



(12) Wirtschaftspatent

Teilweise bestätigt gemäß § 18 Absatz 1
Patentgesetz(19) **DD** (11) **249 923 B1**

4(51) C 21 D 1/09

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

(21)	WP C 21 D / 291 372 2	(22)	17.06.86	(45)	14.12.88
				(44)	23.09.87

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

(54) Verfahren zur flächenhaften thermischen Oberflächenmodifikation mit Elektronenstrahlen

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur flächenhaften thermischen Oberflächenmodifikation mit Elektronenstrahlen, vorzugsweise zur Kurzzeithärtung. Das Ziel ist die Verbesserung der Energieeffizienz und die Aufgabe ist es, die thermische Belastung der Bauteile zu reduzieren. Erfindungsgemäß wird ein hochfrequent zweidimensional ablenkbarer Elektronenstrahl relativ mit vorzugsweise konstanter Geschwindigkeit zum Werkstück bewegt, indem er in Relativbewegungsrichtung nach einer nichtlinearen periodischen Zeitfunktion geringerer Frequenz abgelenkt wird. Senkrecht zur Relativbewegungsrichtung wird er mit einer der Bahnbreite entsprechenden Amplitude abgelenkt.

Patentansprüche:

1. Verfahren zur flächenhaften thermischen Oberflächenmodifikation mit Elektronenstrahlen, indem ein hochfrequent zweidimensional ablenkbarer, mit elliptischem Brennfleck fokussierbarer Elektronenstrahl relativ zum Werkstück mit vorzugsweise konstanter Geschwindigkeit bewegt wird und senkrecht zur Relativbewegungsrichtung des Werkstückes hochfrequent zeitlinear periodisch abgelenkt wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Elektronenstrahl senkrecht zur Relativbewegungsrichtung mit der der Bahnbreite entsprechenden Amplitude und in Relativbewegungsrichtung nach einer nichtlinearen periodischen Zeitfunktion, deren Frequenz zur Frequenz der Ablenkung senkrecht zur Relativbewegungsrichtung unterschiedlich, vorzugsweise geringer ist, abgelenkt wird, daß der Brennfleck des Elektronenstrahls zugeordnet zur Ablenkung in Relativbewegungsrichtung zumindest in einem Teil des Ablenkfeldes mit nichtrotationssymmetrischem Querschnitt derart zur Einwirkung gebracht wird, daß die gesamte innerhalb des Strahleinwirkungsbereiches liegende Werkstückoberfläche mit der max. zulässigen Prozeßtemperatur entsprechenden Isothermen zusammenfällt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei annähernd temperaturunabhängiger Wärmeleitfähigkeit des Werkstoffes die Energie innerhalb des Energieübertragungsbereichs $x = 0 - A_x$ mit der Energiedichte

$$\psi(x) \sim \sqrt{\frac{Ax}{x}} \text{ übertragen wird.}$$

3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei stark temperaturabhängiger Wärmeleitfähigkeit des Werkstoffes die Energieverteilungsfunktion $\psi(x)$ derart angepaßt wird, daß die Oberfläche im Energieübertragungsbereich eine Isotherme bildet.
4. Verfahren nach Anspruch 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Oberflächenisotherme unmittelbar unter der Schmelztemperatur des Werkstoffes liegt.
5. Verfahren nach Anspruch 1, 2 und 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Strahlenergie entlang von n y -Ablenkspuren übertragen wird, die den x -Koordinaten $x_i = \frac{Ax}{n^2} (i^2 - i + \frac{1}{2})$ entsprechen.

6. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Periodendauer der nichtlinearen ablenkfunktion der Bedingung

$$T_x \approx \frac{s^2}{a} \text{ entspricht.}$$

Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Ausdehnung des Strahlbrennflecks in Werkstückbewegungsrichtung der Bedingung $d_{Fx} \approx x_i - x_{i-1}$ genügt und senkrecht zur Werkstückbewegungsrichtung auf einem konstanten Minimalwert gehalten wird.

8. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß innerhalb der verfügbaren Strahlablenkamplitude mehrere Energieeinwirkbereiche nacheinander durchlaufen werden, die soweit voneinander entfernt sind, daß die Werkstofftemperatur zwischen den Bereichen unter die Austinitisierungstemperatur des Werkstoffes abfällt.

Hierzu 1 Seite Zeichnung

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur flächenhaften thermischen Oberflächenmodifikation mit Elektronenstrahlen, insbesondere zur Kurzzeithärtung bahnförmiger Oberflächenbereiche an Werkstücken aus umwandlungshärtenden Werkstoffen.

