



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
16.10.2002 Patentblatt 2002/42

(51) Int Cl.7: **C21D 1/09**

(21) Anmeldenummer: **02008140.2**

(22) Anmeldetag: **12.04.2002**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE TR
 Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(30) Priorität: **12.04.2001 DE 10119180**
30.05.2001 DE 10126165

(71) Anmelder: **INDEX-WERKE GMBH & CO. KG**
HAHN & TESSKY
73730 Esslingen (DE)

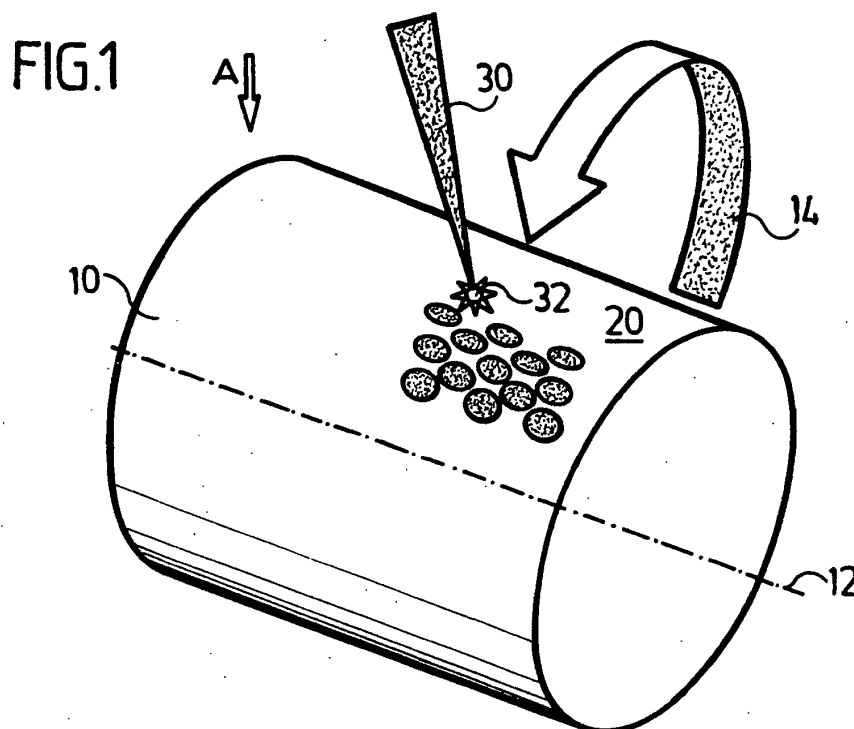
(72) Erfinder:
 • **Tüllmann, Udo, Dr.**
73730 Esslingen (DE)
 • **Frederking, Klaus-Dieter, Dr.-Ing.**
70435 Stuttgart (DE)
 • **Walbert, Andreas, Dipl.-Ing.**
72649 Wolfschlugen (DE)

(74) Vertreter: **Hoeger, Stellrecht & Partner**
Uhlandstrasse 14 c
70182 Stuttgart (DE)

(54) **Verfahren zum Härten eines Oberflächenbereichs eines Werkstücks**

(57) Um ein Verfahren zum Härten eines Oberflächenbereichs eines Werkstücks, bei welchem nacheinander Teilbereiche des Oberflächenbereichs mittels eines gepulsten Laserstrahls durch Aufheizen und Abschrecken des Gefüges erzeugt werden, wobei jeder Teilbereich durch eine zusammenhängende Oberfläche eines ungefähr dieselbe Härte aufweisenden Gefüges

gebildet ist, derart zu verbessern, daß der Oberflächenbereich durch Erzeugen der Teilbereiche möglichst optimal gehärtet werden kann, wird vorgeschlagen, daß der Laserstrahl auf den Teilbereich so einwirkt, daß mit dem Laserstrahl über eine dem Fokusbereich entsprechende Kopplungsfläche während einer Aufheizdauer im Bereich von ungefähr 0,01 Sek. bis ungefähr 2 Sek. Energie zum Härten des Gefüges eingekoppelt wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Härten eines Oberflächenbereichs eines Werkstücks, bei welchem nacheinander Teilbereiche des Oberflächenbereichs mittels eines gepulsten Laserstrahls durch Aufheizen und Abschrecken des Gefüges erzeugt werden, wobei jeder Teilbereich durch eine zusammenhängende Oberfläche eines ungefähr dieselbe Härte aufweisenden Gefüges gebildet ist.

[0002] Derartige Verfahren sind aus dem Stand der Technik bekannt.

[0003] Beispielsweise ist aus der DE 35 33 541 A1 ein Verfahren zum Härten von Oberflächenbereichen bekannt, bei welchem sogenannte Härtespuren nebeneinander oder im Abstand voneinander gelegt werden.

[0004] Ferner ist aus dem Artikel in Materials and Manufacturing Processes, Vol. 14, No. 1, Seite 53 bis 65, 1999 von L. Xue et al. mit dem Titel "Dot Matrix Hardening of Steels Using a Fiber Optic Coupled Pulsed Nd: YAG Laser" das Härten eines Oberflächenbereichs durch Erzeugung einzelner nebeneinanderliegender Härtepunkte bekannt.

[0005] Bei beiden Verfahren ist die Wärmeeinkopplung nicht optimal. So erfolgt beispielsweise beim Legen von Härtespuren nebeneinander ein Anlaßeffect in einer bereits gehärteten Spur, wenn neben dieser eine weitere Härtespur gelegt wird.

[0006] Ferner ist das Erzeugen von Härtepunkten nach dem bekannten Verfahren im Hinblick auf die erforderliche Energie für das Erzeugen der Teilbereiche nicht optimal.

[0007] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der gattungsgemäßen Art derart zu verbessern, daß der Oberflächenbereich durch Erzeugen der Teilbereiche möglichst optimal gehärtet werden kann.

[0008] Diese Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangs beschriebenen Art erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß der Laserstrahl auf den Teilbereich so einwirkt, daß mit dem Laserstrahl über eine dem Fokusbereich entsprechende Einkopplungsfläche während einer Aufheizdauer im Bereich von ungefähr 0,01 sek bis ungefähr 2 sek Energie zum Härten des Gefüges eingekoppelt wird.

[0009] Der Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens ist darin zu sehen, daß eine relativ lange Zeitdauer für die Einkopplung der Energie über eine Einkopplungsfläche angesetzt wird. Diese relativ lange Zeitdauer ermöglicht jedoch eine optimale Umsetzung der eingekoppelten Energie ohne daß eine Überhitzung des Gefüges entsteht und beispielsweise ein Abtragen des Gefügematerials auftreten kann.

[0010] Außerdem ist die gewählte Zeitdauer insoweit außerdem noch vorteilhaft, als sie trotzdem die Erzeugung von Randbereichen möglichst geringer Ausdehnung erlaubt, so daß beim Härten ein sehr hoher Temperaturgradient im Randbereich und folglich eine geringe

Ausdehnung desselben erreichbar ist.

[0011] Eine besonders günstige Lösung sieht vor, daß der Laserstrahl während der Aufheizdauer mit maximal fünf Laserpulsen über die Einkopplungsfläche einwirkt, das heißt, daß während der Aufheizdauer fünf Laserpulse einwirken, deren Zeitdauer insgesamt die Aufheizdauer ergibt.

[0012] Noch vorteilhafter ist es, wenn der Laserstrahl während der gesamten Aufheizdauer mit einem einzigen Laserpuls über die Einkopplungsfläche einwirkt, das heißt, daß der einzige eingesetzte Laserpuls eine ungefähr der Aufheizdauer entsprechende Pulsdauer aufweist.

[0013] Folglich wird in diesem Fall mit einem Laserstrahl gearbeitet, der mit der Aufheizdauer entsprechenden Pulsdauern gepulst ist.

