

(19)



Europäisches Patentamt

European Patent Office

Office européen des brevets



(11)

EP 0 698 800 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
28.02.1996 Patentblatt 1996/09

(51) Int. Cl.⁶: **G02B 7/182**, B23K 26/08

(21) Anmeldenummer: 95111747.2

(22) Anmeldetag: 26.07.1995

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT CH DE FR GB IT LI

(30) Priorität: 25.08.1994 DE 4430220

(71) Anmelder: **FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR
FÖRDERUNG DER
ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V.**
D-80636 München (DE)

(72) Erfinder:

- Morgenthal, Lothar, Dr.
D-01187 Dresden (DE)
- Pollack, Dieter, Dr.
D-01277 Dresden (DE)
- Mertz, Andreas
D-01219 Dresden (DE)

(54) Verfahren zur Steuerung der Laserstrahlintensitätsverteilung für die Bearbeitung von Bauteiloberflächen

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung der Laserstrahlintensitätsverteilung für die Bearbeitung von Bauteiloberflächen mittels Laserstrahlung, bei dem herkömmliche Spiegel und Spiegelsysteme zur Laserstrahlformung eingesetzt werden und bei dem die Laserstrahlformung auf der Basis der sinusförmigen, harmonischen Strahloszillation als Ansteuerfunktion für den Spiegel bzw. das Spiegelsystem mittels mindestens einem Galvanoscanner erfolgt. Erfindungsgemäß wird bei diesem Verfahren die bei der Laserstrahlformung auf der Basis der sinusförmigen Strahloszillation auf einer Bauteiloberfläche erzeugte Intensitätsverteilung unabhängig von der gewählten Form und Größe des abgescannten Oberflächenbereiches eingestellt, ohne daß auf den verwendeten Laser eingewirkt werden muß.

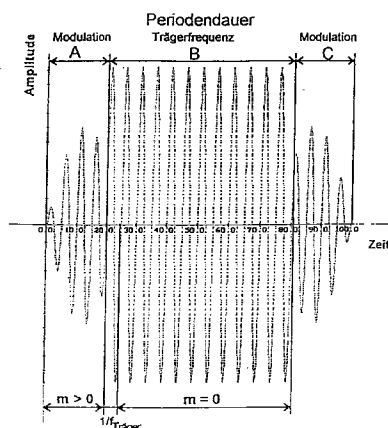


Fig. 1 Zusammengesetzte Scanner-Ansteuerfunktion

EP 0 698 800 A1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung der Laserstrahlintensitätsverteilung für die Bearbeitung von Bauteiloberflächen. Sie findet bei der Laserbearbeitung von Oberflächen, wie z.B. Umwandlungshärten, Umschmelzen, Legieren, Beschichten usw., von Oberflächen im festen und/oder flüssigen Zustand Anwendung. Ein Anwendungsgebiet, bei dem die Erfindung besonders vorteilhaft einsetzbar ist, ist die Laserstrahl-oberflächenhärtung von Bauteilen aus metallischen Werkstoffen.

Es ist bekannt, daß insbesondere für die Oberflächenveredlung mit leistungsstarken Lasern eine anwendungsspezifische, dem jeweiligen Bearbeitungsfall angepaßte Strahlformung in der Regel aus technischen, technologischen und wirtschaftlichen Erwägungen erforderlich ist (Herziger/Loosen, Werkstoffbearbeitung mit Laserstrahlung: Grundlagen, München; Wien; Hanser, 1993). Ein wesentlicher Vorteil der Randschichtbehandlung mit Laserstrahlung gegenüber konventionellen Verfahren ist die lokale Bearbeitung an komplexen Bauteilgeometrien. Um diesen Vorteil zu realisieren, muß die Geometrie und die Intensitätsverteilung der Laserstrahlung an die jeweilige Aufgabenstellung angepaßt werden. Außerdem muß, die werkstoffphysikalischen Gegebenheiten berücksichtigend, in der Regel eine definierte, vielfach homogene Temperaturverteilung im Werkstück garantiert werden. Erfüllt werden diese Anforderungen, wenn

- die Strahlgeometrie variabel einstellbar ist,
- die Intensitätsverteilung an die Bearbeitungsgeometrie und die gewünschte Temperaturverteilung anpaßbar ist und
- die Prozeßintensität (mittlere Leistung/Flächeneinheit) ausreichend veränderbar ist.

Es ist bekannt, zur Erfüllung der o.g. Forderungen den üblicherweise kreisrunden Laserstrahl durch einen oder zwei orthogonal zueinander stehende, um eine Achse bewegliche Spiegel (Scannerspiegel) zu einem Strich oder Rechteck auf der zu bearbeitenden Werkstückoberfläche abzubilden (US-P 3,848,104; US-P 3,952,180; CH-P 616,357; EP-0,445,699). Weiter wird beschrieben, daß die Größe und die Form des auf der Werkstückoberfläche durch den Laserstrahl beleuchteten Gebietes durch die Ansteuerung der Scannerspiegel beeinflusst werden kann (DD 227 904 A1).

