

(51) Internationale Patentklassifikation 5 :  B23K 26/00	A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 94/06596  (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 31. März 1994 (31.03.94)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE93/00896		(81) Bestimmungsstaaten: JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).
(22) Internationales Anmeldedatum:  18. September 1993 (18.09.93)		
(30) Prioritätsdaten:  P 42 31 956.0 24. September 1992 (24.09.92) DE		Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i>
(71) Anmelder ( <i>für alle Bestimmungsstaaten ausser US</i> ):  FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V. [DE/DE]; Leonrodstraße 54, D-80636 München (DE).		
(72) Erfinder; und		
(75) Erfinder/Anmelder ( <i>nur für US</i> ): KÜPPER, Frank [DE/DE]; Malmedyerstraße 2, D-52066 Aachen (DE). WISSENBACH, Konrad [DE/DE]; Südstraße 14, D-52064 Aachen (DE).		
(54) Title: METHOD FOR MODIFYING THE LOCAL GRAIN STRUCTURE AT THE SURFACE OF A MATERIAL BY MEANS OF HIGH-ENERGY RADIATION		
(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR ÄNDERUNG DER LOKALEN GEFÜGESTRUKTUR AN DER OBERFLÄCHE EINES WERKSTOFFES MITTELS HOCHENERGIEBESTRAHLUNG		
(57) Abstract		
The invention concerns a method and device for modifying the local grain structure at the surface of a material in the solid or liquid phase. The surface in the zone being worked is heated to a given temperature by high-energy radiation. The temperature at this point is measured. The measured values thus obtained are modified to bring them closer to the required target values by using a control unit to modify the rate of emission of energy from the high-energy radiation source. Following the heating phase, the rate of cooling of the material is determined by measuring the temperature of the surface of the material, in the zone being worked, at at least two different points in time as the material cools. The temperature of the material is controlled as it cools further by irradiating it at least once more, in the zone being worked, in such a way that a previously specified rate of cooling of the material in the zone being worked results.		
(57) Zusammenfassung		
Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Änderung der lokalen Gefügestruktur an der Oberfläche eines Werkstoffes in der festen oder flüssigen Phase. Die Oberfläche des Bearbeitungsortes wird mit Hochenergiebestrahlung auf eine bestimmte Temperatur erwärmt. Die dort entstehende Temperatur wird gemessen. Die so gewonnenen Ist-Werte werden mittels einer Regeleinheit durch Änderung der Emission der Hochenergiebestrahlungsquelle in Richtung der gewünschten Soll-Werte verändert. Nach der Aufheizphase des Werkstoffs wird der Temperatur-Zeit-Verlauf beim Abkühlen ermittelt. Dazu werden zu mindestens zwei unterschiedlichen Zeitpunkten die Temperaturen an der Oberfläche des Werkstoffs am Bearbeitungsort gemessen. Die Regelung der Temperatur-Zeit-Kurve während des weiteren Abkühlvorganges erfolgt dadurch, daß mindestens eine weitere Hochenergiebestrahlung des Werkstoffs am Bearbeitungsort derart erfolgt, daß ein im voraus geforderter resultierender Temperatur-Zeit-Verlauf beim Abkühlen des Werkstoffs am Bearbeitungsort erzielt wird.		

***LEDIGLICH ZUR INFORMATION***

Code, die zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AT	Österreich	FI	Finnland	MR	Mauritanien
AU	Australien	FR	Frankreich	MW	Malawi
BB	Barbados	GA	Gabon	NE	Niger
BE	Belgien	GB	Vereinigtes Königreich	NL	Niederlande
BF	Burkina Faso	GN	Guinea	NO	Norwegen
BG	Bulgarien	GR	Griechenland	NZ	Neuseeland
BJ	Benin	HU	Ungarn	PL	Polen
BR	Brasilien	IE	Irland	PT	Portugal
BY	Belarus	IT	Italien	RO	Rumänien
CA	Kanada	JP	Japan	RU	Russische Föderation
CF	Zentrale Afrikanische Republik	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	SD	Sudan
CG	Kongo	KR	Republik Korea	SE	Schweden
CH	Schweiz	KZ	Kasachstan	SI	Slowenien
CI	Côte d'Ivoire	LI	Liechtenstein	SK	Slowakischen Republik
CM	Kamerun	LK	Sri Lanka	SN	Senegal
CN	China	LU	Luxemburg	TD	Tschad
CS	Tschechoslowakei	LV	Lettland	TG	Togo
CZ	Tschechischen Republik	MC	Monaco	UA	Ukraine
DE	Deutschland	MG	Madagaskar	US	Vereinigte Staaten von Amerika
DK	Dänemark	ML	Mali	UZ	Usbekistan
ES	Spanien	MN	Mongolei	VN	Vietnam

## BESCHREIBUNG

### VERFAHREN ZUR ÄNDERUNG DER LOKALEN GEFÜGESTRUKTUR AN DER OBERFLÄCHE EINES WERKSTOFFES MITTELS HOCHENERGIEBESTRAHLUNG

#### Technisches Gebiet

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Änderung der lokalen Gefügestruktur an der Oberfläche eines Werkstoffes in der festen oder flüssigen Phase mittels Hochenergiebestrahlung mit den Merkmalen der im Oberbegriff des Patentanspruchs 1 beschriebenen Gattung.

