DEUTSCHE DEMOKRATISCHE REPUBLIK

PATENTSCHRIFT

(12) **Wirtschaftspatent**

(19) **DD** (11) **245 346 A3**

Erteilt gemäß § 18 Absatz 2 Patentgesetz

4(51) **H 01 J 37/317**

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

(21)	WP H 01 J / 275 402 4	(22)	22.04.85	(45)	06.05.87

(71) Forschungsinstitut Manfred von Ardenne, 8051 Dresden, Zeppelinstraße 7, DD
(72) Panzer, Siegfried, Dr. rer. nat. Dipl.-Phys.; Döhler, Heinz; Jessat, Kurt, Dipl.-Ing.; Müller, Matthias, Dipl.-Phys., DD

(54) Verfahren zur thermischen Oberflächenmodifikation mit Elektronenstrahlen

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur thermischen Oberflächenmodifikation metallischer Bauteile mit Elektronenstrahlen. Das Ziel ist es, ein breites Einsatzgebiet bei hoher Produktivität zu erreichen. Es besteht die Aufgabe, bei Flüssigphasenprozessen eine hohe Oberflächengüte und bei Festphasenprozessen eine modulierte Oberflächenhärtungsstruktur zu erzeugen. Erfindungsgemäß wird der Elektronenstrahl in schneller zyklischer Folge an mindestens zwei Gruppen bildenden Orten nacheinander zur Einwirkung gebracht. Die Gruppen liegen auf je einer Geraden, die parallel und senkrecht zur Relativbewegungsrichtung zwischen Strahl und Werkstück verlaufen. Nebeneinander liegende Orte einer jeweils anderen Gruppe sind versetzt.

ISSN 0433-6461

6 Seiten

Patentansprüche:

1. Verfahren zur thermischen Oberflächenmodifikation mit Elektronenstrahlen, in dem der Elektronenstrahl hochfrequent zweidimensional abgelenkt wird, bezüglich seines Brennfleckquerschnitts steuerbar ist und relativ zur Werkstückoberfläche bewegt wird, **dadurch gekennzeichnet,** daß der Elektronenstrahl in schneller zyklischer Folge an mindestens zwei Gruppen bildenden Orten nacheinander zur Einwirkung gebracht wird, wobei die Gruppen vorzugsweise auf je einer Geraden liegen, die parallel zueinander und senkrecht zur Relativbewegungsrichtung zwischen Elektronenstrahl und Werkstück verlaufen und die in Relativbewegungsrichtung zueinander versetzt sind, wobei nebeneinander liegende Orte einer jeweils anderen Gruppe angehören und daß die Zykluszeit der Strahlablenkung so gewählt wird, daß an jedem Einwirkort des Elektronenstrahls ein quasistationäres Temperaturfeld entsteht.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet,** daß der Abstand innerhalb der Gruppen gleich gewählt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet,** daß der Elektronenstrahl an jedem Ort innerhalb der gleichen Gruppe die gleiche Zeit, an den Orten der Relativbewegungsrichtung gestaffelten Gruppen, jedoch eine abnehmende Zeit zur Einwirkung gebracht wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet,** daß bei Flüssigphasenprozessen der Abstand der Orte innerhalb einer Gruppe und der der Gruppen untereinander so groß gewählt wird, daß die den Orten zugeordneten Aufschmelzbereiche stets durch festen Werkstoff voneinander getrennt sind und die aufgeschmolzenen Spuren der vorangehenden Gruppe jedoch von denen der folgenden Gruppe überlappt werden.
5. Verfahren nach Anspruch 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet,** daß bei martensitischer Härtung die Gruppen soweit voneinander entfernt werden, daß die martensitische Aushärtung der den Orten einer vorangegangenen Gruppe zugeordneten Oberflächenbereiche ganz oder teilweise abgeschlossen sind, bevor sie in den Wärmeeinflußbereich der folgenden Gruppen gelangen und daß die Distanz der Orte so gewählt wird, daß die der vorangehenden Gruppen zugeordneten Oberflächenbereiche im Wärmeausbreitungsfeld der Orte der folgenden Gruppen in ihrer gesamten Breite oder einem Teil derselben angelassen werden.
6. Verfahren nach Anspruch 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet,** daß der Brennfleck des Elektronenstrahles elliptisch eingestellt wird, wobei die große Halbachse der Brennfleckellipse mit der Relativbewegungsrichtung zwischen Elektronenstrahl und Werkstück zusammenfällt.
7. Verfahren nach Anspruch 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet,** daß der sprungartigen Strahlablenkung eine derart hochfrequente periodische Ablenkung, vorzugsweise mit Ablenkrichtung senkrecht zur Relativbewegungsrichtung zwischen Elektronenstrahl und Werkstück, überlagert wird, daß während der Strahlverweildauer an jeden Ort mindestens eine Ablenkperiode durchlaufen wird.
8. Verfahren nach Anspruch 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet,** daß die Amplitude der überlagerten periodischen Strahlablenkung in der Größenordnung des Brennfleckdurchmessers und die Ablenkfunktion sinusförmig gewählt wird.
9. Verfahren nach Anspruch 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet,** daß die Amplitude der periodischen Strahlablenkung groß gegen den Brennfleckdurchmesser eingestellt wird und die periodische Ablenkfunktion eine Dreieckfunktion ist.
10. Verfahren nach Anspruch 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet,** daß die Ablenkweite der periodischen Strahlablenkung kleiner als der Abstand zwischen zwei benachbarten Strahleinwirkorten einer Gruppe eingestellt wird.