Bei konstanter Laserleistung (cw-Laser) wird die sich einstellende Intensitätsverteilung in diesem Gebiet durch die vorgegebene Größe und Form und vor allem durch die realisierte Schwingungsform der Spiegelbewegung, d.h. durch die Momentangeschwindigkeit des Laserspots in jedem Punkt des abgescannten Oberflächenfeldes, bestimmt. Wie der Fachwelt bekannt, ist "cw" eine Angabe zur Betriebsart von Lasern. CW bedeutet Dauerstrichbetrieb (cw = "continuous wave")

bzw. auch kontinuierliche Betriebsart genannt. Im Gegensatz dazu gibt es den Pulsbetrieb (P). Die Betriebsart liefert im Fall der Dauerstrichlaser einen kontinuierlichen Laserstrahl bis max. zur Nennausgangsleistung des Gerätes. Die Ausgangsleistung läßt sich in Grenzen durch Änderung der Anregungsleistung regeln.

Typisch ist, daß im o.g. Anwendungsgebiet der Erfindung die hohe Wärmeleitfähigkeit der Metalle in der Regel Schwingfrequenzen von größer 100 Hz erfordert, damit die frequenzabhängigen Temperaturschwankungen an der Oberfläche ins Werkstückinnere hinein schnell abklingen. Bekannt ist ferner, daß die für steuerbare Schwingspiegelsysteme eingesetzten Galvanoscanner in diesem Frequenzbereich in der Regel nur noch harmonische Schwingungen ausführen können. Ursache dafür ist das Masseträgheitsmoment der bewegten Schwingsystemkomponenten (Rotor des Schwingmotors und Laserspiegels), wobei insbesondere die im Laserleistungsbereich ab 1 kW erforderlichen Kupferspiegel mit einem für die Strahlübertragung notwendigen Durchmesser den Hauptanteil des Trägheitsmomentes ausmachen. Das hat nachteilig zur Folge, daß beispielsweise bei einer eindimensionalen Strahloszillation im Bereich der Schwingungsumkehrpunkte am Spurrand eine Intensitätsüberhöhung auftritt, die im Vergleich zur Spurmitte umso größer wird, je mehr die Schwingamplitude bei konstantem Spotdurchmesser gesteigert wird.

Für das Randschichthärten kann dieser Effekt in einigen Fällen genutzt werden, um durch Kompensieren der höheren Wärmeleitungsverluste an den Spurrändern eine homogene Bearbeitungsgeometrie zu erzielen (DD 242 358 und "Homogene Laserstrahlhärtung mittels hochfrequenter Strahloszillation", S. Völlmar; W. Pompe; H. Junge in Neue Hütte, 31. Jg., Heft 11, Nov. 86, Seiten 414 - 418). Nachteilig ist jedoch, daß dabei in Abhängigkeit vom eingesetzten Werkstoff und der Laserleistung ein optimales Verhältnis Schwingamplitude A / Spotradius R (in der Regel $A/R = 1,5...2,5$) in engen Grenzen eingehalten werden muß, weil nur dann die Intensitätsdifferenz zwischen Spurmitte (schnelle Spotbewegung) und Spurrändern (langsame Spotbewegung) zu einem ausgeglichenen Temperaturfeld als Voraussetzung für eine homogene Bearbeitungsgeometrie führt. Das verhindert beispielsweise die wünschenswerte Erzeugung breiterer Härtespuren durch einfaches Vergrößern der Schwingbreite bei sonst gleicher Versuchsführung.

Neuere Entwicklungen versuchen, diesen Nachteil durch eine Kombination der Strahloszillationssysteme mit einer schnellen Leistungssteuerung bei hochfrequenzangeregten CO₂-Lasern zu vermeiden (Rudlaff, Th; Dausinger, F.: Hardening with variable intensity distribution Proceedings, "ECLAT 90", Sprechsaal Publishing 1990).

Damit gelingt es zwar, die Intensitätsverteilung im abgescannten Bereich weitgehend unabhängig von der verwendeten Schwingamplitude, -frequenz und Schwingungsform zu gestalten, allerdings ist dieses Verfahren auf schnell steuerbare, d.h. hochfrequenzangeregte

Laser beschränkt. Außerdem ist nachteilig, daß aufgrund der Leistungssteuerung und der erforderlichen Steuerreserven für die Bearbeitung nur eine deutlich unter der Nennleistung des Lasers liegende mittlere Leistung wirksam wird. Eine weitere neue Entwicklung zur Beeinflussung der Intensitätsverteilung bei sinusförmiger Strahloszillation beruht auf der Überlagerung der Strahloszillation mit impulsförmiger Laserstrahlung (Lepski, D.; Morgenthal, L.; Völlmar, S.: Optimierung der Oberflächenbehandlung bei Einwirkung pulsierender oszillierender Laserstrahlung, LASER 93, München 1993). Auch hiermit gelingt eine Formung der Intensitätsverteilung. Die Methode ist jedoch auf gepulst arbeitende (z.B. Nd-YAG-Laser) oder hinreichend schnell pulsable Laser (z.B. hochfrequenzangeregte (CO₂-Laser) beschränkt.

Es ist nunmehr Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zur Steuerung der Laserintensitätsverteilung für die Bearbeitung von Bauteiloberflächen mit Laserstrahlung vorzuschlagen, das sämtliche Nachteile des Standes der Technik nicht aufweist.

