



(12) Ausschließungspatent

(11) DD 291 717 A5

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1  
Patentgesetz der DDR  
vom 27.10.1983  
in Übereinstimmung mit den entsprechenden  
Festlegungen im Einigungsvertrag

5(51) B 23 K 26/00

DEUTSCHES PATENTAMT

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

|      |                                                                                                        |      |          |      |          |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|----------|------|----------|
| (21) | DD B 23 K / 337 442 2                                                                                  | (22) | 31.01.90 | (44) | 11.07.91 |
| (71) | siehe (73)                                                                                             |      |          |      |          |
| (72) | Wagner, Dietmar, Dr. rer. nat., DE                                                                     |      |          |      |          |
| (73) | Forschungszentrum des Werkzeugmaschinenbaues Karl-Marx-Stadt, Karl-Marx-Allee 4, O - 9010 Chemnitz, DE |      |          |      |          |

(54) Verfahren zur Einstellung definierter lateraler Temperaturfelder bei der Lasermaterialbearbeitung

(55) Lasermaterialbearbeitung; Laserbehandlung; Oberflächenveredlung; Strahloszillation; Energiedichte Verteilung, flexibel, anpaßbar; Laserstrahl, pulsbar; Temperaturfeld, lateral

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Einstellung definierter lateraler Temperaturfelder bei der Lasermaterialbearbeitung und -behandlung von Werkstücken, vorzugsweise für die Oberflächenveredlung sowie für Abtrags- und Fügeprozesse. Mit der Erfindung soll eine flexibel an unterschiedlichste Bearbeitungsaufgaben und Werkstückgeometrien anpaßbare Energiedichte Verteilung des Laserstrahls erreicht werden. Erfindungsgemäß wird ein vorzugsweise hochfrequent pulsbarer Laserstrahl mit einer Strahloszillationsoptik zumindest in einer Achse mit einer Frequenz  $> 100$  Hz periodisch ausgelenkt und, synchronisiert mit dieser Schwingung, entlang eines vorzugsweise äquidistanten Punkt-, Linien- oder Flächenrasters Laserimpulse mit einer von Punkt zu Punkt einstellbaren Pulsenergie in das vom Oszillationssystem überstrichene Bestrahlungsfeld eingebracht werden, wobei die dazu notwendige Pulsfrequenz zumindest das Fünf- bis Zehnfache der Oszillationsfrequenz bei einer Schwingachse bzw. das Dreißigfache der höchsten Einzelfrequenz bei mehreren Achsen beträgt.

## Patentansprüche:

1. Verfahren zur Einstellung definierter lateraler Temperaturfelder bei der Lasermaterialbearbeitung und -behandlung von Werkstücken, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein vorzugsweise hochfrequent pulsbarer Laserstrahl mit einer Strahloszillationsoptik zumindest in einer Achse mit einer Frequenz  $> 100\text{ Hz}$  periodisch ausgelenkt wird und, synchronisiert mit dieser Schwingung, entlang eines vorzugsweise liquidistanten Punkt-, Linien- oder Flächenrasters Laserimpulse mit einer von Punkt zu Punkt einstellbaren Pulsenergie in das vom Oszillationssystem überstrichene Bestrahlungsfeld eingebracht werden, wobei die dazu notwendige Pulsfrequenz zumindest das Fünf- bis Zehnfache der Oszillationsfrequenz bei einer Schwingachse bzw. das Dreißigfache der höchsten Einzelfrequenz bei mehreren Achsen beträgt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß in Abhängigkeit vom Punktraster bzw. der Schwingungsform des Oszillationssystems sowohl mit konstanter Pulsfrequenz und variabler Pulsenergie, als auch mit jeweils veränderbaren Pulsenergien, Pulsdauern und Totzeiten zwischen den Laserimpulsen gearbeitet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Laserstrahl an bestimmten Punkten ausgetastet wird, wobei zur gleichen Zeit unterschiedliche lasertechnologische Verfahren innerhalb des Ablenkfeldes kombinierbar sind, wie z. B. Fest- und Flüssigphasenveredlungsprozesse.
4. Verfahren nach Anspruch 1–3, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein kontinuierlich strahlender (cw-)-Laser mit einem entsprechend schnell einstellbaren Zeit-Leistungsregime verwendet wird.