[0014] Besonders vorteilhaft ist es dabei, wenn der Laserstrahl eine Wellenlänge im Bereich zwischen 500 und 1000 nm, noch besser bis 1100 nm aufweist, da in diesem Wellenlängenbereich eine optimierte Wechselwirkung zwischen dem Laserstrahl und dem zu härtenden Gefüge erreichbar ist.

[0015] Als Strahlungsquelle können prinzipiell alle Laserquellen, insbesondere auch Festkörperlaser, eingesetzt werden, wobei es günstig ist, wenn der Laserstrahl von einem Halbleiterlaser erzeugt wird, der sich am besten für die Einsatzbedingungen bei Werkzeugmaschinen eignet.

[0016] Um die Aufheizung des Gefüges durch Selbstabschreckung der Teilbereiche möglichst gering zu halten und insbesondere Anlaßeffecte in bereits gehärteten Teilbereichen zu vermeiden, ist vorzugsweise vorgesehen, daß unmittelbar nebeneinanderliegende Teilbereiche in einem Zeitabstand aufgeheizt werden, während dessen mindestens zwei weiter entfernt liegende Teilbereiche aufgeheizt werden.

[0017] Damit ist einerseits der Laserstrahl möglichst optimal ohne zusätzlich zu fordernde Pausen einsetzbar, andererseits eine optimale Abschreckung des Gefüges im Rahmen der Selbstabschreckung möglich, ohne daß insgesamt eine Aufheizung des Gefüges oder ein Anlassen benachbarter, bereits gehärteter Teilbereiche entsteht.

[0018] Noch besser ist es, wenn zwei unmittelbar nebeneinanderliegende Teilbereiche in einem zeitlichen Abstand voneinander aufgeheizt werden, während dessen mindestens fünf weitere Teilbereiche aufgeheizt werden.

[0019] Besonders optimal läßt sich das erfindungsgemäße Verfahren führen, wenn zwei unmittelbar nebeneinanderliegende Teilbereiche in einem Zeitabstand aufgeheizt werden, während dessen mindestens zehn weitere Teilbereiche aufgeheizt werden.

[0020] Hinsichtlich der Anordnung der weiteren Teilbereiche relativ zu den unmittelbar nebeneinanderliegenden Teilbereichen wurden bislang keine näheren Angaben gemacht. So hat es sich jedoch als besonders vorteilhaft erwiesen, wenn die weiteren Teilbereiche in

einem Abstand von den unmittelbar nebeneinanderliegenden Teilbereichen angeordnet sind, der mindestens einem fünffachen der Ausdehnung des ersten der unmittelbar nebeneinanderliegenden Teilbereiche in der Abstandsrichtung entspricht.

[0021] Noch besser ist es, wenn die weiteren Teilbereiche von den unmittelbar nebeneinanderliegenden Teilbereichen einen Abstand aufweisen, der mindestens einem zehnfachen der Ausdehnung des ersten der unmittelbar nebeneinanderliegenden Teilbereiche in der Abstandsrichtung entspricht.

[0022] Hinsichtlich der Ausdehnung der Randbereiche wurden im Zusammenhang mit der bisherigen Erläuterung der einzelnen Ausführungsbeispiele keine näheren Angaben gemacht. So sieht eine besonders günstige Lösung vor, daß das Aufheizen durch die Laserstrahlung am Rande jedes über die Austenitisierungstemperatur aufgeheizten Teilbereichs zu einem Temperaturgradient von größer als 500°/mm führt.

[0023] Mit einer derartigen Verfahrensführung lassen sich gehärtete Teilbereiche mit Randbereichen minimaler Ausdehnung erzeugen.

[0024] Hinsichtlich der Abschreckung wurden im Zusammenhang mit der bisherigen Erläuterung der einzelnen Ausführungsbeispiele von jeder Art der Abschreckung ausgegangen. Beispielsweise kann eine zusätzliche Kühlung des Werkstücks erfolgen. Besonders vorteilhaft ist es jedoch, wenn das Abschrecken jedes Teilbereichs durch Selbstabschreckung erfolgt, da damit jegliche zusätzlichen Maßnahmen vermieden werden.

[0025] Ferner wurden im Zusammenhang mit der bisherigen Erläuterung der einzelnen Ausführungsbeispiele keine näheren Angaben zu den Dimensionen der Teilbereiche selbst gemacht. So sieht ein vorteilhaftes Ausführungsbeispiel vor, daß jeder Teilbereich eine Flächenausdehnung aufweist, welche in jeder Richtung maximal einer fünffachen Ausdehnung der Einkopplungsfläche innerhalb des jeweiligen Teilbereichs entspricht.

[0026] Noch günstiger ist es, wenn die Flächenausdehnung jedes Teilbereichs im wesentlichen maximal der zweifachen Flächenausdehnung der Einkopplungsfläche innerhalb des Teilbereichs entspricht.

[0027] Hinsichtlich der Form der Teilbereiche wurden im Zusammenhang mit der bisherigen Erläuterung der einzelnen Ausführungsbeispiele keine näheren Angaben gemacht. So ist es beispielsweise im Rahmen der erfindungsgemäßen Lösung denkbar, Teilbereiche in Form sogenannter Härtespuren herzustellen.

[0028] Besonders günstig läßt sich die erfindungsgemäße Lösung jedoch dann realisieren, wenn zumindest ein Teil der Teilbereiche in unterschiedlichen Richtungen Flächenausdehnungen aufweist, die sich maximal um einen Faktor 3 unterscheiden.

[0029] Die Ausdehnung der Teilbereiche in unterschiedlichen Richtungen kann vorzugsweise so quantifiziert werden, daß sich jeder Teilbereich in jeder Richtung des Oberflächenbereichs bis maximal 10 mm,

noch besser maximal 8 mm, ausdehnt.

[0030] Noch besser ist es, wenn sich jeder Teilbereich in jeder Richtung des Oberflächenbereichs bis maximal 5 mm, noch besser maximal 2 mm oder noch besser maximal 1 mm ausdehnt.

[0031] Im Zusammenhang mit der bisherigen Erläuterung der einzelnen Ausführungsbeispiele wurden keine näheren Angaben zu den Einhärtetiefen gemacht. Eine besonders günstige Lösung sieht vor, daß das Gefüge in jedem Teilbereich eine Einhärtetiefe aufweist, die in der Größenordnung der maximalen Ausdehnung des Teilbereichs in einer der Richtungen der Flächenausdehnung liegt.

[0032] Besonders günstig ist es, wenn die Einhärtetiefe höchstens der maximalen Ausdehnung des jeweiligen Teilbereichs in einer der Richtungen der Flächenausdehnung entspricht.

[0033] Besonders günstig ist es, wenn die Einhärtetiefe maximal 50% der maximalen Ausdehnung des Teilbereichs in einer der Richtungen der Flächenausdehnung entspricht.

[0034] Hinsichtlich der Anordnung der Teilbereiche relativ zueinander wurden im Zusammenhang mit der bisherigen Erläuterung der einzelnen Ausführungsbeispiele keine näheren Angaben gemacht. So sieht eine vorteilhafte Lösung vor, daß unmittelbar nebeneinanderliegende Teilbereiche einen Abstand voneinander aufweisen, und somit der Oberflächenbereich lokal gehärtete Bereiche aufweist, die sich mit nicht gehärteten Bereichen abwechseln.

[0035] Beispielsweise ist es denkbar, daß der Abstand der unmittelbar nebeneinanderliegenden Teilbereiche mindestens ein Zehntel der Ausdehnung der Teilbereiche in Abstandsrichtung entspricht.

[0036] Vielfach ist es noch günstiger, wenn der Abstand der unmittelbar nebeneinanderliegenden Teilbereiche mindestens der Hälfte der Ausdehnung der Teilbereiche in Abstandsrichtung entspricht.