Hierzu 2 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur thermischen Oberflächenmodifikation metallischer Bauteile mit Elektronenstrahlen, das sowohl zur Ausführung von Festphasenprozessen als auch von Flüssigphasenprozessen geeignet ist. Das Verfahren findet vorzugsweise Anwendung zur Erhöhung der Verschleiß- oder Korrosionsbeständigkeit entsprechend belasteter Oberflächenpartien eines Werkstückes.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Es sind Verfahren zur thermischen Oberflächenmodifikation metallischer Bauteile sowohl mit Elektronen- als auch mit Laserstrahlen bekannt.
Beim Einsatz von Laserstrahlen wird am Auftreffort des Strahles auf dem Werkstück ein um den Strahlauftreffort konzentriertes Temperaturfeld erzeugt, dessen Temperaturmaximum, je nach Art des auszuführenden Prozesses unter- oder oberhalb der Schmelztemperatur des betreffenden Werkstoffs liegt. Durch Relativbewegung zwischen Werkstück und Strahl wird ein streifenförmiger Oberflächenbereich in seinen Eigenschaften modifiziert. Soll ein flächenförmiger Bereich behandelt werden, so wird dies durch Aneinanderreihen derartiger Streifen ausgeführt. Strahlleistung, Strahlquerschnitt am Auftreffort auf das Werkstück und Geschwindigkeit der Relativbewegung zwischen Strahl und Werkstück sind dabei eng miteinander verknüpft und werden wesentlich durch die gewünschte Aufheiztiefe bestimmt. Eine Erhöhung der Verfahrensproduktivität ist nur durch gleichzeitige Erhöhung aller drei genannten Parameter möglich und führt zu einer entsprechenden Verringerung des geometrischen Auflösungsvermögens der thermischen Oberflächenbehandlung. In vielen Fällen ist dabei die Erzeugung einer flächenhaften Behandlung mit homogenen Eigenschaften grundsätzlich nicht möglich. Die Ursache dafür besteht in der erneuten thermischen Belastung eines bereits modifizierten Oberflächenbereichs durch Wärmeleitung aus dem angrenzenden Nachbarbereich, der zeitlich danach behandelt wird. Dies ist z. B. bei der martensitischen Härtung der Fall, wo durch das Aneinanderreihen von streifenförmigen Härtungszonen der jeweils vorher gehärtete Streifen angelassen wird und damit wesentlich an Härte einbüßt. Bei der Ausführung von Flüssigphasenprozessen an Grauguß führt die erneute Wärmebelastung im allgemeinen zur Rißbildung in den angrenzenden bereits behandelten Bereichen.