Hierzu 2 Seiten Zeichnungen

## Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung ist auf dem Gebiet der Lasermaterialbearbeitung und -behandlung von unterschiedlich geformten Werkstücken, vorzugsweise für die Oberflächenveredlung sowie für Abtrags- und Fügeprozesse, anwendbar.

## Charakteristik des bekannten Standes der Technik

Aus der Fach- und Patentliteratur ist bekannt, daß bisherige Methoden zur Formung des Laserstrahls nur eine bedingt flexible Anpassung an unterschiedliche Bearbeitungsaufgaben gestatten. Insbesondere bei der Laseroberflächenveredlung kommt es in Abhängigkeit von der konkreten Werkstückgeometrie zur Notwendigkeit einer gezielten Beeinflussung der ursprünglichen Energiedichteverteilung des Laserstrahles mit Hilfe zusätzlicher optischer Elemente, um in diesem Fall eine lokal isotherme Oberflächentemperatur innerhalb der Behandlungszone zu realisieren.

Bei kompliziert geformten Werkstücken müssen teils aufwendige und optisch starre Vorrichtungen mit zusätzlichen Spiegeln und/oder Linsen den Strahl hinsichtlich seiner Energiedichteverteilung zur Erzielung gewünschter Einwirkzonen formen, so u. a. für Zahnräder (US-PS 4250372; B23k 27/00) oder für Schneiden und Kanten (DD-PS 256274; B23k 26/06).

Für ebene Flächen wird eine annähernd isotherme Oberflächentemperaturverteilung vor allem durch Schwingungsspiegelsysteme, d. h. Oszillationstechniken erzielt, wobei der teilweise fokussierte Laserstrahl im eindimensionalen Fall senkrecht zur Relativbewegungsrichtung Werkstück-Laserstrahl periodisch abgelenkt wird (DE-OS 3213667; B23K 26/08). Technisch sind aufgrund wachsender Trägheitskräfte nur Ablenkfrequenzen  $< 500\text{ Hz}$  bei zumeist sinusförmigem Schwingungsverlauf erzielbar, was einen in den Umkehrpunkten erhöhten Energieeintrag und damit zumeist unerwünschte Temperaturerhöhungen zur Folge hat. Dieser Nachteil ist durch eine Abstimmung von technologischen Parametern wie z. B. Fokusbereich und Schwingungsamplitude teilweise behebbar (DD-PS 242358; B23K 26/00), bleibt jedoch in der Anwendung auf ebene Oberflächen beschränkt und stellt zudem eine Einengung der möglichen technologischen Freiheitsgrade dar.

Weitere bekannte technische Lösungen in diesem Zusammenhang sind

- die Korrektur der relativen Verweilzeit des Spiegels während einer Periode (Verzögerung der Spiegelgeschwindigkeit außerhalb der Umkehrpunkte, JP 60-130490; B23K 26/08),
- Absenkung der Laserleistung während des Durchlaufs der Umkehrpunkte (JP 61-797141 C21 D1/09),
- Verwendung zusätzlicher Chopperspiegel (JP 61-79715; C21 D1/09).

Im ersten Fall ist der Grad der Beeinflussung der relativen Spiegelgeschwindigkeit stark durch dessen Trägheitsmoment eingeschränkt, so daß sich in Abhängigkeit von der konkreten Schwingungsform nur bedingt isotherme oder anderweitig gewünschte Temperaturfelder an der Oberfläche erzielen lassen. Die an 2. Stelle genannte Vorrichtung gestattet zwar eine verzögerungsfreiere Anpassung ist aber ebenso an eine konkrete Schwingungsform des Oszillationssystems und ebene Werkstückoberflächen gebunden. Gleichermaßen stellt die 3. Vorrichtung nur eine bedingt flexible Lösung dar, indem der überhöhte Energieeintrag in den Umkehrpunkten durch einen mit dem Schwingungsspiegel synchronisierten Chopper ausgeblendet wird. Dies führt u. a. auch zu einer Verringerung des energetischen Wirkungsgrades.

## Ziel der Erfindung

Als Ziel der Erfindung soll eine automatisierbare Lasermaterialbearbeitung mit einem geringem Aufwand an Strahlführungs- und -formungselementen erreicht werden.

## Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Einstellung definierter lateraler Temperaturfelder bei der Lasermaterialbearbeitung und -behandlung von Werkstücken zu schaffen, mit dem eine flexibel an unterschiedlichste Bearbeitungsaufgaben und Werkstückgeometrien anpaßbare Energiedichteverteilung des Laserstrahls gewährleistet wird. Erfindungsgemäß wird dies dadurch erreicht, daß ein vorzugsweise hochfrequent pulsbarer Laserstrahl mit einer Strahloszillationsoptik zumindest in einer Achse mit einer Frequenz  $> 100$  Hz periodisch ausgelenkt wird und, synchronisiert mit dieser Schwingungen, entlang eines vorzugsweise äquidistanten Punkt-, Linien- oder Flächenrasters Laserimpulse mit einer von Punkt zu Punkt einstellbaren Pulsenergie in das vom Oszillationssystem überstrichene Bestrahlungsfeld eingebracht werden. Dabei beträgt die Pulsfrequenz bei Nutzung einer Schwingachse zumindest das Fünffache der Schwingungsfrequenz bzw. bei mehreren Achsen das Dreißigfache der höchsten Einzelfrequenz.

Die Erfindung beruht auf der Erkenntnis, daß für Hochleistungslaser in naher Zukunft keine technischen Lösungen zur hochfrequenten Strahlablenkung (Frequenzen  $> 500$  Hz) analog dem Elektronenstrahl zur Verfügung stehen und alle Möglichkeiten zur Optimierung mechanisch-optischer Bauteile von Schwingoptiken nur graduelle Verbesserungen erlauben. Eine in weiten Grenzen frei wählbare laterale Temperaturverteilung innerhalb der durch eine konventionelle Schwingoptik vorgegebene Laserstrahlbearbeitungszone kann nur durch eine hochfrequente Beeinflussung des zeitlich-lokalen Energieeintrages erfolgen. Dafür bieten z. B. die hinsichtlich der Anregung hochfrequent pulsabaren  $\text{CO}_2$ -Laser günstige Voraussetzungen, wobei Pulsfrequenzen bis etwa  $100 \text{ kHz}$  möglich sind. In Abhängigkeit von der Frequenz der Oszillationsoptik und der Pulsanregung kann innerhalb der überstrichenen Amplitude mit wählbarem Punktabstand ein lokalisierter Energieeintrag erfolgen. Pro Puls muß eine veränderbare Pulsenergie (Pulsleistung und Pulsdauer) und von Puls zu Puls variierbare Totzeit ermöglicht werden. Damit sind folgende, bisher nicht oder nur bedingt zu erzielende Vorteile verbunden:

- frei, von Punkt zu Punkt wählbarer Energieeintrag,
- Unabhängigkeit des erzielbaren lateralen Temperaturfeldes von der konkreten Schwingungsform der Optik,
- weitgehende Unabhängigkeit von der Geometrie der zu bearbeitenden Werkstücke, d. h. ausschließliche softwaremäßige Anpassung an Querschnittsveränderungen, Neigungen, Ansätze, Kanten, Schneiden etc. möglich,
- Berücksichtigung lokal unterschiedlicher Absorptionsverhältnisse,
- Erzeugung von flächigen Behandlungszonen, insbesondere zur Laseroberflächenveredlung mit programmierbarer Energiedichteverteilung,
- Möglichkeit zur zeitgleichen Mehrstellenbearbeitung innerhalb des Ablenkfeldes,
- Kombination von verschiedenen lasertechnologischen Verfahren zeitgleich innerhalb des Ablenkfeldes, z. B. Laserhärten und Anlassen, Lasererwärmen und Schweißen, Laserhärten und Umschmelzen.

Je nach Punktrasterabstand und Strahldurchmesser sind damit sich überlappende, dicht zusammenhängende oder isolierte Bestrahlungszonen innerhalb des Ablenkfeldes erzielbar. Steht z. B. die Forderung nach einer zusammenhängenden Einwirkzone, so sind bei den üblicherweise erreichbaren Schwingungsfrequenzen und einigermaßen wählbarer lateraler Temperaturfeldverteilung zumindest etwa 5 Laserimpulse entlang einer Koordinate bei entsprechendem Fokusdurchmesser vorzusehen. Bei der Laseroberflächenveredlung ist insbesondere darauf zu achten, daß durch zu geringe Ablenkfrequenzen bzw. Überlappung benachbarter Laserimpulse oder unbestrahlte Behandlungszonen innerhalb des Ablenkfeldes keine zeitlichen bzw. lokalen Temperaturgradienten entstehen, die zur Unter- oder Überschreitung der gewünschten Temperaturen führen.