[0037] All die Lösungen, bei denen die Teilbereiche einen Abstand voneinander aufweisen, sind vorteilhaft für viele Anwendungen mit flächigen Krafteinwirkungen, beispielsweise Anwendungen mit aufeinanderwirkenden tragenden Flächen einsetzbar.

[0038] Es besteht aber auch in vielen Fällen die Notwendigkeit, den Oberflächenbereich so zu härten, daß punktuelle oder linienförmige Einwirkungen auf diesen nicht zu Beschädigungen führen.

[0039] Aus diesem Grund ist bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens vorgesehen, daß die Teilbereiche einen Abstand voneinander aufweisen, der weniger als ein Zehntel der Ausdehnung der Teilbereiche in Abstandsrichtung entspricht, da damit ein optimaler Schutz des Oberflächenbereichs gegen derartige punktuelle oder linienförmige Einwirkungen gegeben ist.

[0040] Besonders günstig ist der Schutz dann, wenn die unmittelbar nebeneinanderliegenden Teilbereiche überlappend angeordnet sind, so daß damit die unge-

härteten Flächen oder Flächen mit geringerer Härte minimiert werden.

[0041] Insbesondere bei Teilbereichen mit geringem Abstand oder überlappenden Teilbereichen ist es besonders günstig, wenn in jedem der Teilbereiche ein außerhalb desselben liegender angelassener Bereich in einer radialen Richtung zu einem Mittelpunkt des Teilbereichs eine Ausdehnung von weniger als ein Fünftel der Ausdehnung des Teilbereichs in dieser Richtung aufweist.

[0042] Noch besser ist es, wenn die Ausdehnung des angelassenen Bereichs weniger als ein Zehntel des Teilbereichs in dieser Richtung beträgt.

[0043] Diese Lösung hat den Vorteil, daß der angelassene Bereich stets eine geringere Härte aufweist, so daß durch Reduzierung der Ausdehnung des angelassenen Bereichs gleichzeitig auch eine Reduzierung der Flächen des Oberflächenbereichs mit geringerer Härte erfolgt.

[0044] Quantitativ hat es sich als besonders günstig erwiesen, wenn der außerhalb des Teilbereichs liegende angelassene Bereich in der radialen Richtung zu einem Mittelpunkt des Teilbereichs eine Ausdehnung von weniger als 20 µm, noch besser eine Ausdehnung von weniger als 10 µm aufweist.

[0045] Insbesondere um Oberflächenbereiche zu scharfen, die optimal gegen punktoder linienförmige Einwirkungen geschützt sind, hat es sich als günstig erwiesen, wenn die Teilbereiche so dicht nebeneinander liegen, daß die Härte des Gefüges zwischen den Teilbereichen um maximal 50% gegenüber der Härte des Gefüges innerhalb der Teilbereiche abfällt.

[0046] Noch besser ist es, wenn die Teilbereiche so dicht nebeneinander liegen, daß die Härte des Gefüges zwischen den Teilbereichen um maximal 20% gegenüber der Härte des Gefüges innerhalb der Teilbereiche abfällt.

[0047] Eine besonders zweckmäßige Verfahrensführung sieht vor, daß die Teilbereiche sich zu einem Oberflächenbereich mit näherungsweise im Mittel eine gleichmäßige Härte aufweisendem Gefüge ergänzen. Diese Lösung ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn das erfindungsgemäße Härteverfahren bei all den konstruktiven Teilen eingesetzt werden soll, bei denen der Oberflächenbereich konventionell, das heißt ohne Laserbearbeitung, gehärtet wird und die Konstruktion darauf ausgelegt ist, einen Oberflächenbereich mit im wesentlichen konstanter Härte zu erreichen.

[0048] Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung sind Gegenstand der nachfolgenden Beschreibung sowie der zeichnerischen Darstellung einiger Ausführungsbeispiele.

[0049] In der Zeichnung zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines ersten Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens;

Fig. 2 eine Darstellung aufeinanderfolgender La-

serpulse über einer Zeitachse;
eine Draufsicht auf das Werkstück in Richtung des Pfeils A in Fig. 1;

Fig. 4 eine schematische Darstellung eines Härteverlaufs in einer Querrichtung eines Teilbereichs;

Fig. 5 einen senkrecht zum Oberflächenbereich verlaufenden Schnitt durch das Gefüge im Bereich eines gehärteten Teilbereichs;

Fig. 6 eine Darstellung des Härteverlaufs ähnlich Fig. 4 bei einem zweiten Ausführungsbeispiel;

Fig. 7 eine schematische Darstellung eines senkrecht zum Oberflächenbereich verlaufenden Schnitts ähnlich Fig. 5 beim zweiten Ausführungsbeispiel;

Fig. 8 eine Draufsicht ähnlich Fig. 3 auf die nebeneinanderliegenden Teilflächenbereiche des zweiten Ausführungsbeispiels;

Fig. 9 eine Darstellung ähnlich Fig. 8 auf ein viertes Ausführungsbeispiel;

Fig. 10 eine schematische Darstellung ähnlich Fig. 1 des Verfahrens gemäß dem vierten Ausführungsbeispiel;

Fig. 11 eine Darstellung des Härteverlaufs ähnlich Fig. 4 bei einem vierten Ausführungsbeispiel;

Fig. 12 eine Darstellung ähnlich Fig. 3 der Lage der Teilbereiche beim vierten Ausführungsbeispiel;

Fig. 13 eine Darstellung der Lage der Teilbereiche ähnlich Fig. 12 bei einem fünften Ausführungsbeispiel und

Fig. 14 eine Darstellung der Lage der Teilbereiche ähnlich Fig. 3 bei einem sechsten Ausführungsbeispiel.

[0050] Bei einem ersten Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Verfahrens wird ein Werkstück 10 um eine Achse 12, beispielsweise eine Spindelachse einer Drehmaschine gedreht, um eine Relativbewegung zwischen einem Oberflächenbereich 20 des Werkstücks 10 und einem Laserstrahl 30 zu erhalten, welcher auf den Oberflächenbereich 20 auftrifft.

[0051] Der Laserstrahl 30 ist dabei auf den Oberflächenbereich 20 fokussiert, so daß beim Auftreffen desselben auf dem Oberflächenbereich 20 eine Wechselwirkung zwischen dem Laserstrahl 30 und dem Oberflächenbereich 20 innerhalb eines Fokusbereichs 32 erfolgt, in welchem das Material des Werkstücks 10 unmittelbar durch Wechselwirkung mit dem Laserstrahl 30 aufgeheizt wird.

[0052] Ferner ist der Laserstrahl 30, wie in Fig. 2 dargestellt, ein gepulster Laserstrahl, bei welchem einzelne Laserpulse P sich in einem zeitlichen Pulsabstand PA

wiederholen und dabei eine Pulsdauer PD aufweisen, während welcher in dem Fokusbereich 32 eine unmittelbare Wechselwirkung zwischen dem Laserstrahl 30 und dem Material des Werkstücks 10 erfolgt.

[0053] Wird nun, wie in Fig. 1 und 3 dargestellt, das Werkstück 20 in einer Drehrichtung 14 um die Achse 12 gedreht, so führt das Pulsen des Laserstrahls 30 dazu, daß über eine dem Fokusbereich 32 ungefähr entsprechende Einkopplungsfläche 34 innerhalb eines Teilbereichs 22 des Oberflächenbereichs 20 aufgrund unmittelbarer Wechselwirkung mit dem Laserstrahl 30 ein Aufheizen des Gefüges des Werkstücks 10 auftritt, wobei innerhalb des Teilbereichs 22, beispielsweise des Teilbereichs 22₁, ein Überschreiten der Austenitisierungstemperatur auftritt und somit durch nachfolgendes Abschrecken ein gehärteter Bereich entsteht.