Es ist somit Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren der genannten Art anzugeben, bei dem

- die Strahlgeometrie variabel einstellbar ist,
- die Laserstrahlintensitätsverteilung an die Bearbeitungsgeometrie und an die gewünschte Temperaturverteilung anpaßbar ist und
- die Prozeßintensität (mittlere Leistung/Flächeneinheit) ausreichend veränderbar ist.

Es ist weiterhin Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren der genannten Art vorzuschlagen, bei dem im Falle der eindimensionalen Strahloszillation und bei konstantem Spotdurchmesser im Bereich der Schwingungsumkehrpunkte am Spurrand auch bei Steigerung der Schwingungsamplitude keine Intensitätsüberhöhung auftritt, wenn diese nicht gewünscht ist.

Darüber hinaus ist es Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren der genannten Art aufzuzeigen, bei dem das in Abhängigkeit vom eingesetzten Werkstoff und der Laserleistung optimale Verhältnis Schwingamplitude/Spotradius nicht in engen Grenzen eingehalten werden muß.

Es ist somit Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren der genannten Art anzugeben, bei dem die Erzeugung breiterer Härtungsspuren auch durch einfaches Vergrößern der Schwingbreite bei sonst gleicher Versuchsdurchführung möglich ist.

Zusätzlich ist es noch Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren der genannten Art vorzuschlagen, das nicht auf bestimmte Laser (z.B. auf hochfrequenzangeregte Laser) oder bestimmte Lasertypen (z.B. Nd-YAG-Laser) beschränkt ist.

Es ist außerdem Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren der genannten Art anzugeben, bei dem die wirksam werdende mittlere Leistung nicht bzw. nur unwesentlich unter der Nennleistung des Lasers liegt.

Erfindungsgemäß werden diese Aufgaben mit dem in Anspruch 1 vorgeschlagenen Verfahren gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Ansprüchen 2 bis 8 dargelegt.

Dabei wird ein Verfahren zur Steuerung der Laserstrahlintensitätsverteilung für die Bearbeitung von Bauteilen mittels Laserstrahlung, bei dem herkömmliche Spiegel bzw. Spiegelsysteme (bei Laserleistungen ab 1 kW vorzugsweise Kupferspiegel) zur Laserstrahlformung eingesetzt werden und bei dem die Laserstrahlformung auf der Basis der sinusförmigen, harmonischen Strahloszillation als Ansteuerfunktion für den Spiegel bzw. das Spiegelsystem mittels mindestens einem Galvanoscanner erfolgt.

Erfindungsgemäß wird die bei der Laserstrahlformung auf der Basis der sinusförmigen Strahloszillation auf einer Bauteiloberfläche erzeugte Intensitätsverteilung unabhängig von der gewählten Form und Größe des abgescannten Oberflächenbereiches eingestellt, ohne daß auf den verwendeten Laser eingewirkt werden muß. Das wird erreicht durch eine vorgebbare Überlagerung sinusförmiger Oszillationen als Ansteuerfunktion für das Schwingspiegelsystem (Scannersystem). Diese Einstellung der Intensitätsverteilung erfolgt derart, daß mehrere, harmonische Ansteuerfunktionen durch Überlagerung so moduliert werden, daß die Momentangeschwindigkeit des bewegten Laserspots in gewünschtem Sinne beeinflußt wird. Das bedeutet, daß im Bereich der Spurränder in der Regel wegen Intensitätsüberhöhungen eine Amplitudenmodulation mit hohem Modulationsgrad (Nahe 1) verwendet werden muß.

Dabei liefert, und es ist somit von Vorteil so zu verfahren, von allen bekannten Modulationsverfahren nur die Modulation der Amplitude harmonischer Schwingungen in Bezug auf die eingesetzten Galvanoscanner praktisch anwendbare Ergebnisse.

Für die Erfindung ist von Bedeutung, daß Galvanoscanner mit den üblicherweise für die Lasermaterialbearbeitung eingesetzten Spiegeln bei den geforderten hohen Frequenzen keine anderen als harmonische Schwingungen ausführen, die, wie bereits dargestellt, erfindungsgemäß durch Überlagerung mehrerer harmonischer Ansteuerfunktionen so moduliert werden können, daß die Momentangeschwindigkeit des bewegten Laserspots in gewünschtem Sinne beeinflußt wird. Für die Werkstückbearbeitung wird in erster Linie die über viele Modulationsperioden integrierte Intensitätsverteilung wirksam. Deren Form kann nun durch die Modulation der Trägerschwingung variiert werden, ohne daß sich die wirksame Größe und Form des auf der Werkstückoberfläche abgebildeten gescannten Bereiches ändert.

Das Masseträgheitsmoment der in der Materialbearbeitung üblicherweise eingesetzten Metallspiegel hat zur Folge, daß der den Laserstrahl ablenkende Scanner-
spiegel bei höherfrequenter Anregung ($\geq 100\text{Hz}$) der eingesetzten Galvanoscanner unabhängig von der Form (Zeitverlauf) der periodischen Anregungsfunktion (Drei-

eck-, Rechteckfunktionen) diese zu sinusförmigen Schwingungen verschleift.