Beim Einsatz von Elektronenstrahlen besteht die Möglichkeit, durch sehr schnelle zeitlineare periodische Strahlablenkung ein quasi linienförmiges Temperaturfeld zu erzeugen, das durch gleichzeitige Relativbewegung zwischen Werkstück und dem gescanten Elektronenstrahl senkrecht zur Scanrichtung homogene flächenhafte Oberflächenmodifikationen auszuführen gestattet. (DE-PS 217928) Es ist auch bekannt, die Ablenkung über die zu behandelnde Werkstückbreite derart vorzunehmen, daß der Elektronenstrahl in z. B. drei, in Hauptrelativbewegungsrichtung hintereinanderliegenden Zonen mit für jede Zone wählbaren Werten von anteiliger Strahleinwirkdauer, Strahlleistung und Strahleinwirkquerschnitt im schnellen zyklischen Wechsel auf dem Werkstück zur Einwirkung gebracht wird. (DE-PS 217927)
Bei einer Reihe von Werkstoffen und größeren Aufschmelztiefen entstehen bei der Anwendung dieser Verfahren jedoch dadurch Probleme, daß die Formtreue der behandelten Oberfläche nicht gewährleistet ist. Zum anderen gestatten diese Verfahren nicht die in manchen Fällen gewünschte örtliche Variation der Oberflächeneigenschaften. Vorteil der Verfahren ist jedoch ihre hohe Produktivität.

Ziel der Erfindung

Es ist ein Verfahren zur thermischen Oberflächenmodifikation zu schaffen, das frei von den Nachteilen der bekannten Verfahren ist und ein breites Einsatzgebiet besitzt und hohe Produktivität aufweist.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur thermischen Oberflächenmodifikation mit Elektronenstrahlen zu schaffen, mit welchem bei Flüssigphasenprozessen eine hohe Oberflächengüte und bei Festphasenprozessen eine modulierte Oberflächenhärtungsstruktur zu erzeugen ist.
Erfindungsgemäß wird die Aufgabe unter Verwendung eines schnell, zweidimensional ablenkbaren Elektronenstrahls, der relativ zur Werkstückoberfläche bewegt wird, dadurch gelöst, daß der Elektronenstrahl in schneller zyklischer Folge an mindestens zwei Gruppen bildenden vorzugsweise äquidistanten Orten nacheinander so zur Einwirkung gebracht wird, daß an jedem der Orte ein quasistationäres Temperaturfeld entsteht, wobei die verschiedenen Gruppen von Einwirkorten auf jeweils einer Kurve, vorzugsweise einer Geraden liegen und diese Geraden parallel zueinander verlaufen. Diese Geraden sind in Relativbewegungsrichtung zwischen dem Elektronenstrahl und Werkstück gegeneinander versetzt und senkrecht zur Relativbewegungsrichtung nebeneinander liegende Orte gehören jeweils einer anderen Gruppe an. Dabei sind die Strahleinwirkorte einer Gruppe und die der verschiedenen Gruppen innerhalb des Ablenkfeldes des Elektronenstrahls voneinander soweit entfernt, daß ihre zugeordneten Temperaturfelder im gewünschten Maße entkoppelt sind.
Die jeweiligen Verweildauern des Elektronenstrahls an den einzelnen Einwirkorten können dabei zweckentsprechend gruppenweise gleich oder unterschiedlich sein. Die Brennfleckgeometrie kann für jeden Strahleinwirkort individuell bzw. der jeweiligen Gruppe zugeordnet unterschiedlich gewählt werden. Ferner kann es vorteilhaft sein, der sprungartigen Strahlablenkung eine derart hochfrequente periodische Strahlablenkung, vorzugsweise mit Strahlablenkrichtung senkrecht zur Relativbewegungsrichtung zwischen Elektronenstrahl und Werkstück zu überlagern, daß während der Verweildauer des Elektronenstrahls an jedem der Orte mindestens eine Ablenkperiode durchlaufen wird.
Bei Festphasenprozessen oder beim Arbeiten mit hoher Strahlleistung kann es ferner vorteilhaft sein, mit elliptisch geformten Strahlbrennfleck zu arbeiten, wobei die große Halbachse der Brennfleckellipse mit der Relativbewegungsrichtung zwischen Strahl und Werkstück zusammenfällt.