#### Stand der Technik

Verfahren zur Änderung der lokalen Gefügestruktur an der Oberfläche eines Werkstoffes, wobei die Oberfläche des Bearbeitungsortes mittels einer Hochenergiebestrahlung auf eine definierte Temperatur erwärmt wird, sind an sich bekannt. Für die Bestrahlung der Oberfläche der Werkstoffe von Bauteilen finden Laser Verwendung, wie beispielsweise CO<sub>2</sub>-Laser und Nd-YAG-Hochleistungslaser. Aus der DE-OS 37 26 466 ist eine Werkstückbearbeitungsvorrichtung zum Oberflächenhärtzen von Werkstücken bekannt, die mit einem Laser, und zwar mit einem Kohlendioxidlaser, arbeitet. Diese Bearbeitungsvorrichtung besitzt eine Fokussiervorrichtung zum Bündeln des Laserstrahls auf das Werkstück und einen diesem Werkstück zugeordneten Strahlungsdetektor, der die Wärmestrahlung des erhitzten Werkstücks detektiert, und jeweils ein von der Stärke dieser Strahlung abhängiges Ausgangssignal zur Leistungssteuerung des Lasers liefert. Im Strahlengang des Lasers ist ein für die Strahlung mit der Wellenlänge des Laserstrahls durchlässiger Spiegel angebracht, der die vom Werkstück abgegebene Wärmestrahlung gesondert zu dem außerhalb des Strahlengangs angeordneten Strahlendetektor lenkt. Dieser Detektor liefert ein

der Stärke der Wärmestrahlung proportionales elektrisches Ausgangssignal, das nach Verstärkung als Ist-Wert einem Regelkreis zugeführt wird, an den der Laser angeschlossen ist. Der Regelkreis ist dann bestrebt, die Laserleistung auf einem zuvor in den Regelkreis eingegebenen Soll-Wert zu halten. Es ist also möglich, die Temperaturen in dem Bereich direkt zu messen, in dem das Werkstück aufgeheizt wird. Das Werkstück wird damit immer auf gleiche Temperatur gebracht, unabhängig von der Ausgangsleistung des Lasers.

Aus der DE-OS 37 33 147 ist ein Verfahren zum Laserwärmebehandeln bekannt, das für Laserhärtan, Laserweichglühen und Laserrekristallisieren von Bauteilen im festen Zustand verwendet wird. Ein Strahlungspyrometer, das isoliert nur die Wärmestrahlung einer bestimmten Wellenlänge bzw. eines bestimmten Wellenlängenbereichs erfaßt, mißt die Oberflächentemperatur entlang eines Bearbeitungsbereiches des Bauteils. Mit Hilfe eines PID-Reglers wird die Leistung eines Lasers on-line so schnell geregelt, daß die Temperatur der Oberfläche in dem Bearbeitungsbereich in einem vorgegebenen Temperaturintervall stets konstant gehalten wird. Zur Anwendung kommen auch hier CO<sub>2</sub>-Laser und Festkörperlaser, z.B. Nd-YAG-Laser. Metalle lassen sich in vielen Fällen mit Hilfe eines CO<sub>2</sub>-Hochleistungslasers an der Oberfläche von Bauteilen härtan. Dieser Vorgang ist diffusionsgesteuert und damit von der Temperatur und der Zeit abhängig. Die Umwandlung von Stählen in verschiedene Gefügezustände werden in sogenannten Zeit-Temperatur-Austenitisierungsschaubildern zusammengefaßt. Diese Austenitisierungsschaubilder gelten für konstante Aufheizgeschwindigkeiten. Gemäß der DE-OS 37 33 147 kommt es nach der Austenitisierung beim Abkühlen durch Selbstabschreckung des Bauteils zur Bildung des Martensit, solange eine ausreichend große Abschreckgeschwindigkeit erreicht werden kann.

In dem geschilderten Stand der Technik werden Verfahren bzw. Vorrichtungen geoffenbart, die die Oberflächentemperatur am Bearbeitungsort der durch die Laserstrahlung erwärmten Oberfläche des Bauteils erfassen. Mit Hilfe eines PID-Reglers wird die Leistung des jeweiligen Lasers derart geregelt, daß die Temperatur an der Oberfläche des Bauteils konstant gehalten wird. Bei hohen Aufheizgeschwindigkeiten, die typisch für das Laserhärtan sind, ist es möglich zu ver-

hindern, daß die Schmelztemperaturen überschritten werden. Die Verfahren nach dem Stand der Technik überwachen damit stets die Aufheizphase der Oberflächen der Werkstoffe, damit die Schmelztemperatur für lokale Aufschmelzungen nicht überschritten wird.

Die Vorgänge bei der Selbstabschreckung bzw. dem Abkühlen der Werkstoffe laufen unbeobachtet ab. Es wird für das Härteln lediglich eine Mindestabkühlgeschwindigkeit vorausgesetzt. Die Bildung der verschiedenen Gefügezustände des Werkstoffs ist jedoch vom Temperatur-Zeit-Verlauf abhängig. Der Temperaturverlauf beeinflußt die Art der Abkühlung und je nach Verlauf kann das Gefügeergebnis des Werkstoffes sehr unterschiedlich ausfallen.

#### Darstellung der Erfindung

Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, ein für die Massenfertigung geeignetes, einfaches und preiswertes Verfahren und eine entsprechende Vorrichtung dazu zu schaffen, die bei der Herstellung von Werkstoffen oder bei der Nachbearbeitung an der Oberfläche der Werkstoffe während des Bearbeitungsprozesses durch Regelung definierte Randbedingungen zur Erzeugung bestimmter lokaler Gefügestrukturen an der Oberfläche geschaffen werden, so daß je nach der Beschaffenheit des Werkstoffes in weitem Umfang unterschiedliche lokale Gefügestrukturen an der Oberfläche erzielt werden können, dabei soll gleichzeitig erreicht werden, daß die Reproduzierbarkeit der Bearbeitungsergebnisse stets gegeben ist.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die in dem kennzeichnenden Teil des Patentanspruchs 1 angegebenen Merkmale gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen des Erfindungsgegenstandes sind in den Merkmalen der Unteransprüche 2 bis 23 gekennzeichnet.