[0054] Wie in Fig. 3, 4 und 5 dargestellt, weist jeder Teilbereich, beispielsweise der Teilbereich 22₁ eine Ausdehnung AL in der Drehrichtung 14 und eine Ausdehnung AQ in einer quer zur Drehrichtung 14 verlaufenden Querrichtung 16 auf, die größer sind als der Fokusbereich 32 und die diesem entsprechende Einkopplungsfläche 34. Dies liegt daran, daß zwar innerhalb der Einkopplungsfläche 34 eine unmittelbare Wechselwirkung zwischen dem Gefüge des Werkstücks 10 und dem Laserstrahl 30 erfolgt, diese unmittelbare Wechselwirkung aber durch Wärmeleitung zu einer Aufheizung des umgebenden Gefüges führt, so daß auch das die Einkopplungsfläche 34 unmittelbar umgebende Gefüge über die Austenitisierungstemperatur aufgeheizt wird und somit durch nachfolgendes Abschrecken gehärtet wird.

[0055] Beispielsweise erfolgt, wie in Fig. 4 dargestellt, aufgrund der Aufheizung des Gefüges durch direkte Wechselwirkung mit dem Laserstrahl 30 im Bereich der dem Fokusbereich 32 entsprechenden Einkopplungsfläche 34 eine Wärmeleitung in der Querrichtung 16, so daß der letztlich über Austenitisierungstemperatur aufgeheizte und anschließend wieder abgekühlte Teilbereich 22 eine Ausdehnung AQ aufweist, welche beispielsweise das Doppelte der Ausdehnung der Einkopplungsfläche 34 in der Querrichtung 16 beträgt.

[0056] Darüber hinaus erfolgt auch eine Wärmeleitung in das Werkstück 10 hinein, so daß ein sich an den Teilbereich 22 anschließendes und sich in das Werkstück 10 hinein erstreckendes Härtevolumen 24 entsteht, welches beispielsweise von dem Oberflächenbereich 20 ausgehend eine Ausdehnung AT in die Tiefe des Werkstücks hinein aufweist, welche im Bereich von ungefähr 30% bis ungefähr 100% der Ausdehnung der Einkopplungsfläche 34 in der Querrichtung 16 liegt.

[0057] Erfolgt keine Drehung des Werkstücks 10 um die Achse 12, so beträgt die Ausdehnung AL des Teilbereichs 22 in Drehrichtung 14 ebenfalls ungefähr 30% bis ungefähr 100% der Ausdehnung der Einkopplungsfläche 34 in der Drehrichtung 14.

[0058] Dreht sich das Werkstück 10 um die Achse 12 in Drehrichtung 14, so ist eine Ausdehnung AL der je-

weiligen Teilbereiche 22, beispielsweise des Teilbereichs 22₁, einerseits dadurch bedingt, daß sich das Werkstück 10 relativ zum Laserstrahl 30 in der Drehrichtung 14 bewegt und somit der Fokusbereich 32 auf dem Oberflächenbereich 20 wandert. Darüber hinaus ist noch die Wärmeleitung zu berücksichtigen, woraus eine Ausdehnung AL resultiert, welche beispielsweise einem Vielfachen der Ausdehnung des Fokusbereichs 32 in der Drehrichtung 14 entsprechen kann.

[0059] Dabei ist allerdings zu beachten, daß bei fortlaufender Drehung durch eine bestimmte Einkopplungsfläche 34 des jeweiligen Teilbereichs 22 über eine Aufheizdauer im Bereich von ungefähr 0,01 Sek bis ungefähr 2 Sek Energie zum Härten eingekoppelt werden muß, um mit der erfindungsgemäßen Qualität zu Härten.

[0060] Dies kann entweder dadurch erfolgen, daß der Fokusbereich 32 während der Aufheizdauer deckungsgleich zur Einkopplungsfläche 34 stehen bleibt, oder dadurch, daß der Fokusbereich 32 über die Einkopplungsfläche 34 langsam hinweg wandert, so daß die Aufheizdauer ebenfalls erreicht wird.

[0061] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren entsteht ferner am Rand des Härtevolumens 24 und somit am Rand des jeweiligen Teilbereichs 22 ein Randbereich 26, in welchem ein Temperaturgradient zum umgebenden Gefüge eintritt, der größer als 500°/mm ist. Beispielsweise erstreckt sich der Randbereich 26 jeweils quer zu einer Randfläche 28 des Härtevolumens 24 über eine Distanz RB, welche ungefähr 1 bis 10% der Ausdehnung des Härtevolumens 24 in der jeweiligen Richtung beträgt.

[0062] In diesem Randbereich 26 fällt die Härte näherungsweise linear ab.

[0063] Besondere Vorteile ergeben sich bei dem ersten Ausführungsbeispiel dann, wenn die Flächenausdehnung des Fokusbereichs 32 minimiert wird, beispielsweise auf eine Ausdehnung AQ, AL von weniger als ungefähr 1mm. Besonders vorteilhafte Ergebnisse lassen sich dann erreichen, wenn die Ausdehnungen AQ, AL noch kleiner werden, beispielsweise in den Bereich von kleiner 100 µm kommen.

[0064] Insbesondere bei Minimierung des Fokusbereichs 32 auf derart geringe Dimensionen lassen sich in den Randbereich 26 die gewünschten hohen Temperaturgradienten von größer als 500°/mm erreichen.

[0065] Üblicherweise beträgt die Laserleistung bei dem ersten Ausführungsbeispiel mehr als 10⁴W/cm² und kann beispielsweise reichen bis zu Werten von 10⁶W/cm².

[0066] Die Abschreckung des jeweils über die Austenitisierungstemperatur aufgeheizten Gefüges innerhalb des Härtevolumens und die damit verbundene Bildung von Martensit erfolgt vorzugsweise durch Selbstabschreckung, das heißt durch Wärmeentzug durch das das Härtevolumen 24 umgebende Gefüge des Werkstücks 10. Die Selbstabschreckung ist insoweit vorteilhaft, als damit die Notwendigkeit entfällt, zusätzliche

Maßnahmen zur Abschreckung des Gefüges zu treffen.

[0067] Durch die im Pulsabstand PA aufeinander folgenden Pulse P des Laserstrahls 30 lassen sich, wie in Fig. 3 dargestellt, durch einfache Rotation des Werkstücks 10 um die Achse 12 entgegengesetzt zur Drehrichtung 14 aufeinanderfolgende Teilbereiche 22₁, 22₂, 22₃ aufheizen, wobei diese Teilbereiche Abstände AB voneinander aufweisen, die durch die Geschwindigkeit bedingt sind, mit welcher sich der Oberflächenbereich 20 relativ zum Laserstrahl 30 bewegt und durch den Pulsabstand PA.

[0068] Die Abstände AB können beispielsweise ein Vielfaches der Ausdehnung der Teilbereiche 22 betragen, sie können jedoch aber auch in der Größenordnung von Bruchteilen der Teilbereiche 22 liegen, beispielsweise in der Größenordnung der Distanz RB, über welche sich der Randbereich 26 erstreckt.

[0069] Abstände AB in der Größenordnung von einem Vielfachen der Ausdehnung der Teilbereiche 22 in Richtung des Abstands AB werden beispielsweise dann eingesetzt, wenn eine geringe Flächenbelastung des Oberflächenbereichs 20 vorgesehen ist, so daß in einem weitmaschigen Raster angeordnete gehärtete Inseln in Form der Teilbereiche 22 ausreichend sind, um der Oberflächenbelastung Stand zu halten.

[0070] Ist jedoch die Oberflächenbelastung groß, so werden die Teilbereiche 22 möglichst dicht nebeneinander gesetzt.