## Ausführungsbeispiel

Die Erfindung ist nachstehend anhand eines bevorzugten Ausführungsbeispiels näher erläutert. In den zugehörigen Zeichnungen zeigen

- Fig. 1: als Blockschema eine Anlagenkonfiguration zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens,  
 Fig. 2: die Energiedichteverteilung (zweidimensional) beim Festphasenumwandlungshärten,  
 Fig. 3: eine Schnittdarstellung zweier zu verschweißender Bleche mit der dazugehörigen Energiedichteverteilung (eindimensional) an der Schweißstelle.

Zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens kommt die in Fig. 1 dargestellte Anlagenkonfiguration zur Anwendung. Voraussetzung für einen solchen Anwendungsfall ist ein hochfrequent angeregter und pulsbarer  $\text{CO}_2$ -Hochleistungslaser sowie ein Strahloszillationssystem auf Basis eines nahezu sinusförmig, periodisch abgelenkten Schwingspiegels mit einer Frequenz von  $300 \text{ Hz}$ . Über eine Soll-Istwerterfassung der Spiegelposition ist die aktuelle Amplitudenauslenkung des defokussierten Laserstrahls und damit die Position innerhalb des Ablenkfeldes Grundlage für die davon abhängige Steuerung der Pulsleistung und des Pulsregimes. Die Programmierung bzw. Steuerung dieses Prozesses ist mittels eines Mikrorechners realisiert. Nachfolgend werden zwei Anwendungsfälle unter Verwendung der in Fig. 1 dargestellten Anlagenkonfiguration beschrieben. Beim Festphasenumwandlungshärten einer waagerechten Fläche an einem Werkstück aus C 45 ist dabei die in Fig. 2 dargestellte zweidimensionale Energiedichteverteilung 1 einstellbar. Die Energiedichteverteilung 1 wird in Vorschubrichtung 2 über das Werkstück (nicht dargestellt) bewegt, wobei die Verteilung im Ablenkfeld des Laserstrahls in Vorschubrichtung 2 pulsförmig und an beiden Seiten überhöht ist. Dies stellt eine wesentliche Voraussetzung für die Erzielung einer isothermen Oberflächentemperaturverteilung im Ablenkfeld sowie für die Ausbildung einer nahezu rechteckförmigen Härtezone dar.

Ein weiterer Anwendungsfall ist aus Fig. 3 die eindimensionale Energiedichteverteilung 1 für das Verschweißen (I-Stoß) unterschiedlich dicker Eisenbleche 3, 4 ersichtlich. Diese Verteilung garantiert eine gleichmäßige Ausbildung der Temperaturverteilung an den Stoßstellen der beiden zu verschweißenden Teile und verhindert z. B. das Abschmelzen des dünneren Bleches, was u. U. bei einer gaußförmigen Energiedichteverteilung eintritt.