Ausführungsbeispiel

Mit zwei Ausführungsbeispielen und zugehörigen Zeichnungen wird die Erfindung näher erläutert.
Die Zeichnungen zeigen in

Fig. 1: eine Anordnung der Strahleinwirkorte bei der streifenförmigen Oberflächenmodifizierung eines prismatischen Körpers durch Aufschmelzen und die Ausbildung der den Strahleinwirkorten zugeordneten Schmelzzonen in perspektivischer, geschnittener Ansicht,
Fig. 2: eine Anordnung der Strahleinwirkorte bei der Oberflächenhärtung eines prismatischen Körpers und die Ausbildung von gehärteten und angelassenen streifenförmigen Zonen.

1. Beispiel: (Figur 1)
Die Oberfläche eines prismatischen Stahlkörpers 1 ist durch den Aufschmelzprozeß mit einem 100 keV — Elektronenstrahl 2 entlang eines streifenförmigen Gebietes zu modifizieren. Dabei besteht die Forderung, daß nach der oberflächenbegrenzten Schmelzbehandlung die entstandene Oberflächenrauhigkeit minimal ist, um das erforderliche Schleifmaß klein zu halten.
Der Elektronenstrahl 2 wird dazu an äquidistanten Orten 3.1, 3.2 ... 3.n und 4.1, 4,2 ... 4.n der zu modifizierenden Oberfläche in so schneller zyklischer Folge zur Einwirkung gebracht, daß an jedem Ort 3.1 ... 3.n und 4.1 ... 4.n ein quasistationäres Temperaturfeld entsteht.
Diese Bedingung ist erfüllt, wenn die Zykluszeit τ für einmalige Strahleinwirkung an allen Orten 3.1 ... 3.n und 4.1 ... 4.n der Beziehung $\tau \lesssim \frac{s^2}{a}$ mit $s = 2{,}7 \cdot 10^{-3}$ cm als die Reichweite eines 100 keV — Elektronenstrahles in Stahl und $a \approx 5 \cdot 10^{-2}\,cm^2s^{-1}$ als die Temperaturleitfähigkeit von Stahl bei hohen Temperaturen genügt. Für das vorliegende Beispiel ergibt sich $\tau \lesssim 150\,\mu s$.

Die Orte 3.1...3.n liegen auf der Geraden 3 und die Orte 4.1...4.n auf der Geraden 4. Die Geraden 3 und 4 verlaufen parallel zueinander, wobei die Gerade 4 in Bewegungsrichtung des Stahlkörpers 1 gemäß dem Pfeil hinter der Geraden 3 liegt. Der Stahlkörper 1 wird dabei in Pfeilrichtung mit konstanter Geschwindigkeit relativ zum Elektronenstrahl 2 bewegt, wobei die Aufschmelzspuren 3.1', 3.2'...3.n' und 4.1', 4.2'...4.n' entstehen. Deren Breite ist größer als der gegenseitige Abstand der Strahleinwirkorte senkrecht zur Richtung des Pfeiles. Die Breite der Aufschmelzspuren 3.1'...3.n' ist gleich der der Aufschmelzspuren 4.1'...4.n', so daß die Aufschmelzspuren sich gegenseitig überlappen eine geschlossene modifizierte Fläche bilden.
Die Leistung, Leistungsdichte und Ablenkzyklusdauer des Elektronenstrahles 2 ist in Verbindung mit der gewünschten Aufschmelztiefe und dem Abstand der Orte 3.1...3.n und 4.1...4.n sowie dem Abstand der Geraden 3 und 4 unter Berücksichtigung der Bewegungsgeschwindigkeit des Stahlkörpers 1 so gewählt, daß an jedem Ort ein quasistationäres Temperaturfeld entsteht, und daß die um die Orte 3.1...3.n und 4.1...4.n entstehenden schmelzflüssigen Bereiche 3.1", 3.2"...3.n" und 4.1", 4.2"...4.n" einander nicht berühren.
Entsprechend der wärmeleitungsbedingten Werkstoffvorwärmung durch die Strahleinwirkung an den Orten 3.1...3.n ist die jeweilige Strahlverweildauer an den Orten 3.1...3.n etwa im Verhältnis drei zu zwei größer als an den Orten 4.1...4.n gewählt.