[0071] Wie beispielsweise in Fig. 6 und 7 dargestellt, werden die Teilbereiche 22 derart dicht nebeneinander gesetzt, daß der Abstand AB, beispielsweise in der Querrichtung 16 so klein ist, daß sich die Randbereiche 26 um die einzelnen Teilbereiche 24 miteinander überlappen, so daß beispielsweise der Abstand AB in der Größenordnung der Ausdehnung der Randbereiche 26 liegt.

[0072] Da jedoch die Randbereiche 26 insbesondere aufgrund der Minimierung der Ausdehnung des Fokusbereichs 32 ungefähr 1 bis 10% der Ausdehnung der Teilbereiche 22 in der jeweiligen Richtung betragen, lassen sich die Teilbereiche 22 problemlos mit Abständen AB, beispielsweise in der Querrichtung 16 anordnen, die in der Größenordnung zwischen ungefähr 2 und ungefähr 20% der Ausdehnung der Teilbereiche 22 in der jeweiligen Richtung 16 liegen, das heißt, daß sich die Randbereiche 26 berühren oder teilweise überlappen, ohne daß sich negative Einflüsse beim Härten des einen Teilbereichs auf den bereits gehärteten benachbarten Teilbereich 22 ergeben, insbesondere ergibt sich dabei kein Anlassen des benachbarten Teilbereichs 22, das bekannterweise zu einer Verringerung der Härte des bereits gehärteten Gefüges führt.

[0073] Mit dieser Lösung lassen sich gehärtete Oberflächenbereiche 20 erreichen, deren Härte H jeweils zwischen den Teilbereichen 22 Einbrüche E zeigt, die maximal bis 50%, noch besser bis zu 30%, des Mittelwertes M der Härte H innerhalb der Teilbereiche 22 betragen, so daß insgesamt im Oberflächenbereich 20 in

allen Richtungen eine näherungsweise gleichmäßig gehärtete Fläche vorliegt.

[0074] Wie in Fig. 8 dargestellt, weisen die einzelnen Teilbereiche 22_{N+X-1} und 22_{N+X} in der Drehrichtung 14 einen Abstand auf, der ungefähr in der Größenordnung der Ausdehnung AL der Teilbereiche 22 in dieser Richtung liegt, allerdings ergibt sich jedoch aufgrund der Anordnung der Teilbereiche in Form einer hexagonalen Struktur ein Abstand AS, in Richtung schräg zur Querrichtung 16 und zur Drehrichtung 14, der wiederum in der Größenordnung des Abstands AB in Querrichtung 16 ist, so daß unmittelbar benachbarte Teilbereiche, wie beispielsweise die Teilbereiche 22_{N+Y} und 22_{N+X} jeweils als minimalen Abstand einen Abstand in der Größenordnung von AB oder AS zwischen sich aufweisen.

[0075] Bei einem dritten Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Verfahrens wird, wie in Fig. 9 dargestellt, zur Optimierung der Selbstabschreckung bei dem Aufheizen der Teilbereiche 22 so vorgegangen, daß unmittelbar nebeneinanderliegende Teilbereiche 22 nicht unmittelbar aufeinanderfolgend gehärtet werden.

[0076] Wird beispielsweise mit einem Puls P der Teilbereich 22₁ aufgeheizt, so wird nachfolgend mit dem nächsten Puls P beispielsweise der Teilbereich 22₂ aufgeheizt, welcher einen Abstand vom Teilbereich 22₁ aufweist, der mindestens der dreifachen Ausdehnung des Teilbereichs 22₁ in einer Abstandsrichtung 40 entspricht, so daß die Selbstabschreckung des Teilbereichs 22₁ nicht dadurch reduziert wird, daß bereits in unmittelbarer Nähe wieder ein Teilbereich 22 aufgeheizt wird, der ebenfalls dem Gesamtgefüge des Werkstücks 10 in unmittelbarer Nähe des Teilbereichs 22₁ Wärme zuführt.

[0077] Um diese Aufheizung zu optimieren, ist beispielsweise vorgesehen, daß in unmittelbarer Nähe des Teilbereichs 22₁ erst nach Aufheizen von insgesamt neun anderen, entfernt vom Teilbereich 22₁ liegenden Teilbereichen 22 wieder ein Teilbereich aufgeheizt wird, beispielsweise der Teilbereich 22₁₀.

[0078] Danach erfolgt wieder ein Aufheizen von beispielsweise neun weiteren, weiter entfernt liegenden Teilbereichen 22, bis der Teilbereich 22₂₀ aufgeheizt wird, der wieder unmittelbar neben dem Teilbereich 22₁ liegt.

[0079] Schließlich erfolgt wiederum ein Aufheizen von insgesamt neun weiteren Teilbereichen 22, bis ein Aufheizen des Teilbereichs 22₃₀ erfolgt.

[0080] Damit läßt sich die Selbstabschreckung jedes der Teilbereiche 22 optimieren, da die Erwärmung des Gefüges durch Selbstabschreckung eines unmittelbar benachbarten Teilbereichs 22 bei der Selbstabschreckung des jeweiligen Teilbereichs 22 vernachlässigt werden kann.

[0081] Um bei dem dritten Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens eine schnelle Bewegung des Laserstrahls 30 relativ zum Werkstück 10 zu erhalten, wäre es beispielsweise denkbar, das Werk-

stück 10 NC-gesteuert zu bewegen, den Laserstrahl 30 jedoch stationär stehen zu lassen. Eine derart schnelle Bewegung des Werkstücks 10 ist jedoch aufwendig, so daß zumindest ergänzend zur Drehung des Werkstücks 10 in Drehrichtung 14 noch zusätzlich eine Ablenkeinrichtung 50 vorgesehen ist, mit welcher sich der Laserstrahl 30 schnell in unterschiedliche Richtungen ablenken läßt, so daß damit in einfacher Weise ein sogenannter Hin- und Herspringen des Laserstrahls 30 realisierbar ist, um zu vermeiden, daß unmittelbar benachbarte Teilbereiche 22 auch unmittelbar aufeinanderfolgend aufgeheizt werden.

[0082] Bei einem vierten Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Verfahrens, dargestellt in Fig. 11 und Fig. 12 werden die Teilbereiche 22 derart nahe beieinander angeordnet, daß deren Randbereiche 26 im wesentlichen vollständig überlappen, so daß sich ein gemeinsamer Randbereich 26 ausbildet, in welchem die Härte H gegenüber dem Mittelwert M der Härte H in den Teilbereichen 22, beispielsweise den Teilbereichen 22₁ und 22₂₀, reduziert ist. Die Reduzierung der Härte H beträgt jedoch im Bereich der Einbrüche E maximal 30%, noch besser maximal 20% und ist insbesondere auch wesentlich geringer als bei allen übrigen, aus dem Stand der Technik bekannten Verfahren, aufgrund des großen Temperaturgradienten von mehr als 500°/mm, so daß, makroskopisch betrachtet, der sich aus den Teilbereichen 22 zusammensetzende Oberflächenbereich 20 im wesentlichen flächig gehärtet erscheint, da die geringen Einbrüche E der Härte im gemeinsamen Randbereich zwischen den Teilbereichen 22 im Hinblick auf die Nutzung vernachlässigbar ist.

[0083] Üblicherweise beträgt ein Abstand AB zwischen den Teilbereichen 22 ungefähr 1/100 bis ungefähr 1/10 der Ausdehnung der Teilbereiche 22 in der jeweiligen Richtung, also beispielsweise beträgt der Abstand AB größenordnungsmäßig 1/100 oder bis 1/10 der Ausdehnung AQ.

[0084] Im Falle der Anordnung der Teilbereiche 22 derart, daß sich deren Randbereiche 26 überlappen, besteht immer noch in dem Zwischenraum zwischen drei aneinandergrenzenden Teilbereichen 22, beispielsweise den Teilbereichen 22₁, 22₂₀ und 22₃₀, ein nicht gehärteter ungefähr dreieckförmiger Bereich.