Charakteristik der bekannten technischen Lösung

Es sind eine Reihe von Verfahren zur thermischen Oberflächenmodifikation mit Laser- und Elektronenstrahlen bekannt. Dabei wird meist ein fokussierter oder defokussierter Energiestrahl auf der Oberfläche eines mit Relativgeschwindigkeit senkrecht zum Strahl bewegten Werkstückes zur Einwirkung gebracht. Die Breite der dadurch entstehenden bahnförmigen Oberflächenmodifikation liegt im Bereich des Brennfleck- bzw. Strahldurchmessers in der Prozeßebene und erreicht Werte im Millimeterbereich. Die Tiefe der erzielten Werkstoffmodifikation ist durch die übertragene Energiedichte und damit die Leistungsdichteverteilung im Strahlquerschnitt maßgeblich bestimmt. Sie ist also eine Funktion des Abstandes von der Bahnmitte.

Zur Erzielung einer konstanten Modifikationstiefe und zur Verbreiterung der modifizierten Bahnen ist es ferner bekannt, die benötigte Energie mit einem ein- oder zweidimensional hochfrequent ablenkbaren Elektronenstrahl auf das Werkstück zu übertragen. (DD-PS 217927. Bei diesem in qualitativer und quantitativer Hinsicht leistungsfähigsten der bekannten Verfahren wird die auf einem gegebenen Ort der Werkstückoberfläche zu übertragende Energie nicht in einem ununterbrochenen Zyklus sondern gequantelt in sehr vielen Energieimpulsen übertragen. Der auch diesem Verfahren noch anhaftende Mangel besteht darin, daß die auf das Werkstück übertragene Energie nur relativ uneffektiv für den Modifikationsprozeß genutzt wird. Dabei ist darauf Bezug genommen, daß nur in jener Oberflächenschicht die beabsichtigte Werkstoffmodifikation erfolgt, in der eine Temperatur erreicht wird, die innerhalb eines durch die Werkstoffeigenschaften vorgegebenen Intervalls $T_1 \dots T_2$ liegt. Das bedeutet einerseits, daß im gesamten Prozeß an keinem Ort die Temperatur T_2 , z. B. die Schmelztemperatur, überschritten werden darf und daß andererseits jeder Ort, an dem T_1 z. B. die Autentisierungstemperatur, nicht erreicht wird, zwar erwärmt, aber nicht im gewünschten Sinne modifiziert wird.

Ziel der Erfindung

Das Ziel der Erfindung besteht in einer Verbesserung der Energieeffizienz bei der thermischen Oberflächenmodifikation metallischer Bauteile mit Elektronenstrahlen, insbesondere beim flächenhaften Härten bahnförmiger Oberflächenbereiche.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur thermischen Oberflächenmodifikation metallischer Bauteile, insbesondere zur flächenhaften Härtung bahnförmiger Oberflächenbereiche mit ortsunabhängiger Härtetiefe anzugeben, daß sich gegenüber den bekannten Verfahren durch verbesserte Energieeffizienz und damit durch geringere thermische Bauteilbelastung mit ihren nachteiligen Folgen auszeichnet.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe unter Verwendung eines hochfrequent zweidimensional ablenkbaren und mit elliptischem Brennfleck fokussierbaren Elektronenstrahls relativ zu dem das Werkstück mit vorzugsweise konstanter Geschwindigkeit bewegt ist und wobei der Elektronenstrahl senkrecht zur Relativbewegungsrichtung des Werkstückes hochfrequent zeitlinear periodisch abgelenkt wird, dadurch gelöst, daß der Elektronenstrahl in Relativbewegungsrichtung des Werkstückes nach einer derartigen nichtlinearen periodischen Zeitfunktion zur Frequenz der Ablenkung senkrecht zur Bewegungsrichtung mit unterschiedlicher, vorzugsweise geringerer Frequenz abgelenkt und der Strahlbrennfleck zugeordnet zur Strahlablenkung so elliptisch fokussiert wird, daß während jeder Ablenkperiode jeder Ort der Werkstückoberfläche innerhalb des Strahlablenkfeldes mit Energie derart beaufschlagt wird, daß die Werkstückoberfläche innerhalb des gesamten zweidimensionalen Ablenkfeldes die der maximal zulässigen Prozeßtemperatur entsprechende Isotherme bildet. Dies wird bei temperaturunabhängiger Wärmeleitfähigkeit der Werkstoffe mit einer Energieverteilungsfunktion

$$\psi(x) = \sqrt{\frac{Ax}{x}}$$

erreicht, wobei x die Ablenkkoordinate und A_x die Ablenkamplitude in

Werkstückbewegungsrichtung ist. Die Periodendauer τ_y der linearen Ablenkung wird dabei so gewählt, daß der am momentanen Strahlwirkort entstehende Temperatursprung klein gegenüber der Temperaturdifferenz $T_2 - T_1$ ist. Die Periodendauer der nichtlinearen Ablenkfunktion τ_x wird so gewählt, daß sie größenordnungsmäßig der Bedingung

$$\tau_x \approx \frac{S^2}{a}$$

mit S als der Elektronenreichweite und a als der Temperaturleitfähigkeit des Werkstoffes

genügt.