2. Beispiel: (Figur 2)
Die Oberfläche eines prismatischen Körpers 11 aus einem umwandlungshärtenden Stahl ist oberflächenbegrenzt so zu härten, daß wechselweise schmale Streifen maximaler Härte und durch Anlaßwirkung reduzierter Härte entstehen.
Der Elektronenstrahl 12 wird wiederum an Orten 13.1, 13.2...13.n und 14.1, 14.2...14.n, die ebenfalls zwei Geraden 13 und 14 zugeordnet sind, in schneller zyklischer Folge zur Einwirkung gebracht. Der Abstand der Geraden 13 und 14 ist jedoch so groß gewählt, daß die an den Orten 13.1...13.n über die Austenitisierungstemperatur hinaus erwärmten Oberflächenpositionen 13.1', 13.2'...13.n' beim Erreichen der Geraden 14 durch wärmeleitungsbedingte Abschreckung ganz oder teilweise gehärtet sind. An den Orten 14.1, 14.2...14.n erfolgt die Erwärmung und Härtung der verbliebenen Zwischenräume. Durch Wärmeleitung in die zwischenliegenden bereits gehärteten Zonen 13.1"...13.n" erfolgt in deren Randzonen ein Härteabbau durch Anlaßwirkung. Es entstehen die angelassenen streifenförmigen Zonen 15.1, 15.2...15.n in den Randbereichen der bereits gehärteten Zonen 13.1"...13.n". Die gehärteten Zonen 14.1"...14.n" erreichen dagegen volle Aufhärtung. Das Ergebnis ist eine gehärtete Oberfläche, in der sich Streifen unterschiedlicher Härte und Gefügestruktur in der durch die Orte 13.1...13.n und 14.1...14.n gegebenen Periodizität ablösen.
Zur Unterdrückung oberflächlichem Anschmelzens kann es zweckmäßig sein, einen Elektronenstrahl 12 mit elliptischem Strahlquerschnitt einzusetzen, wobei die große Hauptachse der Ellipse mit der Bewegungsrichtung des Werkstücks zusammenfällt.
Weiterhin kann es zweckmäßig sein, die Breite der gehärteten Zonen 13.1"...13.n" und 14.1...14.n" gegenüber den durch die Brennfleckabmessungen gegebenen zu erhöhen. In diesem Fall wird der zyklisch sprungartigen Ablenkung eine periodische Ablenkung überlagert, deren Amplitude nach Maßgabe der Spurbreite und deren Frequenz so hoch gewählt wird, daß an jedem Ort der Strahleinwirkung mindestens eine volle Ablenkperiode durchlaufen wird. Bei Amplituden der periodischen Ablenkung, die in der Größenordnung des Brennfleckdurchmessers liegen, sind Sinusfunktionen, bei größeren Ablenkamplituden Sägezahn- oder Dreieckfunktionen geeignet.