[0085] Um derartige nicht gehärtete Bereiche zu vermeiden, kann man, wie bei einem fünften Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 13 dargestellt, die Teilbereiche 22 überlappend anordnen, so daß die ungehärteten Bereiche zwischen jeweils drei aneinandergrenzenden Teilbereichen 22 vermieden werden. Dieses überlappende Anordnen der Teilbereiche, beispielsweise der Teilbereiche 22₁, 22₂₀ und 22₃₀ hat lediglich den Nachteil, daß jeweils um den zuletzt gesetzten Teilbereich 22 herum noch ein angelassener Bereich entsteht.

[0086] Da jedoch der Temperaturgradient 26 der Teilbereiche 22 so groß ist, beispielsweise größer als 500°/mm, ist der durch Anlassen in seiner Härte reduzierte Flächenanteil weitaus geringer wie bei den aus dem

Stand der Technik bekannten Verfahren, so daß sich beim überlappenden Anordnen der Teilbereiche 22 eine im wesentlichen gleichmäßige Härte über die Fläche ergibt, insbesondere wenn diese makroskopisch betrachtet wird, und außerdem sind die Härteeinbrüche E in den Randbereichen 26 aufgrund des Anlassens geringer als bei den bislang bekannten Verfahren, so daß sie weit weniger ins Gewicht fallen.

[0087] Bei einem sechsten Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Verfahrens, dargestellt in Fig. 14 wird mit unterschiedlichen Arten von Teilbereichen gearbeitet.

[0088] Die Teilbereiche 22_s stellen sogenannte Härtespuren dar, die sich über eine große Länge, die im Prinzip ein beliebiges Vielfaches der Ausdehnung der Einkopplungsfläche 34 betragen kann, über den Oberflächenbereich 20 erstrecken. Um den großen Wärmeinput, der beim Herstellen der Teilbereiche 22_s durch Selbstabschreckung entsteht, ohne Nachteile tolerieren zu können, werden die Teilbereiche 22_s mit einem Abstand voneinander und nacheinander erzeugt, der mindestens zwei AQ beträgt, noch besser einem Abstand, der wie im Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 14 dargestellt, mindestens ungefähr 3 AQ beträgt.

[0089] Darüber hinaus wird zum Härten des Oberflächenbereichs 20 zwischen den Teilbereichen 22_s in der bereits beschriebenen Weise vorgegangen, nämlich dadurch, daß das Härten des Oberflächenbereichs 20 zwischen den Teilbereichen 22_s durch Teilbereiche 22₁, 22₁₀ etc. erfolgt, die in allen Richtungen eine Erstreckung haben, die maximal der dreifachen Ausdehnung der Einkopplungsfläche 34 in dieser Richtung entspricht, vorzugsweise maximal der doppelten Ausdehnung der Einkopplungsfläche 34 in dieser Richtung.

[0090] Ferner werden die Teilbereiche 22₁, 22₁₀ etc. in gleicher Weise erzeugt, wie beim dritten, vierten oder fünften Ausführungsbeispiel, so daß Anlaßeffekte beim Überlappen zwischen den Teilbereichen 22₁ und 22₁₀ sowie den Teilbereichen 22₁ und 22_{s1} vernachlässigbar sind und somit auch im Überlappungsbereich die Härteeinbrüche geringer sind als ungefähr 20% der mittleren Härte in den jeweiligen Teilbereichen 22.

45 Patentansprüche

1. Verfahren zum Härten eines Oberflächenbereichs eines Werkstücks, bei welchem nacheinander Teilbereiche des Oberflächenbereichs mittels eines gepulsten Laserstrahls durch Aufheizen und Abschrecken des Gefüges erzeugt werden, wobei jeder Teilbereich durch eine zusammenhängende Oberfläche eines ungefähr dieselbe Härte aufweisenden Gefüges gebildet ist,

dadurch gekennzeichnet, daß der Laserstrahl auf den Teilbereich (22) so einwirkt, daß mit dem Laserstrahl (30) über eine dem Fokusbereich (32) entsprechende Kopplungsfläche (34) während einer

Aufheizdauer im Bereich von ungefähr 0,01 Sek. bis ungefähr 2 Sek. Energie zum Härten des Gefüges eingekoppelt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Laserstrahl (30) während der Aufheizdauer mit maximal fünf Laserpulsen über die Einkopplungsfläche (34) einwirkt. 5
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Laserstrahl (30) während der gesamten Aufheizdauer mit einem einzigen Laserpuls über die Einkopplungsfläche (34) einwirkt. 10
4. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Laserstrahl (30) eine Wellenlänge im Bereich zwischen 500 und 1100 nm aufweist. 15
5. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Laserstrahl (30) von einem Halbleiterlaser erzeugt wird. 20
6. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** unmittelbar nebeneinander liegende Teilbereiche (22) in einem Zeitabstand aufgeheizt werden, während dessen mindestens zwei weiter entfernt liegende Teilbereiche (22) aufgeheizt werden. 25
7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, daß** zwei unmittelbar nebeneinander liegende Teilbereiche (22) in einem zeitlichen Abstand voneinander aufgeheizt werden, während dessen mindestens fünf weitere Teilbereiche (22) aufgeheizt werden. 30
8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, daß** zwei unmittelbar nebeneinander liegende Teilbereiche (22) in einem Zeitabstand aufgeheizt werden, während dessen mindestens zehn weitere Teilbereiche (22) aufgeheizt werden. 35
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, daß** die weiteren Teilbereiche (22) in einem Abstand von den unmittelbar nebeneinander liegenden Teilbereichen (22) angeordnet sind, der mindestens einem fünffachen der Ausdehnung des ersten der unmittelbar nebeneinanderliegenden Teilbereiche (22) in der Abstandsrichtung (40) entspricht. 40
10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, daß** die weiteren Teilbereiche (22) von den unmittelbar nebeneinander liegenden Teilbereichen (22) einen Abstand aufweisen, der mindestens einem zehnfachen der Ausdehnung des ersten der unmittelbar nebeneinanderliegenden der 45

Teilbereiche (22) in Abstandsrichtung (40) entspricht.

11. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Aufheizen durch die Laserstrahlung (30) am Rand jedes über die Austenitisierungstemperatur aufgeheizten Teilbereichs (22) zu einem Temperaturgradient von größer als 500°/mm führt.
12. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Abkühlen jedes Teilbereichs (22) durch Selbstabschreckung erfolgt.
13. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** jeder Teilbereich (22) eine Flächenausdehnung aufweist, welche in jeder Richtung (14, 16) maximal einer fünffachen Ausdehnung der Einkopplungsfläche (34) innerhalb des jeweiligen Teilbereichs entspricht.
14. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Flächenausdehnung jedes Teilbereichs (22) im wesentlichen des maximalen der zweifachen Flächenausdehnung der Einkopplungsfläche innerhalb des Teilbereichs (22) entspricht.
15. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** zumindest ein Teil der Teilbereiche (22) in unterschiedlichen Richtungen (14, 16) Flächenausdehnungen aufweist, die sich maximal um einen Faktor 3 unterscheiden.
16. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** sich jeder Teilbereich (22) in jeder Richtung des Oberflächenbereichs (20) bis maximal 10 mm ausdehnt.
17. Verfahren nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet, daß** sich jeder Teilbereich (22) in jeder Richtung bis maximal 5 mm ausdehnt.
18. Verfahren nach Anspruch 17, **dadurch gekennzeichnet, daß** sich jeder Teilbereich in jeder Richtung bis maximal 2 mm ausdehnt.
19. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** das Gefüge in jedem Teilbereich (22) eine Einhärtetiefe (AT) aufweist, die in der Größenordnung der maximalen Ausdehnung des Teilbereichs (22) in einer der Richtungen (14, 16) der Flächenausdehnung liegt.
20. Verfahren nach Anspruch 19, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Einhärtetiefe (AT) höchstens der maximalen Ausdehnung des jeweiligen Teilbe-

reichs (22) in einer der Richtungen (14, 16) der Flächenausdehnung entspricht.

