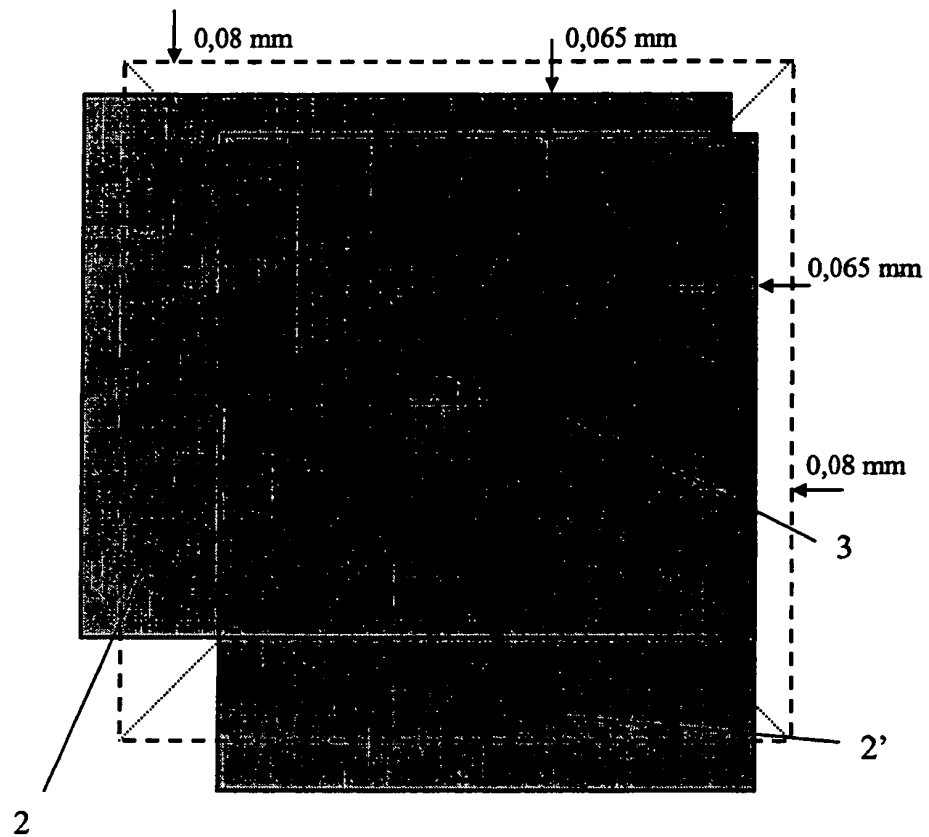
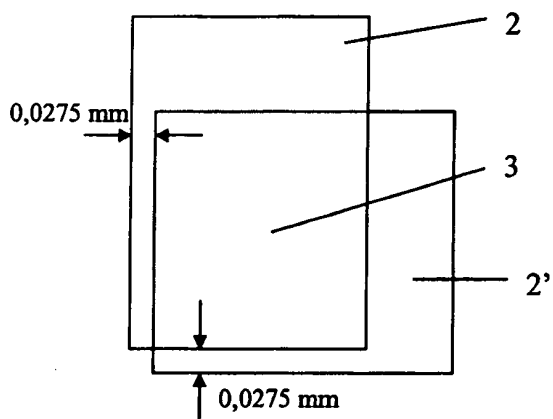


Fig. 33

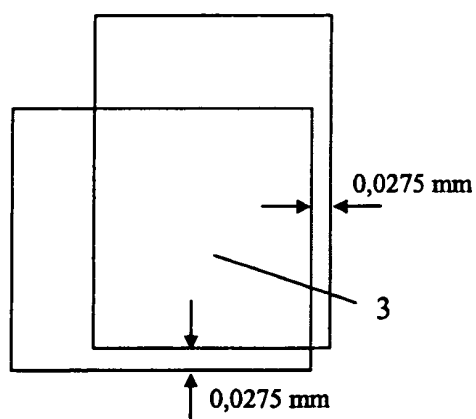


Fig. 34

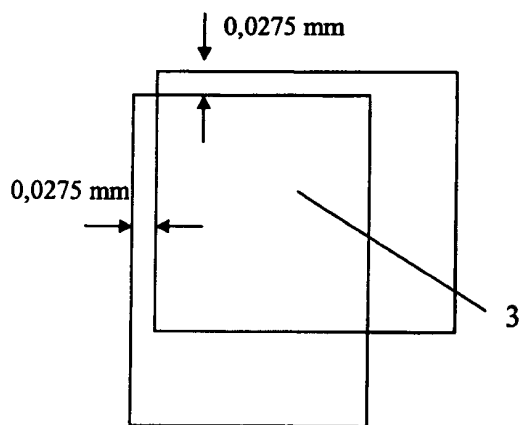


links oben
1,1725 mm x 1,725 mm

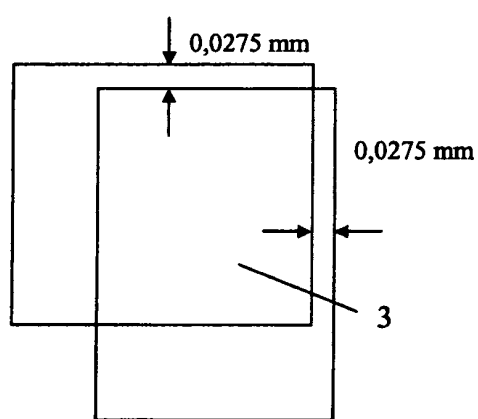
Fig. 35



rechts oben
1,1725 mm x 1,725 mm



links unten
1,1725 mm x 1,1725 mm



rechts unten
1,1725 mm x 1,1725 mm

Fig. 36

Fig. 37