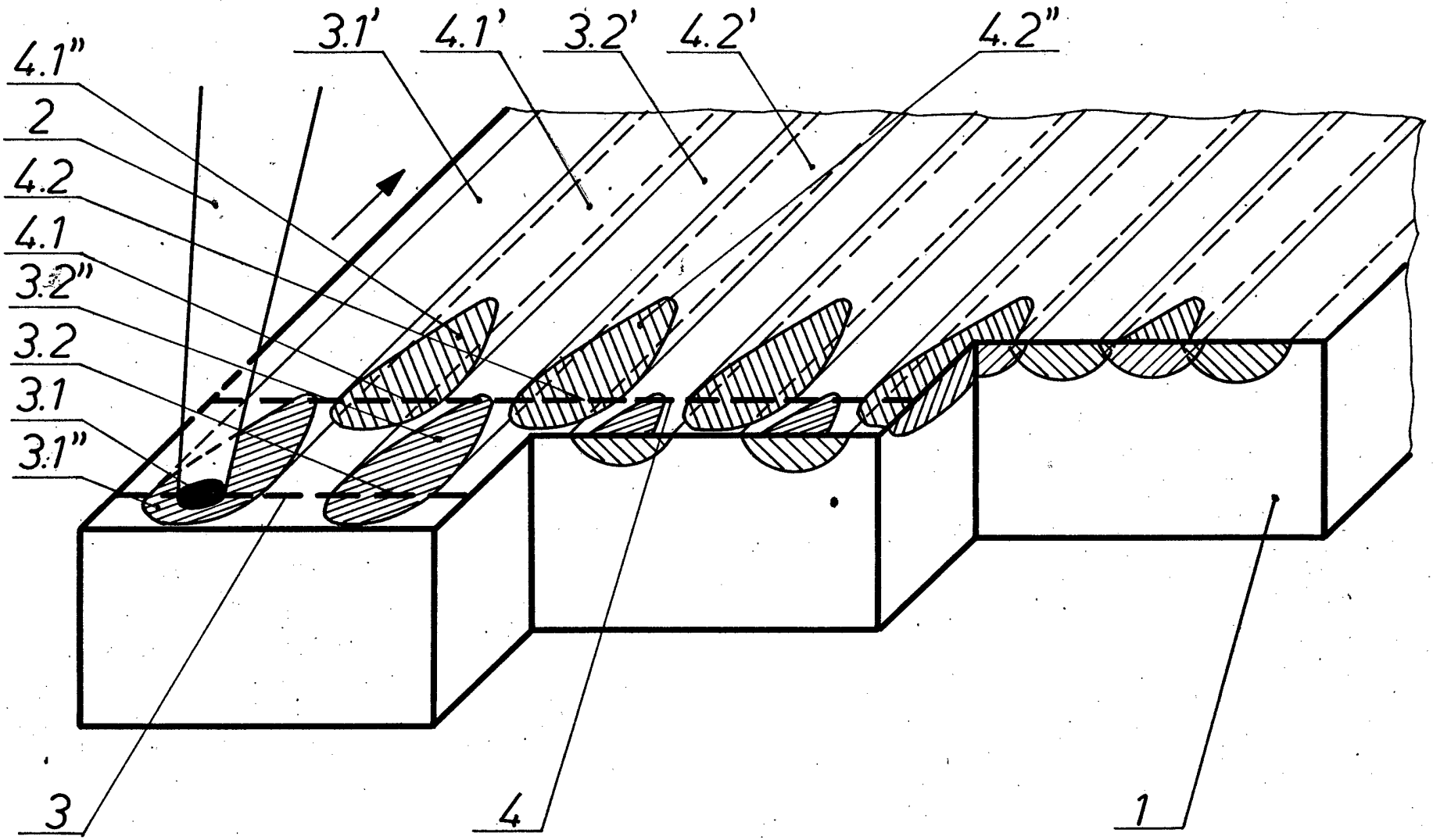


Fig.1

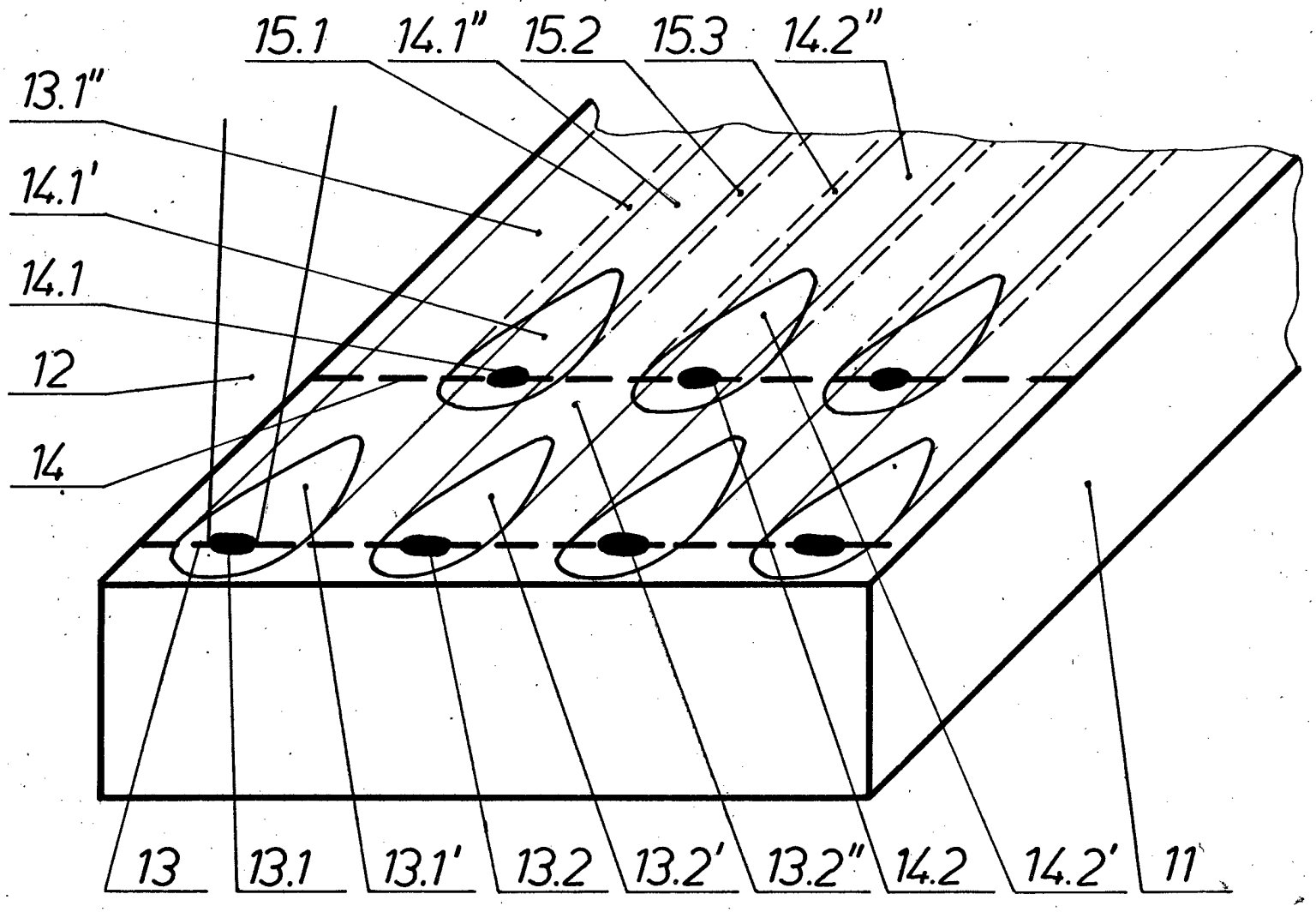

15.1
14.1"
15.2
15.3
14.2"
13.1"
14.1'
14.1
12
14
13
13.1
13.1'
13.2
13.2'
13.2"
14.2
14.2'
11

Fig. 2