21. Verfahren nach Anspruch 20, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Einhärtetiefe (AT) maximal 50% der maximalen Ausdehnung des Teilbereichs (22) in einer der Richtungen (14, 16) der Flächenausdehnung entspricht. 5
22. Verfahren nach einem der Ansprüche 20 bis 21, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Einhärtetiefe mindestens 20% der maximalen Ausdehnung des Teilbereichs (22) in einer der Richtungen (14, 16) entspricht. 10
23. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Intensität des Laserpulses mindestens 10^4 Watt/cm² entspricht. 15
24. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Intensität des Laserpulses kleiner 10^6 Watt/cm² ist. 20
25. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** unmittelbar nebeneinander liegende Teilbereiche (22) einen Abstand voneinander aufweisen. 25
26. Verfahren nach Anspruch 25, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Abstand unmittelbar nebeneinander liegender Teilbereiche (22) mindestens 1/10 der Ausdehnung der Teilbereiche (22) in Abstandsrichtung entspricht. 30
27. Verfahren nach Anspruch 26, **dadurch gekennzeichnet, daß** der Abstand unmittelbar nebeneinander liegender Teilbereiche (22) mindestens der Hälfte der Ausdehnung der Teilbereiche (22) in Abstandsrichtung entspricht. 35
28. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** unmittelbar nebeneinander liegende Teilbereiche (22) einen Abstand voneinander aufweise, der weniger als 1/10 der Ausdehnung der Teilbereiche (22) in Abstandsrichtung beträgt. 40
29. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 24, **dadurch gekennzeichnet, daß** unmittelbar nebeneinander liegende Teilbereiche (22) überlappend angeordnet sind. 45
30. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** in jedem der Teilbereiche (22) ein außerhalb desselben liegender angelassener Bereich in einer radialen Richtung zu einem Mittelpunkt des Teilbereichs (22) ei-

ne Ausdehnung von weniger als 1/5 der Ausdehnung des Teilbereichs (22) in dieser Richtung aufweist.

31. Verfahren nach Anspruch 30, **dadurch gekennzeichnet, daß** der angelassene Bereich eine Ausdehnung von weniger als 1/10 aufweist. 5
32. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Teilbereiche (22) so dicht nebeneinander liegen, daß die Härte (H) des Gefüges zwischen den Teilbereichen (22) um maximal 50% gegenüber der Härte (H) des Gefüges innerhalb der Teilbereiche abfällt. 10
33. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Teilbereiche (22) sich zu einem Oberflächenbereich (20) mit näherungsweise im Mittel eine gleichmäßige Härte aufweisenden Gefüge ergänzen. 15

20

25

30

35

40

45

50

55

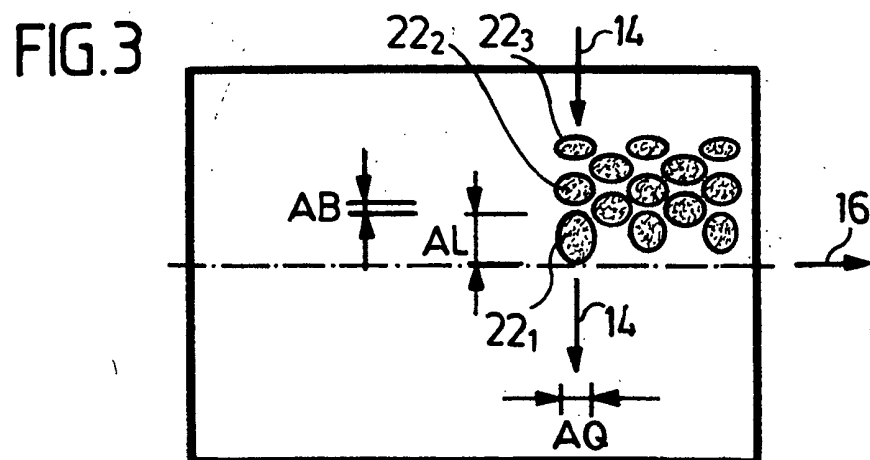
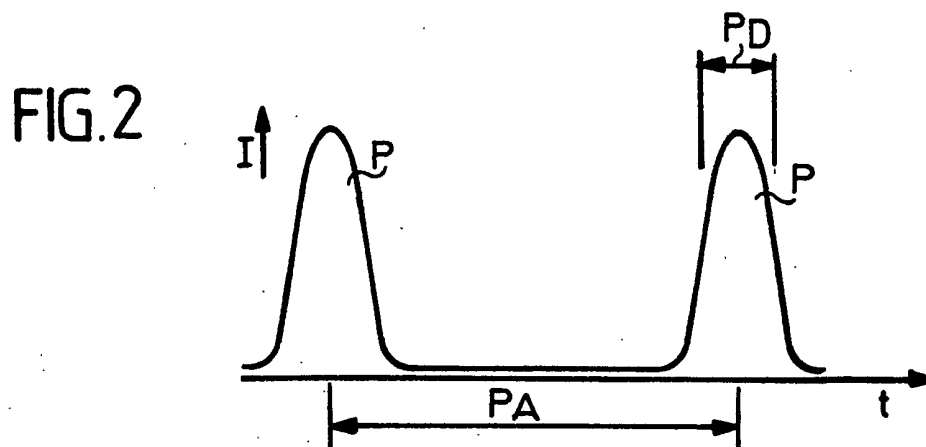
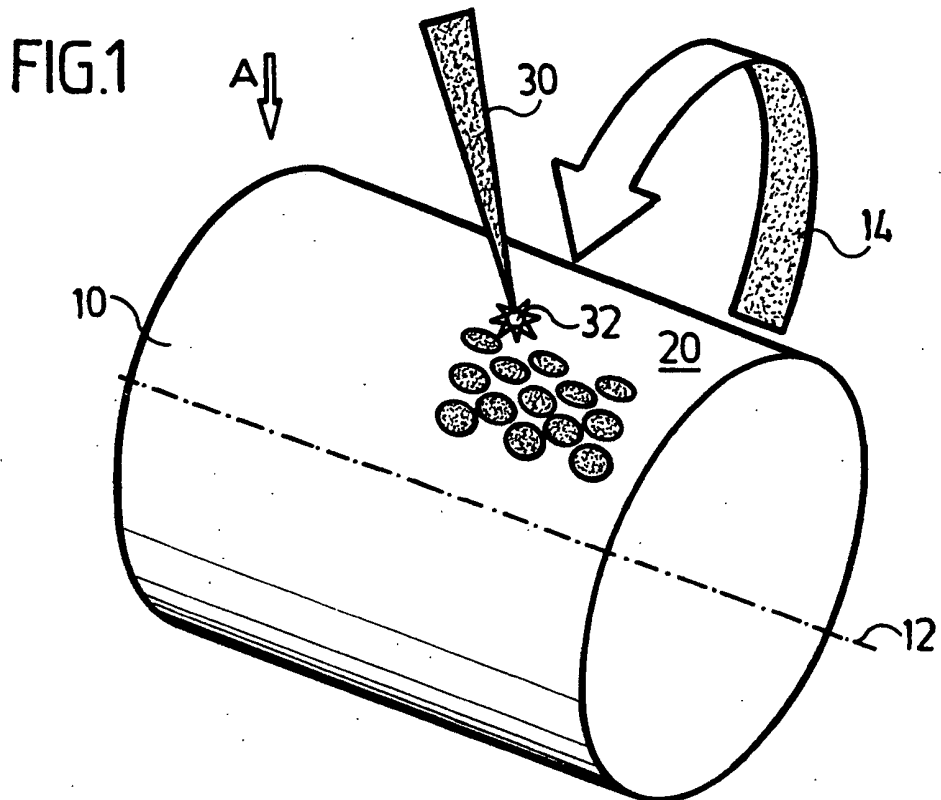