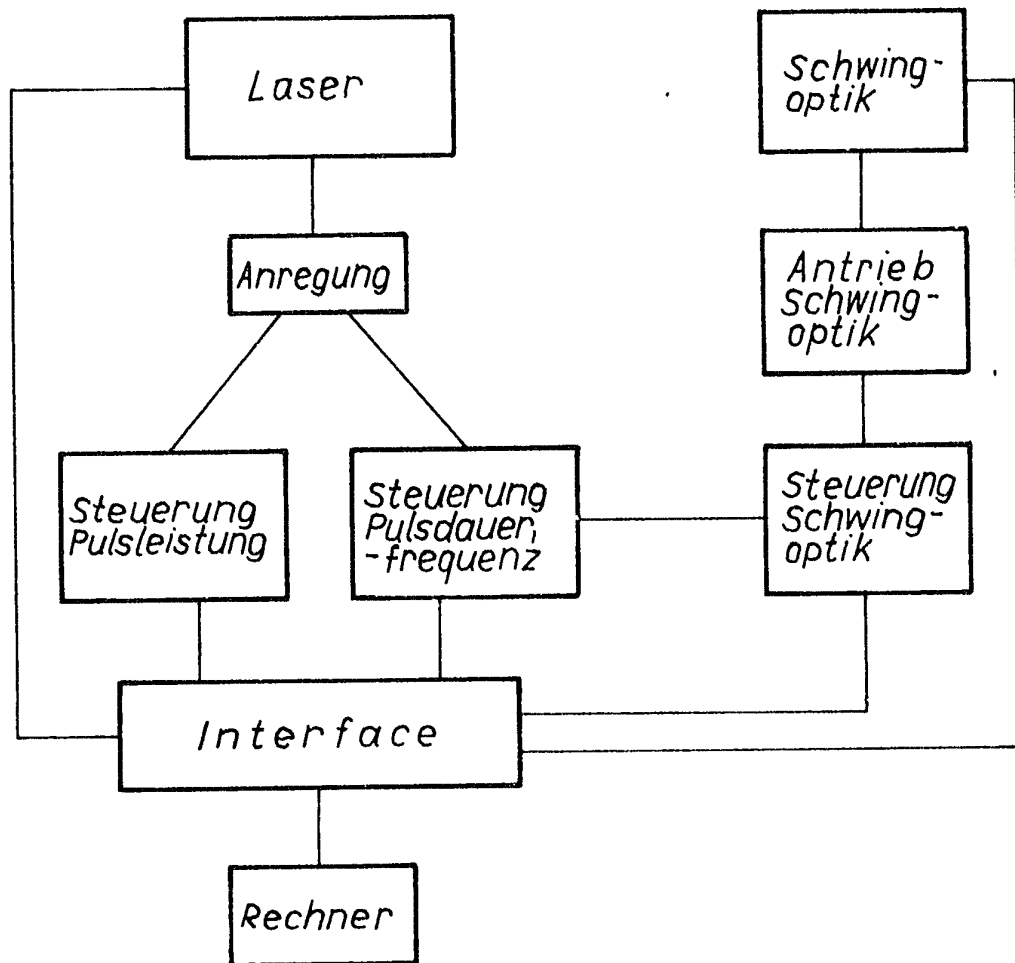


Fig. 1

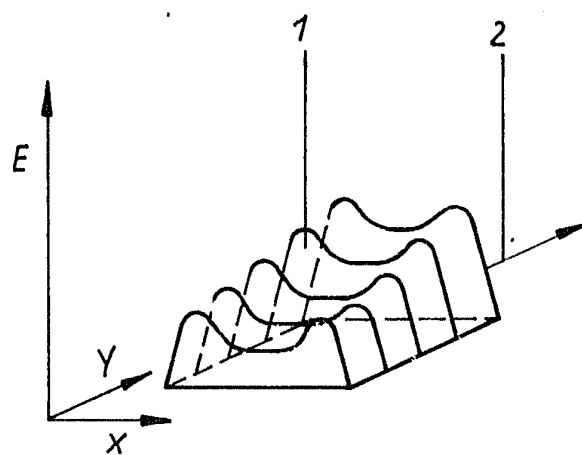


Fig. 2

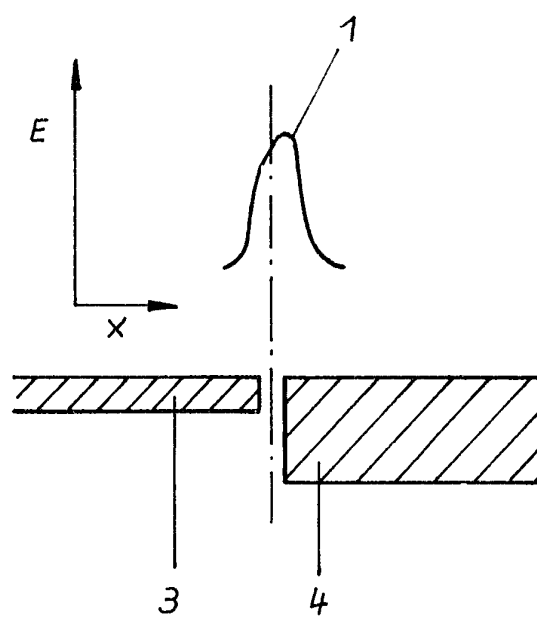


Fig. 3