Zum Zwecke der Mehrfachautentisierung oder des Anlassens kann es zweckmäßig sein, innerhalb der realisierbaren Ablenkamplitude in Werkstückbewegungsrichtung hintereinander mehrere isotherme Energieübertragungsbereiche anzuordnen, die soweit voneinander entfernt sind, daß die Werkstofftemperatur zwischen ihnen jeweils auf Werte unterhalb der Autentisierungstemperatur abfällt.

Zur weiteren Vervollkommnung des Verfahrens bzw. zur Erreichung untergeordneter Aufgaben ist die Anwendung der in den Unteransprüchen definierten Merkmale zweckmäßig.

Ausführungsbeispiel

In der zugehörigen Zeichnung ist ein Ausschnitt aus einem ebenen entlang einer Bahn oberflächenzuhärtenden Werkstück in Zuordnung zum Ablenkfeld des Elektronenstrahls dargestellt. Ein ebenes Werkstück 1 aus einem umwandlungshärtenden Stahl ist entlang der Bahn 2 durchgängig oberflächenzuhärten. Dazu wird es relativ zum Elektronenstrahl 3, der im x - y -Koordinatensystem 4 hochfrequent ablenkbar ist, in Richtung des Pfeiles 5 mit der Geschwindigkeit V_x bewegt.

Der Elektronenstrahl 3 wird nach einer hochfrequenten zeitsymmetrischen Dreieckfunktion entlang der y -Spuren in Richtung der Pfeile 7 geführt. Dabei wird er nach Durchlaufen der y -Spur in x -Richtung auf eine andere y -Spur nach der Reihenfolge 6.1,

6.3...6.n-1, 6.n-2,...6.2, 6.1 ... versetzt. Die y-Spuren 6 sind mit ihrer Koordinate x_i so gewählt, daß die Oberfläche des Werkstücks 1 im Energieübertragungsbereich $A_x \times A_y$ die der maximal zulässigen Oberflächentemperatur T_2 entsprechende Isotherme bildet. Für eine Ausdehnung der Energieübertragungsbereiche von $x = 0 \dots A_x$ und einem Werkstoff mit temperaturunabhängiger Wärmeleitfähigkeit ergibt sich aus der Energieverteilungsfunktion

$$\psi = \sqrt{\frac{A_x}{X}}$$

für die Koordinaten

$$x_i = \frac{A_x}{n^2} \left(i^2 - i + \frac{1}{2} \right), i = 1 \dots n.$$

Der Elektronenstrahl 3 hat die Elektronenenergie $eU_B = 100 \text{ keV}$, seine Reichweite in Stahl beträgt etwa $20 \mu\text{m}$, die Temperaturleitfähigkeit des Werkstoffes beträgt $a = 0,05 \text{ cm}^2/\text{s}$. Damit ergibt sich aus der Forderung für die Periodendauer

$$\tau_x \approx \tau = \frac{s^2}{a} \quad \text{ein Wert für } \tau \approx 80 \mu\text{s}. \text{ Bei einer angenommenen } \gamma\text{-Ablenkfrequenz von } 100 \text{ kHz resultiert wegen}$$

angenommenen γ -Ablenkfrequenz von 100 kHz resultiert wegen

$$n = \frac{\tau_x}{\frac{\tau_y}{z}} \text{ ein zugeordneter Wert von } n = 16.$$

Zur Erfüllung der Forderung, daß jeder Ort der Oberfläche des Werkstückes 1, der innerhalb des Energieübertragungsbereiches liegt, während der Periode τ_x mit Energie beaufschlagt wird, ist eine von der Ablenkkoordinate x_i abhängige Brennfleckausdehnung $d_{F x_i}$ in x-Richtung von $d_{F x_i} \approx x_i - x_{i-1}$ erforderlich.

Die Brennfleckausdehnung $d_{F y}$ in y-Richtung ist dagegen im Interesse einer scharfen Begrenzung des Energieeintrages auf ihrem kleinstmöglichen Wert zu halten. Es ergeben sich damit die den γ -Spuren zugeordneten elliptischen Brennflecke B.

Die Strahlleistung und Ausdehnung A_x des Energiezeitübertragungsbereiches ist auf die gewünschte Härtetiefe und die zulässige Oberflächentemperatur abzustimmen.

Bei stark temperaturabhängiger Wärmeleitfähigkeit des Werkstoffes ist die angegebene Energieverteilungsfunktion $\psi(x)$ so anzupassen, daß die Oberfläche des Werkstückes 1 im Energieeinwirkungsbereich $A_x \times A_y$ eine der gewünschten Temperatur T_1 entsprechenden Isotherme bildet.

249 923