Die Vorteile der Erfindung bestehen insbesondere darin, daß nach dem Ende der Aufheizphase des Werkstoffs der Temperatur-Zeit-Verlauf beim Abkühlen genau verfolgt wird, was durch entsprechende Messungen an der Oberfläche

des Bearbeitungsortes erfolgt. Dadurch wird eine weitere Führungsgröße für die Regelung des Bearbeitungsprozesses während der Abkühlphase gewonnen, zugleich ist eine on-line-Regelung der Abkühlgeschwindigkeit nunmehr möglich. Der Temperatur-Zeit-Verlauf während der Abkühlung lässt sich entsprechend den Materialgegebenheiten und den angestrebten bzw. geforderten Gefügestrukturen an der Oberfläche des Werkstoffes genau definiert steuern. Damit steigt die Qualität der Bearbeitung durch Erzielung genau definierter Gefügestrukturen am Bearbeitungsort. Aufgrund der exakten Prozeßüberwachung und Prozeßregelung ist nunmehr auch die Reproduzierbarkeit der unterschiedlichen Gefügestrukturen in den durch die Eigenschaften des Werkstoffs gegebenen Grenzen jederzeit möglich. Durch die Einhaltung definierter Temperatur-Zeit-Verläufe mittels Vor- und Nachwärmphase ist es nunmehr möglich, die Temperaturgradienten der Werkstoffe zu reduzieren, d.h. insbesondere auch eine Verminderung der thermisch induzierten Spannungen zu erzielen. So ergeben sich beispielsweise für das Umschmelzen, das Beschichten sowie das thermische Verdichten von Spritzschichten mit Laserstrahlung neue Perspektiven zur Vermeidung von Rißbildungen und damit eine deutliche Qualitätssteigerung in der Oberflächenbehandlung gegenüber dem Stand der Technik. Mit dem vorgestellten Verfahren ist es also möglich, zielgenau die gewünschten Gefügestrukturen an der Oberfläche des Werkstoffes zu erzeugen, die den gewünschten Gebrauchseigenschaften jeweils angepaßt sind.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Nachstehend wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen und von Zeichnungen noch näher erläutert:

Figur 1 eine Schemadarstellung des erfindungsgemäßen Verfahrens, wobei der Sensor mit dem Werkstück bewegt wird,

Figur 2 Temperatur-Zeit-Verlauf an einem beliebigen Beobachtungspunkt während eines Bearbeitungsprozesses und

Figur 3 verschiedene Varianten der Bearbeitungsvorrichtung, wobei die Strahlteilung wahlweise über Prismen, dichroitische Spiegel oder Scraper-Spiegel erfolgen kann.

Bester Weg zur Ausführung der Erfindung

Oberflächenbehandlungen von Werkstoffen, also die Änderung der lokalen Gefügestruktur an der Oberfläche, können sowohl im Festzustand als auch während der flüssigen Phase beim Erkalten des Werkstoffs durchgeführt werden. Häufig ist es weder technisch erforderlich, noch ist es aus wirtschaftlicher und kostenmäßiger Sicht sinnvoll, den Werkstoff für ein Bauteil stets nach den höchsten Verschleißanforderungen auszuwählen. Man wählt vielmehr einen Werkstoff, bei dem nachträglich an den Stellen des höchsten Verschleißes eine entsprechend verschleißbeständige Oberfläche geschaffen wird, beispielsweise durch Erwärmung auf eine vorbestimmte Temperatur mittels einer Hochenergiebestrahlung. Diese Hochenergiebestrahlung kann beispielsweise eine Laserstrahlung oder eine Elektronenstrahlung oder jede andere für eine derartige Erwärmung der Oberfläche geeignete Strahlung sein. Die Gebrauchseigenschaften des Werkstoffs bzw. des Bauteils werden mit dem vorgestellten Verfahren gezielt verändert, um so die gewünschte Gefügestruktur zu erzeugen, die den Belastungen angepaßt ist und dem zu erwartenden Verschleiß standhalten kann. Die lokale Gefügestruktur an der Oberfläche des Werkstoffes hängt einmal von der Legierungszusammensetzung ab und zum anderen von der Gefügestruktur des Werkstoffes nach der Bearbeitung.

Eine in Figur 1 nicht dargestellte Laserquelle sendet einen Gesamtlaserstrahl 1 aus, der durch einen Strahlteiler 2 in einen Primärstrahl 3 und in einen oder mehrere Sekundärstrahlen 5, 6 u.s.w. zerlegt wird. Die Ablenkungsspiegel für die Primär- und Sekundärstrahlen können als Scraper-Spiegel, Klapp- oder Schrägspiegel ausgebildet sein. Primär- und Sekundärstrahlen bilden also ein über ein oder mehrere Strahlteiler gekoppeltes System. Mittels des Primärstrahls 3 wird eine erste Hochenergiebestrahlung am Bearbeitungsort vorgenommen und mittels eines Temperatursensors 4 wird die dort entstehende Temperatur wäh-

rend des Bearbeitungsprozesses gemessen. Der gemessene Ist-Wert wird mittels einer hier nicht dargestellten Regeleinheit durch die Änderung der emittierten Leistungsdichte der Laserstrahlenquelle in Richtung des geforderten und also vorher festgelegten Soll-Wertes entsprechend verändert. Der Primärstrahl 3 dient also der Aufheizung des Werkstoffes.