Erfindungsgemäß wird dagegen der Galvanoscanner mit solchen harmonischen Schwingungsverläufen (Sinus oder Kosinus) angeregt, die bezüglich Frequenz und Amplitude praktisch realisiert werden können. Dabei wird, aus einer Trägerschwingung B und mindestens einem weiteren, modulierten Schwingungsanteil A und/oder C, eine harmonische Gesamtschwingung zusammengesetzt. Dabei kann durch die Amplitude der Trägerschwingung (unter Berücksichtigung des Spotdurchmessers) die Spurbreite eingestellt werden, während die überlagerten modulierten Anteile (A und/oder C) die angestrebte integrale Intensitätsverteilung in der Periodendauer formen.

Durch die Variation einer Reihe weiterer, die Modulation beschreibender Parameter

- Trägerfrequenz (f_T),
- Frequenz der modulierten Schwingung (f_O),
- Zyklusdauer der modulierten Anteile (A und/oder B),
- Amplitudenverlauf des modulierten Anteils (A u./o. C) mit seinem Modulationsgrad (m),
- Verhältnis von moduliertem und unmoduliertem Anteil in der Gesamtschwingung,
- Amplitudenversatz für die verschiedenen Schwingungsanteile (Offset), siehe Fig. 2,

kann die integrale Intensitätsverteilung im abgescannten Oberflächenfeld in weiten Grenzen variiert werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren ist in nachfolgenden Ausführungsbeispielen näher erläutert. Zum besseren Verständnis dienen die Figuren 1 bis 6, in denen die erfindungsgemäße Modulation der Ansteuerfunktionen durch Überlagerung dargestellt ist.

Im einzelnen stellen

- | | |
|----------------|---|
| Figur 1 | Zusammengesetzte Scanner-Ansteuerfunktion |
| Figur 2 | Zusammengesetzte Scanner-Ansteuerfunktion mit Amplitudenversatz |
| Figur 3 | Blockschaltbild und Beispiele zum Strahlformungssystem |
| Figur 4 | Ansteuerparameter des Intensitätsprofils vom Typ a) |
| Figur 5 | Ansteuerparameter des Intensitätsprofils vom Typ b) |
| Figur 6 | Ansteuerparameter des Intensitätsprofils vom Typ c) |

dar, wobei jeweils skizzenhaft zur Modulation auch die jeweilige Laserstrahlintensitätsverteilung auf der Bauteiloberfläche dargestellt ist.

Ausführungsbeispiel

Im nachfolgenden wird an Hand der Zeichnungen das erfinderische Verfahren näher erläutert.

In Figur 1 und 2 sind, beispielsweise, zusammengesetzte Scanner-Ansteuerfunktionen, dargestellt. Die Amplituden-Zeit-Funktionen demonstrieren die ausschließlich sinus- oder kosinusförmigen Scanner-Ansteuerfunktionen. Zusätzlich werden in Figur 1 Anteile der Trägerschwingung B mit weiteren modulierten Schwingungsanteilen A und C dargestellt, die sich als harmonische Gesamtschwingung zusammensetzen. Der Modulationsgrad m , im Wertebereich Null bis Eins, ist ein Maß für den modulierten Zyklus.

In Figur 3 ist das Rohstrahlprofil eines CO₂-Lasers mit der Modstruktur TEM₂₀ dargestellt. Der Laserrohstrahl 1, mit einem Durchmesser von 32mm, wird durch einen Fokussierspiegel 2 mit einer Brennweite von 400mm fokussiert und über einen Planspiegel 3, der an einem Galvanoscanner 4 befestigt ist auf die Probe 5 gelenkt. Fokussierspiegel 2, Planspiegel 3 und Galvanoscanner 4 sind in einem Schwingungsspiegelbearbeitungskopf integriert.

Die digitale Ansteuerung des Galvanoscanners wird durch einen Hostrechner 6 realisiert, sein Ausgangssignal am Datenbus wird einer Digital-/Analogwandlung 7 und anschließend einer Verstärkung 8 (Ausgangsverstärker) unterzogen. Die gewünschten Ansteuerfunktionen, die die angestrebten Intensitätsprofile 9, hier beispielhaft als Intensitätsprofil 9 a), b) und c) dargestellt, werden softwaremäßig mit den obengenannten Parametern entsprechend des gesuchten Intensitätsprofils generiert. Die Auslenkung des Planspiegels 3 im Schwingungsspiegelkopf basiert auf der Ausgabe des jeweils aktuellen Amplitudenwertes. Dieses Werte werden entweder, ausgehend von der mathematischen Modellierung der Modulation berechnet, wobei, wie beschrieben, die Einführung zusätzlicher Parameter (Zyklusdauer der modulierten Anteile, Verhältnis der modulierten und nichtmodulierten Schwingungsanteile, Amplitudenversatz) erforderlich ist. Alternativ dazu kann die Ansteuerfunktion graphisch, ähnlich wie in einem Zeichenprogramm kreiert werden. Bei beiden Methoden werden die Amplitudenwerte in einem Datenarray zusammengefaßt, das für die Dauer der Bearbeitung zyklisch an den Scannerkopf ausgegeben wird und somit eine sinusförmige Strahloszillation, in der Spur 10, bewirkt. In Figur 4, 5 und 6 sind von den Intensitätsprofilen a), b) und c) die Ansteuerparameter, die jeweilige Ansteuerfunktion und die zugehörigen Intensitätsprofile der Typen a), b) und c) in Plexiglas eingebrannt, dargestellt. Weitere vielfältigste Intensitätsprofile sind darstellbar, die entweder experimentell oder durch Computersimulation optimiert werden können. Eine derartige Vielfalt von einstellbaren Intensitätsprofilen ist mit den nach dem Stand der Technik bekannten Verfahren nicht erreichbar.