In Figur 1 wird der Temperaturverlauf kontinuierlich durch den Temperatursensor 4 gemessen. Dieser Temperatursensor kann beispielsweise als Pyrometer, als Photodiode oder als anderer Temperatursensor ausgebildet sein, der derartige Temperaturen messen kann. Nach Beendigung der Aufheizphase des Werkstoffes durch den Primärstrahl 3 wird der Temperatur-Zeit-Verlauf während des Abkühlens des Werkstoffes mittels des Temperatursensors 4 gemessen. Die Temperatur des Werkstoffes muß mindestens an zwei unterschiedlichen Zeitpunkten während des Abkühlens am Bearbeitungsort gemessen werden, damit der Verlauf der Abkühlungskurve ermittelt werden kann. Weicht nun der Verlauf des Temperatur-Zeit-Verlaufs von dem gewünschten Soll-Wert ab, so erfolgt die Regelung des ermittelten Temperatur-Zeit-Verlaufs während des Abkühlvorganges dadurch, daß mindestens eine oder mehrere weitere Hochenergiebestrahlungen des Werkstoffs am Bearbeitungsort vorgenommen werden. Zu diesem Zweck werden von dem Gesamtstrahl 1 über den Strahlteiler 2 Sekundärstrahlen 5 und 6 abgezweigt. Es können selbstverständlich nicht nur einer, sondern auch mehr als zwei derartige Sekundärstrahlen ausgekoppelt werden. Dazu sind entsprechende Kopplungssysteme zwischen den Sekundärstrahlen vorgesehen. Die Kopplungssysteme werden bezüglich der Verteilung der Strahlungsanteile des Gesamtstrahls dabei regelbar ausgebildet, so daß jeder gewünschte Temperatur-Zeit-Verlauf mittels der Sekundärstrahlen in der Abkühlphase erzielt werden kann.

Die Abweichungen von den vorgegebenen Soll-Größen in Gestalt des geforderten resultierenden Temperatur-Zeit-Verlaufs kann sowohl durch veränderbare Intensitätsanteile als auch durch die veränderbare Leistung der Teilstrahlen ausgeriegelt werden, wobei die entsprechenden Regelvorrichtungen hier jeweils nicht dargestellt und beschrieben sind. Mittels der Aufteilung in Primär- und Se-

kundärstrahlen sowie der systematischen Messung nach der Aufheizung an der Oberfläche des Werkstoffes wird mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens und der entsprechenden Vorrichtung eine kontinuierliche Regelung der Abkühlraten durch definierte Temperatur-Zeit-Verläufe erreicht. Und damit können in einem Zeit-Temperatur-Diagramm punktgenau diejenigen Linien angefahren werden, die der gewünschten Gefügestruktur des betreffenden Werkstoffes beim Abkühlen entspricht. Je nach Werkstoffart und auch Werkstoffzusammensetzung kann z.B. durch den Umwandlungszeitpunkt der Phasen bei einer ganz bestimmten Temperatur eine vorher bestimmte Härte des Oberflächenmaterials erzielt werden. Mit derartigen Temperatur-Zeit-Verläufen lassen sich jedoch auch die Temperaturgradienten des Werkstoffs reduzieren und so eine Verminderung der thermisch induzierten Spannungen des Werkstoffs an der Oberfläche erreichen.

Während in dem Ausführungsbeispiel der Erfindung gemäß Figur 1 die Werkstückoberfläche gegenüber der Laserquelle bewegt wird, wird bei dem erfindungsgemäßen Ausführungsbeispiel nach Figur 3 die Laserquelle bzw. die Bearbeitungsvorrichtung gegenüber dem Werkstück 7 bewegt. Außerdem kann das Kopplungssystem für den Primär- und die Sekundärstrahlen und auch die Kopplungssysteme zwischen mehreren Sekundärstrahlen zur weiteren Unterteilung der Sekundärstrahlen als verfahrbare Laserstrahlteiler ausgeführt sein. Die Kopplungssysteme zwischen Primärstrahlen und Sekundärstrahlen sowie die Kopplungssysteme zwischen mehreren Sekundärstrahlen sind dabei bezüglich der Verteilung der Strahlungsanteile des Gesamtstrahls regelbar ausgebildet. Auch die Verteilung der Sekundärstrahlenanteile innerhalb der Sekundärstrahlen ist veränderbar ausgebildet.

Bei der Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens und der entsprechenden Vorrichtung nach Figur 3 sind jeweils Temperatursensoren 4 sowohl der Primärstrahlung wie auch der jeweiligen Sekundärstrahlung zur Messung der Temperatur am Bearbeitungsort zugeordnet. In der Ausführungsform der Erfindung nach Figur 3 sind jeweils ein Strahlteiler, ein abzubildender Spiegel und ein Temperatursensor zu einer kompakten modularen Strahlführungs-,

Strahlformungs- und Meßeinheit zusammengefaßt, dabei sind die Strahlführungen und die Strahlformungen hier nicht dargestellt. Diese modularen Einheiten werden durch eine übergeordnete Regeleinheit gemäß dem geforderten resultierenden Temperatur-Zeit-Verlauf beim Abkühlen gesteuert. Die in den Primärstrahl und ein oder mehrere Sekundärstrahlen aufgeteilte Gesamtlaserstrahlung beaufschlagt und bestrahlt die Oberfläche des Werkstücks am Bearbeitungsort jeweils zeitlich nacheinander. Neben der Vorschubgeschwindigkeit entweder des Werkstücks oder der Bearbeitungsvorrichtung steht als Regelgröße auch die veränderbare Leistung der Teilstrahlen wie auch die veränderbaren Intensitätsanteile der Teilstrahlen zur Verfügung. Die Strahlteilung kann wahlweise über Prismen, dichroitische Spiegel oder Scraper-Spiegel erfolgen.

In Figur 2 ist ein Temperatur-Zeit-Diagramm gezeigt, in dem die Temperatur-Zeit-Verläufe bei der Änderung der lokalen Gefügestruktur an der Oberfläche des Werkstoffes bei der Hochenergiebestrahlung durch die erfindungsgemäße Vorrichtung bzw. mit dem erfindungsgemäßen Verfahren dargestellt ist. Der Bearbeitungsprozeß läuft wie folgt ab. Zum Zeitpunkt  $t_2$  tritt ein fixer Punkt des Werkstücks mit seiner Oberfläche in den Primärstrahl 3 in Vorschubrichtung 8 mit einer eingestellten und regelbaren Vorschubgeschwindigkeit. Dies stellt die Aufheizphase für den Bearbeitungsort an der Oberfläche des Werkstoffs dar. Der Temperatursensor 4 überprüft die an dem Bearbeitungsort erreichte Maximaltemperatur. Sollte diese nicht ausreichend hoch sein, so wird beispielsweise der Leistungsanteil der Primärstrecke entsprechend den vorher aufgeföhrten Stellgrößen verändert. In der nun nachfolgenden Sekundärstrecke, also der Abkühlphase, erfaßt ein zweiter Temperatursensor 4 zum Zeitpunkt  $t_3$  eventuell auftretende Abweichungen zwischen dem Temperatur-Soll-Wert und dem Temperatur-Ist-Wert. Durch die vorgesehenen Regelmechanismen wird die Stellgröße des Verfahrweges des Prismas und/oder die Laserleistung solange geändert, bis die Abweichung eliminiert ist. Entsprechend funktionieren alle weiteren Teilkomponenten der Sekundärstrecke zu den Zeitpunkten  $t_4$  u.s.w.. Der mit 9 bezeichnete Temperatur-Zeit-Verlauf stellt die geforderte Kurve bei der Erstarrung zur gewünschten Gefügestruktur dar, bildet also den Soll-Wert. Der mit 10 bezeichnete Temperatur-Zeit-

Verlauf stellt die tatsächliche Kurve, also den Ist-Wert, dar, wie er sich bei der Bearbeitung der Werkstoffoberfläche durch die Bestrahlung mit Hochenergie einstellt. Deutlich sind zu den Zeitpunkten  $t_3$  und  $t_4$  die durch das erfindungsge-mäße Verfahren bzw. der dazugehörigen Vorrichtung erzielten Korrekturen erkennbar. Der dadurch erzielte resultierende Temperatur-Zeit-Verlauf liegt innerhalb der zulässigen Bandbreite, ohne daß die geforderte Gefügestruktur des Werkstoffes geändert bzw. beeinträchtigt wird. Zudem läßt sich eine noch bessere Annäherung an die geforderte Soll-Kurve durch weitere zusätzliche Meßpunkte bzw. entsprechende Korrekturen erzielen.

#### Gewerbliche Anwendbarkeit

Mit dem geoffenbarten Verfahren und der entsprechenden Vorrichtung dazu, sind die Gebrauchseigenschaften eines Werkstoffes bzw. eines Bauteiles an der Oberfläche derart veränderbar, daß eine gewünschte Gefügestruktur des Materials erzeugt wird, die den erwarteten Belastungen angepaßt ist und dem zu erwartenden Verschleiß standhalten kann.

Bezugszeichenliste

- 1 Gesamtlaserstrahl
- 2 Strahlteiler
- 3 Primärstrahl
- 4 Temperatursensor
- 5 Sekundärstrahl
- 6 Sekundärstrahl
- 7 Werkstück
- 8 Vorschubrichtung
- 9 geforderte Temperatur-Zeit-Kurve
- 10 tatsächliche Temperatur-Zeit-Kurve

Patentansprüche

1. Verfahren zur Änderung der lokalen Gefügestruktur an der Oberfläche eines Werkstoffes in der festen oder flüssigen Phase, wobei die Oberfläche des Bearbeitungsortes mittels einer ersten Hochenergiebestrahlung auf eine bestimmte Temperatur erwärmt wird und die dort entstehende Oberflächentemperatur während des Bearbeitungsprozesses gemessen wird, und ferner eine Veränderung der so gewonnenen Ist-Werte mittels einer Regeleinheit durch eine Änderung der Emission der Hochenergiebestrahlungsquelle in Richtung der gewünschten Soll-Werte durchgeführt wird,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß nach Beendigung der Aufheizphase des Werkstoffes durch eine erste Hochenergiebestrahlung der Temperatur-Zeit-Verlauf beim Abkühlen des Werkstoffes ermittelt wird, daß dazu an mindestens zwei unterschiedlichen Zeitpunkten die Temperatur des Werkstoffes an dem Bearbeitungsort gemessen wird, und daß die Regelung des ermittelten Temperatur-Zeit-Verlaufs während des weiteren Abkühlvorganges dadurch erfolgt, daß mindestens eine weitere Hochenergiebestrahlung des Werkstoffes am Bearbeitungsort in dem Maße bzw. der Dosierung erfolgt, daß ein geforderter resultierender Temperatur-Zeit-Verlauf beim Abkühlen des Werkstoffes am Bearbeitungsort erzielt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß die Hochenergiebestrahlung durch Elektronenstrahlung erfolgt.
3. Verfahren nach Anspruch 1,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß die Hochenergiebestrahlung durch Laserstrahlung erfolgt.

4. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 3,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß die Hochenergiebestrahlungsquelle gegenüber der Werkstoffoberfläche oder die Werkstoffoberfläche gegenüber der Hochenergiebestrahlungsquelle bewegt wird.
5. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 4,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß der Gesamtstrahl der Hochenergiebestrahlungsquelle in zwei oder mehrere Teilstrahlen aufgeteilt wird, und daß die Teilstrahlen jeweils zeitlich nacheinander das Werkstück am Bearbeitungsort beaufschlagen.
6. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß die Intensitätsanteile der Teilstrahlen jeweils für jeden einzelnen Teilstrahl regelbar ausgeführt sind.
7. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß die Leistung der Teilstrahlen jeweils für jeden einzelnen Teilstrahl regelbar ausgeführt ist.
8. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 7,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß Abweichungen von den vorgegebenen Soll-Größen in Gestalt des geforderten resultierenden Temperatur-Zeit-Verlaufs durch die veränderbaren Intensitätsanteile und/oder die veränderbare Leistung der Teilstrahlen ausgeregelt werden.
9. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 8,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß die aus dem Gesamtstrahl der Hochenergiebestrahlungsquelle gebildeten Teilstrahlen aus einem Primärstrahl zur Erwärmung des Werk-

stoffes und aus einem oder mehreren Sekundärstrahlen zur Veränderung des resultierenden Temperatur-Zeit-Verlaufes bestehen, und daß Primärstrahl und ein oder mehrere Sekundärstrahlen über ein oder mehrere Kopplungssysteme verbunden sind, und daß das Kopplungssystem bezüglich der Verteilung der Strahlungsanteile des Gesamtstrahls regelbar ausgebildet ist.

10. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1, 3 bis 9,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß das Kopplungssystem für Primär- und Sekundärstrahlen und die Kopplungssysteme zwischen mehreren Sekundärstrahlen zur weiteren Unterteilung der Sekundärstrahlen als verfahrbare Laserstrahlteiler ausgeführt sind.
11. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 10,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß der zu bearbeitende Werkstoff aus Keramik, Kunststoff, Glas oder Metall besteht.
12. Vorrichtung zur Änderung der lokalen Gefügestruktur an der Oberfläche eines Werkstoffes in der festen oder flüssigen Phase, wobei die Oberfläche des Bearbeitungsortes mittels einer ersten Hochenergiebestrahlung auf eine bestimmte Temperatur erwärmt wird und die dort entstehende Oberflächentemperatur während des Bearbeitungsprozesses gemessen wird, und ferner eine Veränderung der so gewonnenen Ist-Werte mittels einer Regeleinheit durch eine Änderung der Emission der Hochenergiebestrahlungsquelle in Richtung der gewünschten Soll-Werte durchgeführt wird, für ein Verfahren gemäß den Patentansprüchen 1 bis 11,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß der Gesamtstrahl der Hochenergiebestrahlungsquelle mittels eines oder mehrerer Strahlteiler in wenigstens zwei oder mehrere Teilstrahlen zerlegt wird, wobei ein dabei entstehender Primärstrahl zur Erwärmung des Werkstoffes und die dabei entstehenden ein oder mehreren Sekundär-

strahlen zur Veränderung des Temperatur-Zeit-Verlaufes beim Abkühlen des Werkstoffes dienen.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß die Hochenergiebestrahlung durch Elektronenstrahlung erfolgt.
14. Vorrichtung nach Anspruch 12,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß die Hochenergiebestrahlung durch Laserstrahlung erfolgt.
15. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 12 bis 14,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß Primärstrahl und Sekundärstrahlen über ein oder mehrere Kopplungssysteme verbunden sind, und daß das Kopplungssystem bezüglich der Verteilung der Strahlungsanteile des Gesamtstrahls regelbar ausgebildet sind.
16. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 12 bis 15,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß zwischen den einzelnen Sekundärstrahlen regelbare Kopplungssysteme angeordnet sind, durch die die Sekundärstrahlenanteile innerhalb der Sekundärstrahlen veränderbar sind.
17. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 12, 14 bis 16,  
**dadurch gekennzeichnet,**  
daß die Kopplungssysteme als verfahrbare Laserstrahlteiler ausgeführt sind.

18. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 12 bis 17,  
**dadurch gekennzeichnet**,  
daß die Temperatur des Werkstoffes am Bearbeitungsort bei der Bestrahlung durch die Primärstrahlen und durch die Sekundärstrahlen mit Sensoren gemessen werden.
19. Vorrichtung nach Anspruch 18,  
**dadurch gekennzeichnet**,  
daß die Sensoren als Pyrometer oder als Photodioden ausgebildet sind.
20. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 18 und 19,  
**dadurch gekennzeichnet**,  
daß der Sensor kontinuierlich mit dem Werkstück bewegt wird.
21. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 18 und 19,  
**dadurch gekennzeichnet**,  
daß die Sensoren jeweils einzeln der Primärstrahlung und den jeweiligen Sekundärstrahlungen zugeordnet sind.
22. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 12, 14 bis 21,  
**dadurch gekennzeichnet**,  
daß jeweils Strahlteiler, abbildender Spiegel und Temperatursensor zu einer kompakten, modularen Strahlführungs-, Strahlformungs- und Meßeinheit zusammengefaßt werden, und daß die modularen Einheiten durch eine Regeleinheit gemäß dem geforderten resultierenden Temperatur-Zeit-Verlauf beim Abkühlen gesteuert werden.
23. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 12 bis 22,  
**dadurch gekennzeichnet**,  
daß der zu bearbeitende Werkstoff aus Keramik, Kunststoff, Glas oder Metall besteht.