Aufstellung der verwendeten Bezugszeichen und Begriffe

1	Laserrohstrahl
2	Fokussierspiegel
3	Planspiegel
4	Galvanoscanner
5	Probe
6	Hostrechner
7	Digital-/Analogwandler
8	Ausgangsverstärker
9	Intensitätsprofile
10	Bearbeitungsspur

Patentansprüche

1. Verfahren zur Steuerung der Laserstrahlintensitätsverteilung für die Bearbeitung von Bauteiloberflächen mittels Laserstrahlung, bei dem herkömmliche Spiegel und Spiegelsysteme zur Laserstrahlformung eingesetzt werden und bei dem die Laserstrahlformung auf der Basis der sinusförmigen, harmonischen Strahloszillation als Ansteuerfunktion für den Spiegel bzw. das Spiegelsystem mittels mindestens einem Galvanoscanner erfolgt, **dadurch gekennzeichnet**, daß die bei der Laserstrahlformung auf der Basis der sinusförmigen Strahloszillation auf einer Bauteiloberfläche erzeugte Intensitätsverteilung unabhängig von der gewählten Form und Größe des abgescannten Oberflächenbereiches eingestellt wird, ohne daß auf den verwendeten Laser eingewirkt werden muß.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Einstellung der Intensitätsverteilung derart erfolgt, daß mehrere, harmonische Ansteuerfunktionen durch Überlagerung so moduliert werden, daß die Momentangeschwindigkeit des bewegten Laserspots im gewünschten Sinne beeinflußt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß nur die Amplitude der Ansteuerfunktion moduliert wird.
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß für die Bauteiloberflächenbearbeitung über viele Modulationsperioden eine integrierte Intensitätsverteilung erreicht wird.
5. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß aus einer Trägerschwingung (B) und mindestens einem weiteren modulierten Schwingungsanteil (A und/oder C) eine harmonische Gesamtschwingung zusammengesetzt wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß durch die Amplitude der Träger-

schwingung (B) unter Berücksichtigung des Spotdurchmessers die Spurbreite eingestellt wird, während die überlagerten modulierten Anteile (A und/oder C) die angestrebte integrale Intensitätsverteilung in der Periodendauer formen.

7. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 2 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, daß die integrale Intensitätsverteilung im abgescannten Oberflächenfeld durch Variation einer Reihe weiterer, die Modulation beschreibender Parameter, zusätzlich in weiten Grenzen variiert wird.
8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß diese weiteren die Modulation beschreibenden Parameter
 - die Trägerfrequenz (f_T),
 - die Frequenz der modulierten Schwingung (f_O),
 - die Zyklusdauer der modulierten Anteile (A und/oder B),
 - der Amplitudenverlauf des modulierten Anteils (A und/oder C) mit seinem Modulationsgrad (m),
 - das Verhältnis von moduliertem und unmoduliertem Anteil in der Gesamtschwingung, und
 - der Amplitudenversatz für die verschiedenen Schwingungsanteile (Offset) sind.