1/3

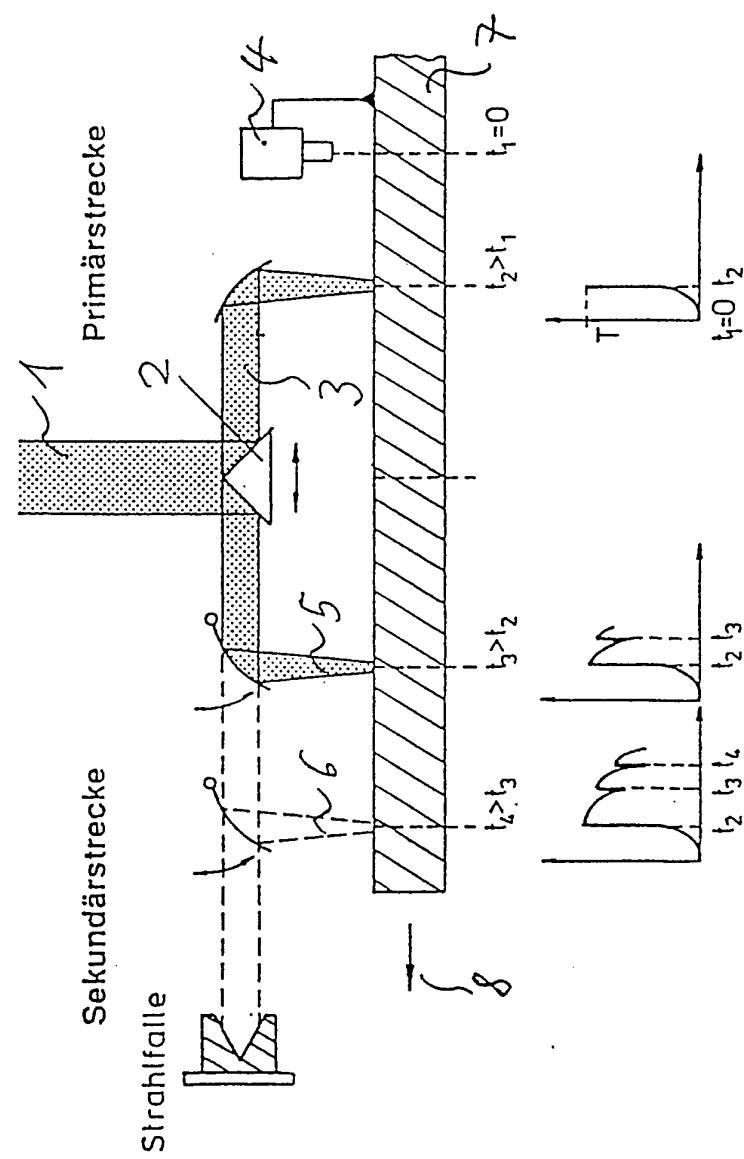


Fig. 1

2/3

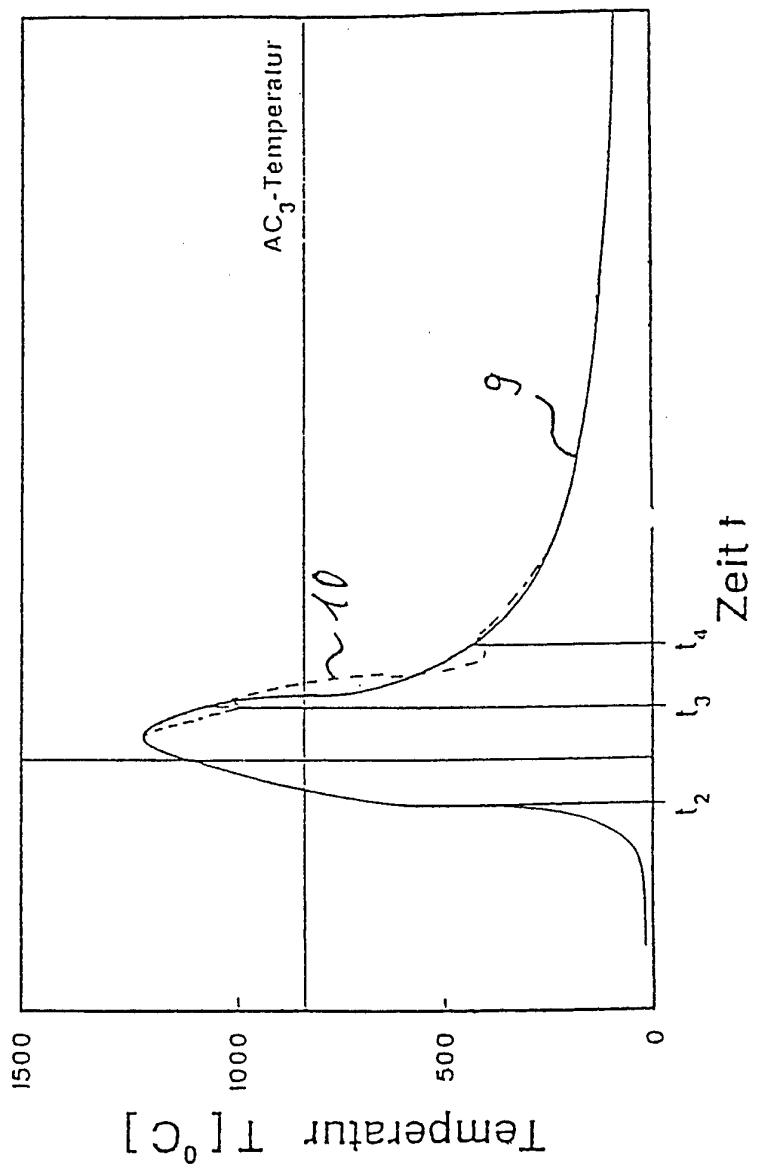


Fig. 2

3/3

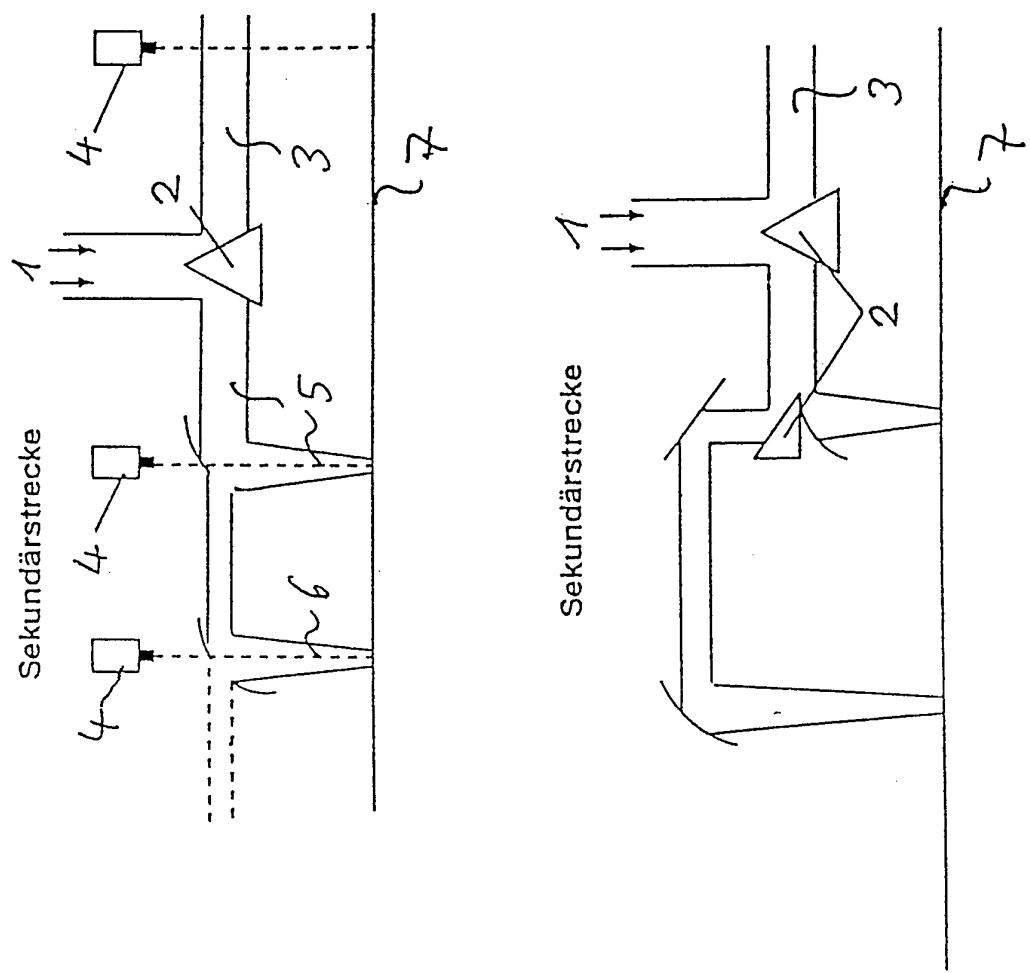


Fig. 3

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/DE 93/00896

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. 5: B23K 26/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int. Cl. 5: B23K, C21D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US, A, 4825035 (MASAHARU MORIYASU ET AL ), 25 April 1989 (25.04.89) -----	1

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

- \* Special categories of cited documents:
- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  23 November 1993 (23.11.93)	Date of mailing of the international search report  23 December 1993 (23.12.93)
Name and mailing address of the ISA/  European Patent Office Facsimile No.	Authorized officer  Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

01/10/93

International application No.

PCT/DE 93/00896

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)		Publication date
US-A- 4825035	25/04/89	DE-A-	3731136	07/04/88
		GB-A-	2196155	20/04/88
		JP-A-	63190115	05/08/88

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 93/00896

## A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPC5: B23K 26/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPC5: B23K, C21D

Recherte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

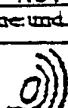
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US, A, 4825035 (MASAHARU MORIYASU ET AL), 25 April 1989 (25.04.89) -----	1

 Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen. Siehe Anhang Patentsfamilie.

- \* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen:
  - "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
  - "E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
  - "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie zugeführt)
  - "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
  - "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
- "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfandenscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfandenscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann nabeliegend ist
- "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentsfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
23 November 1993	23.12.93

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde



Europäisches Patentamt, P.O. 5818 Pionierstr. 2  
 NL-2280 HV Rijswijk  
 Tel (+31-70) 340-2040, Tx 31 651 epo nl  
 Fax (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Magnus Westöö

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören  
01/10/93

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 93/00896

Im Recherchenbericht angefurtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US-A- 4825035	25/04/89	DE-A- 3731136 GB-A- 2196155 JP-A- 63190115	07/04/88 20/04/88 05/08/88