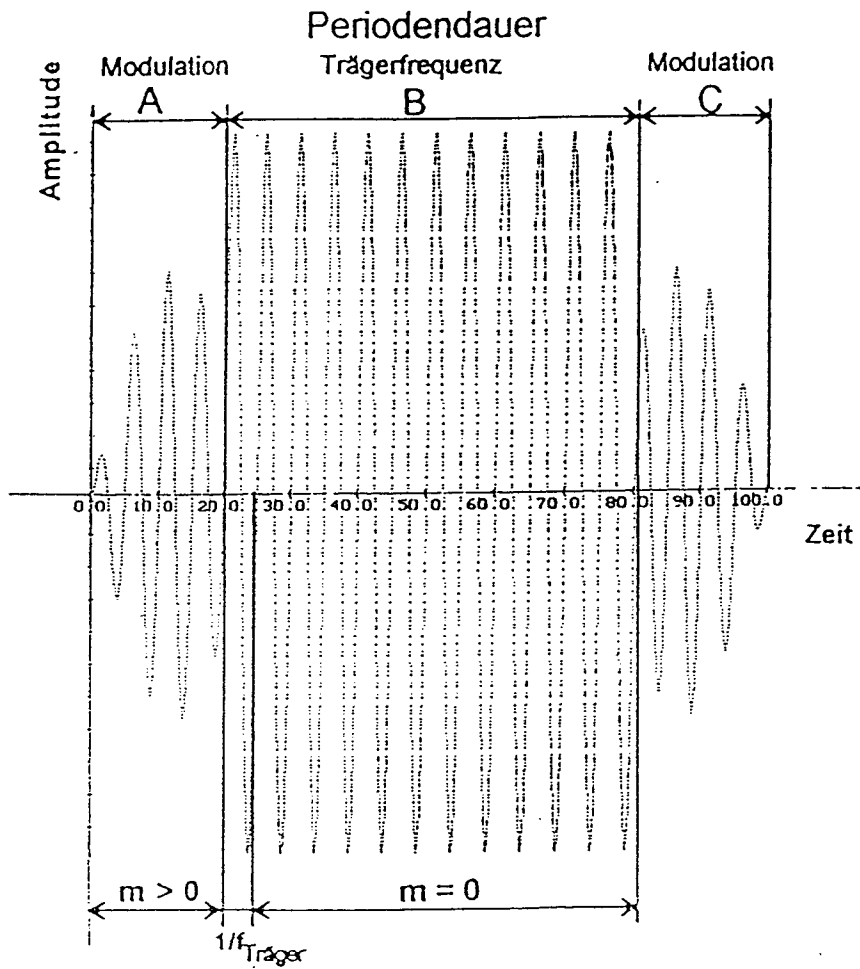


Fig. 1 Zusammengesetzte Scanner-Ansteuerfunktion

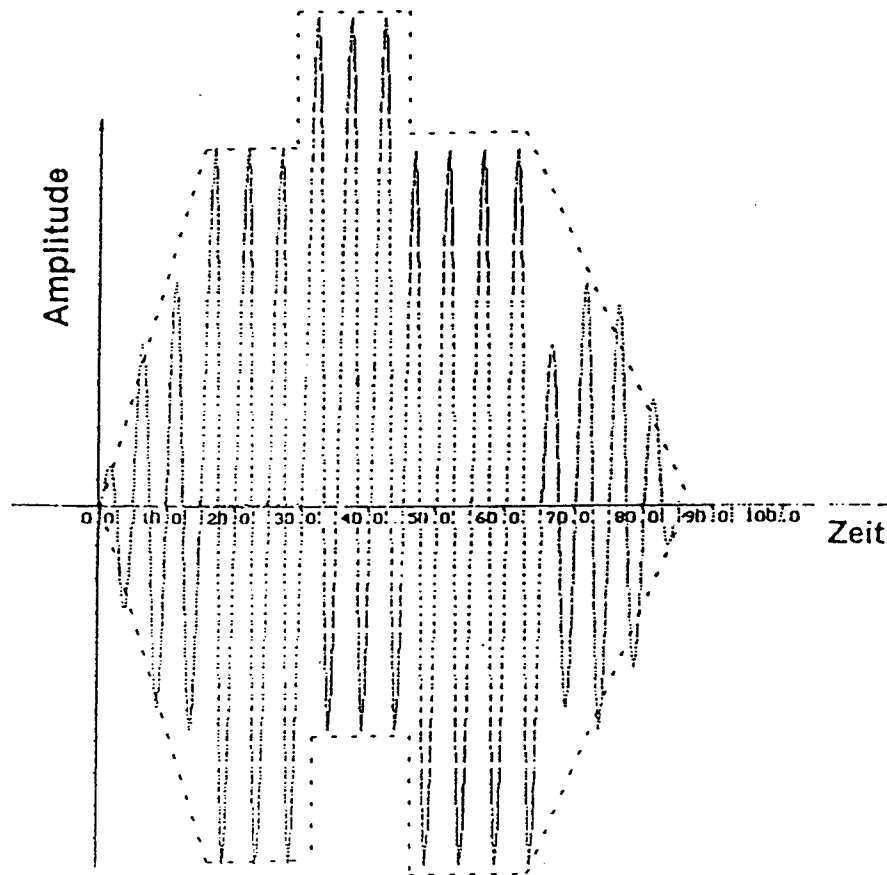


Fig. 2 Scanner-Ansteuerfunktion
mit Amplitudenversatz

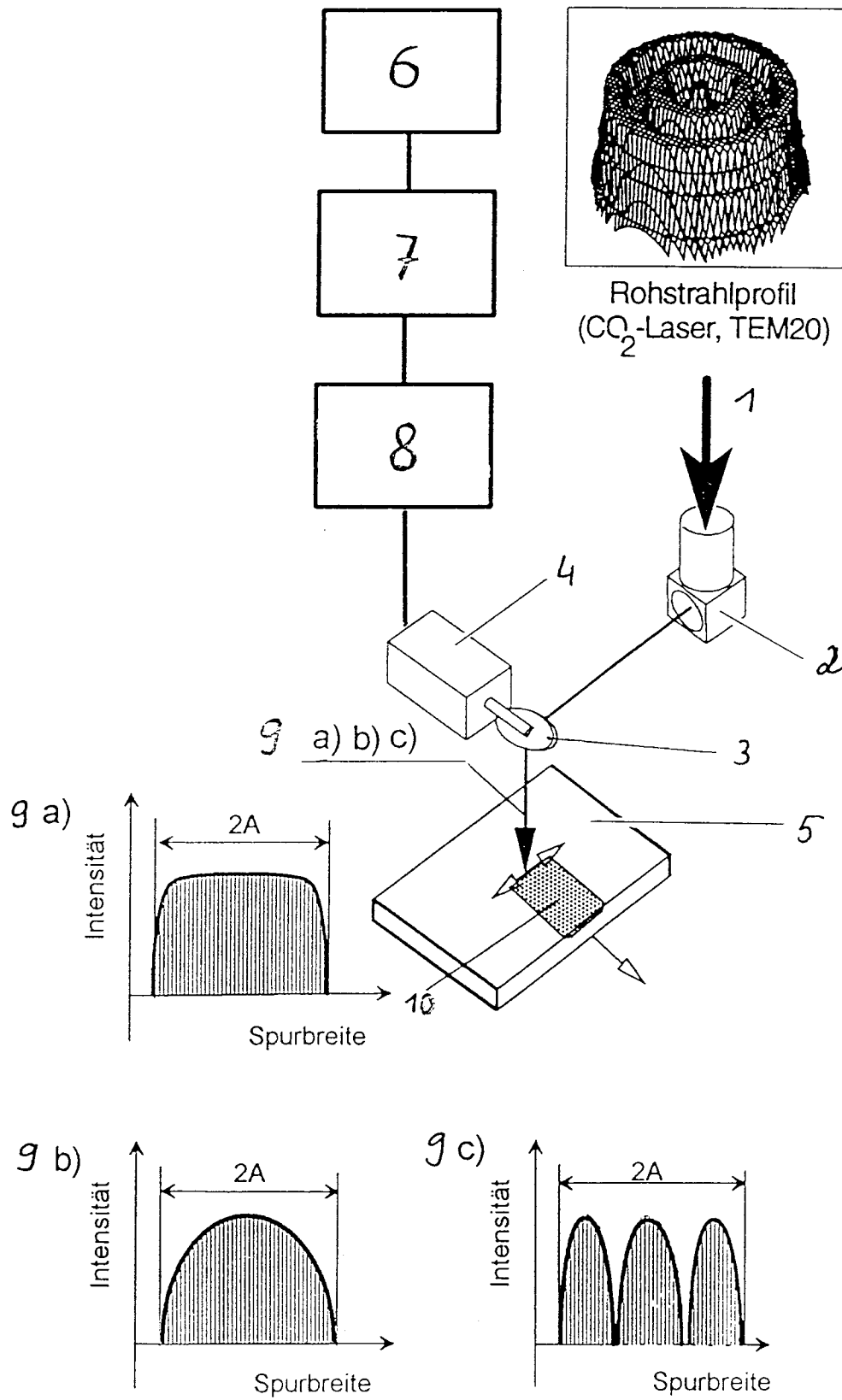
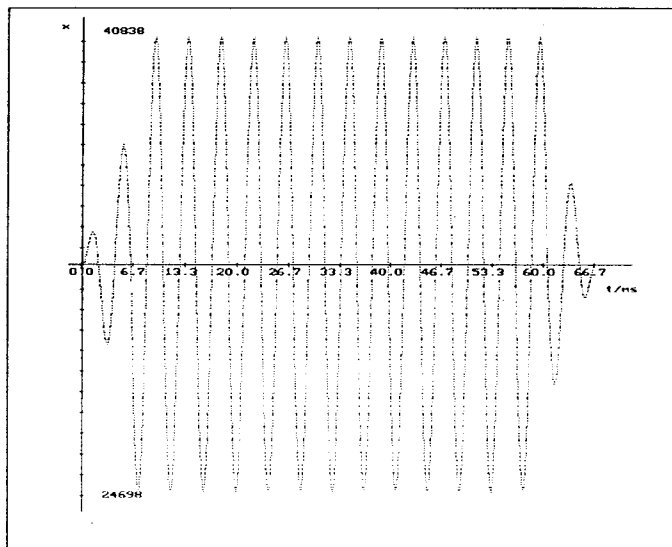


Fig. 3

Ansteuerparameter des Intensitätsprofils vom Typ a) zum Betreiben des Schwingspiegelsbearbeitungskopfes:

Frequenz der Trägerfunktion: 240Hz
 Hüllfrequenz der Korrekturfkt.: 15Hz
 Modulat.-grad d. Korrekturfkt.: 1
 Spurbreite: 16mm
 Vorschubgeschw. [mm/min]: 75
 Laserstrahlleistung: 4300W
 Schwingspiegelsbearbeitungskopf mit
 Fokussierspiegel; Brennweite: 400mm

Diagramm der Ansteuerfunktion für den Typ a):



Intensitätsprofil a) in Plexiglas eingebrannt:

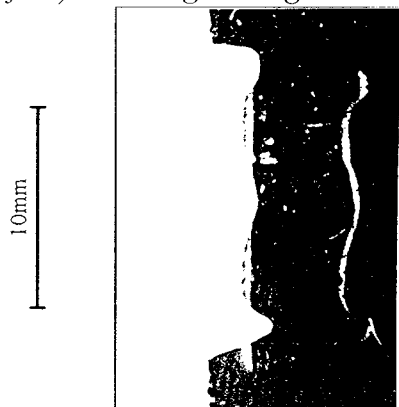


Fig. 4

Ansteuerparameter des Intensitätsprofils vom Typ b) zum Betreiben des Schwingspiegelbearbeitungskopfes:

Frequenz der Trägerfunktion: 143Hz

Hüllfrequenz der Korrekturfkt.: 8Hz

Modulat.-grad d. Korrekturfkt.: 1

Spurbreite: 16mm

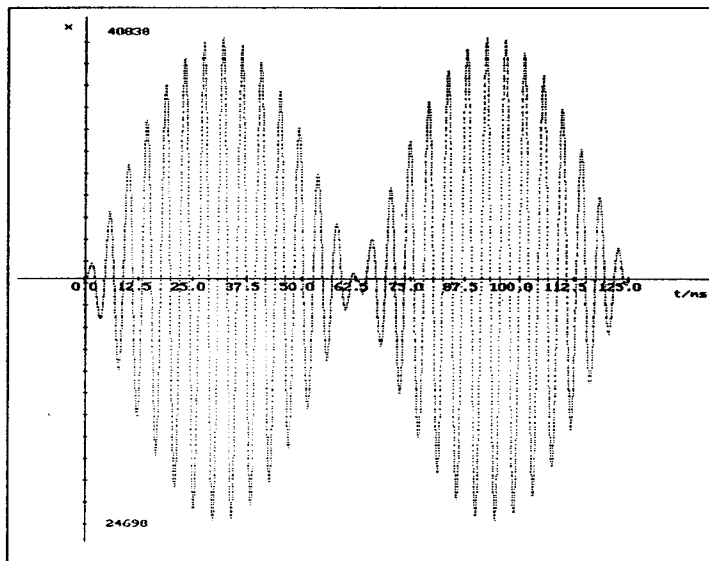
Vorschubgeschw. [mm/min]: 75

Laserstrahlleistung: 4300W

Schwingspiegelbearbeitungskopf mit

Fokussierspiegel; Brennweite: 400mm

Diagramm der Ansteuerfunktion für den Typ b):



Intensitätsprofil b) in Plexiglas eingebrannt:

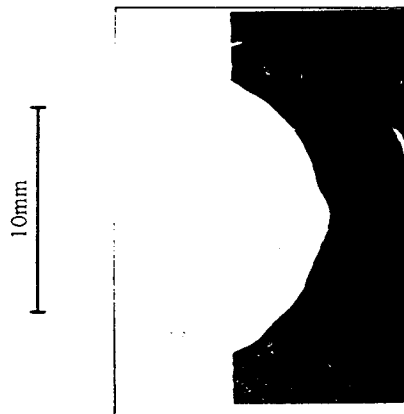
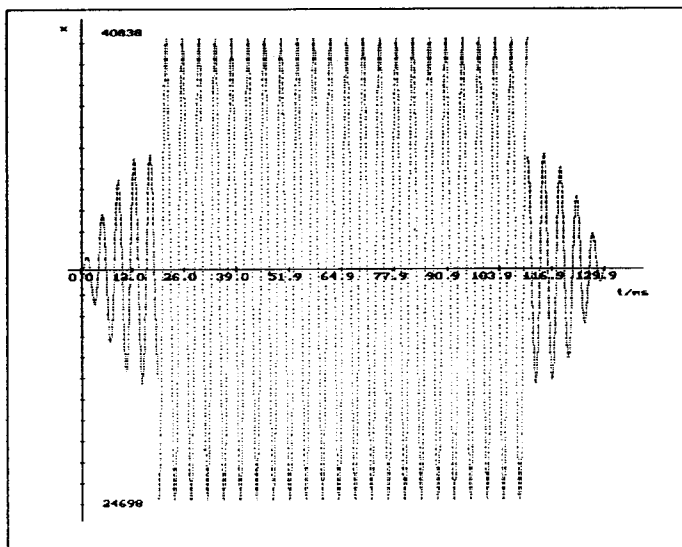


Fig. 5

Ansteuerparameter des Intensitätsprofils vom Typ c) zum Betreiben des Schwingspiegelbearbeitungskopfes:

Frequenz der Trägerfunktion: 240Hz
 Hüllfrequenz der Korrekturfkt.: 7,7Hz
 Modulat.-grad d. Korrekturfkt.: 1
 Spurbreite: 16mm
 Vorschubgeschw. [mm/min]: 75
 Laserstrahlleistung: 4300W
 Schwingspiegelbearbeitungskopf mit
 Fokussierspiegel; Brennweite: 400mm

Diagramm der Ansteuerfunktion für den Typ c):



Intensitätsprofil c) in Plexiglas eingebrannt:

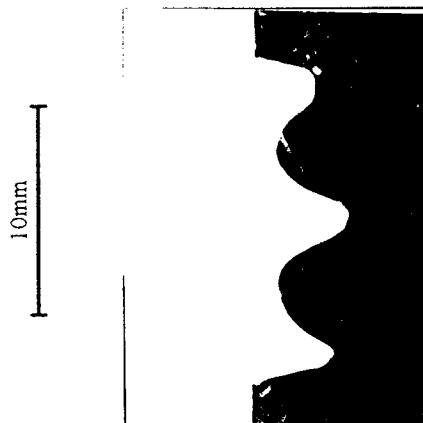


Fig. 6



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 95 11 1747

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.6)
X	EP-A-0 055 463 (TOKYO SHIBAURA DENKI KABUSHIKI KAISHA) * Seite 2, Zeile 2 - Zeile 29 * * Seite 7, Zeile 12 - Seite 8, Zeile 33; Abbildungen 1-4 * ---	1	G02B7/182 B23K26/08
X	DE-A-40 17 734 (VEB KOMBINAT FORTSCHRITT LANDMASCHINEN NEUSTADT IN SACHSEN) * das ganze Dokument * -----	1,5	
A		2,3,8	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.6)
			G02B B23K
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 29. November 1995	
		Prüfer Aran, D	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE			
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus andern Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)