FIG.4

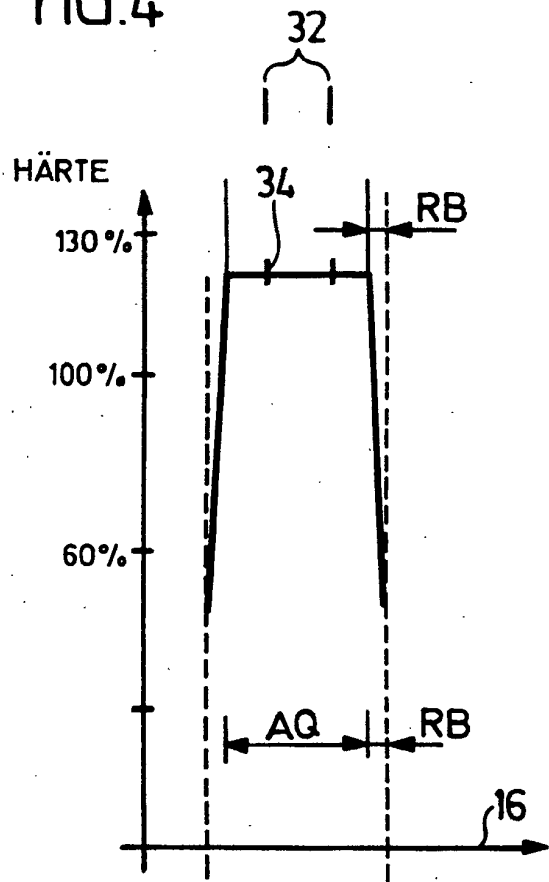


FIG.6

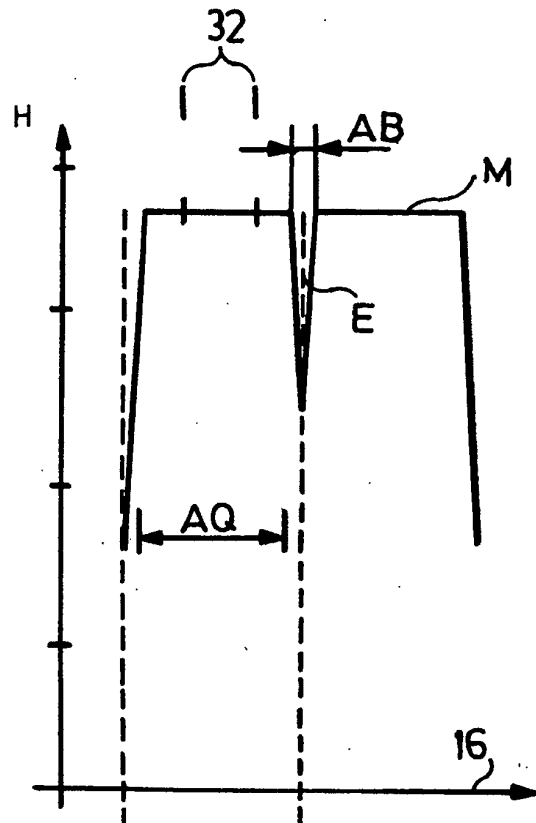


FIG.5

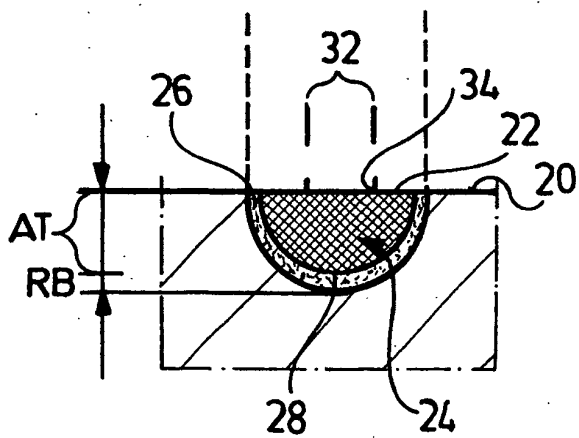


FIG.7

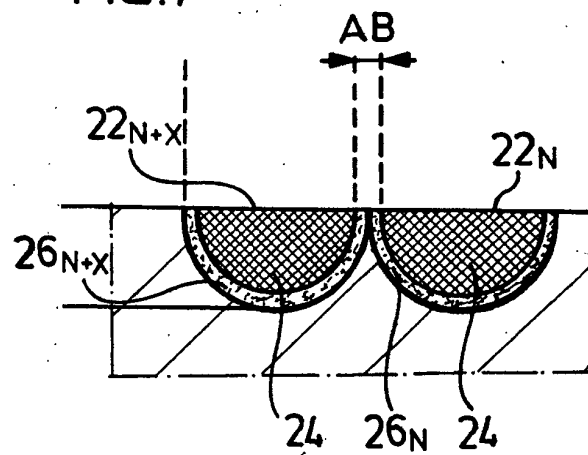


FIG. 8

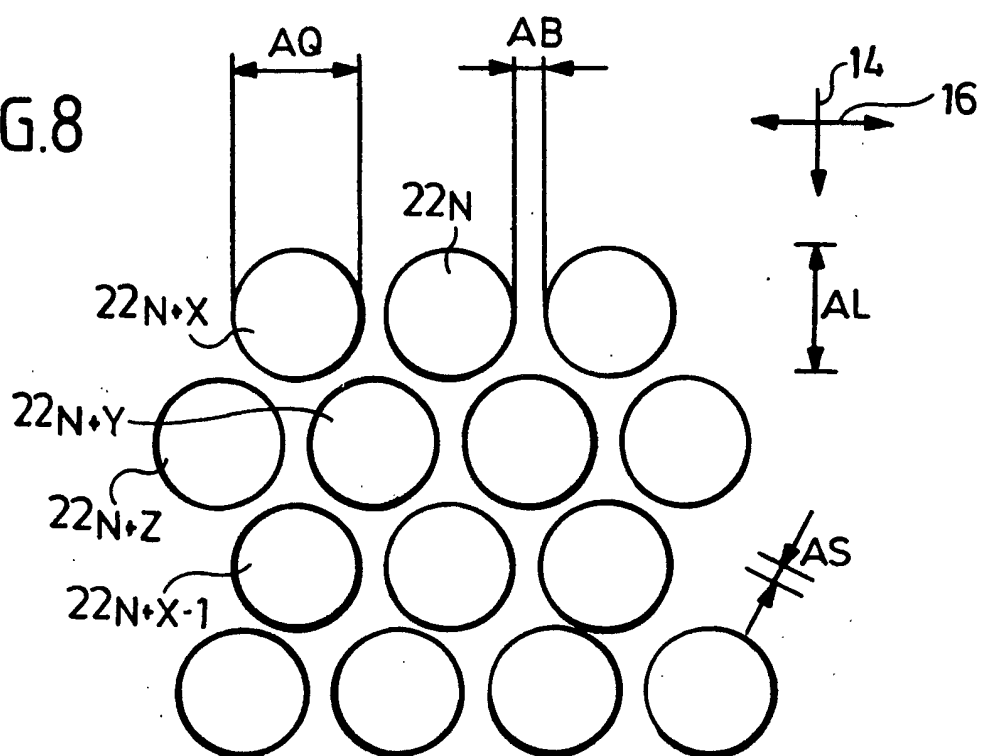


FIG. 9

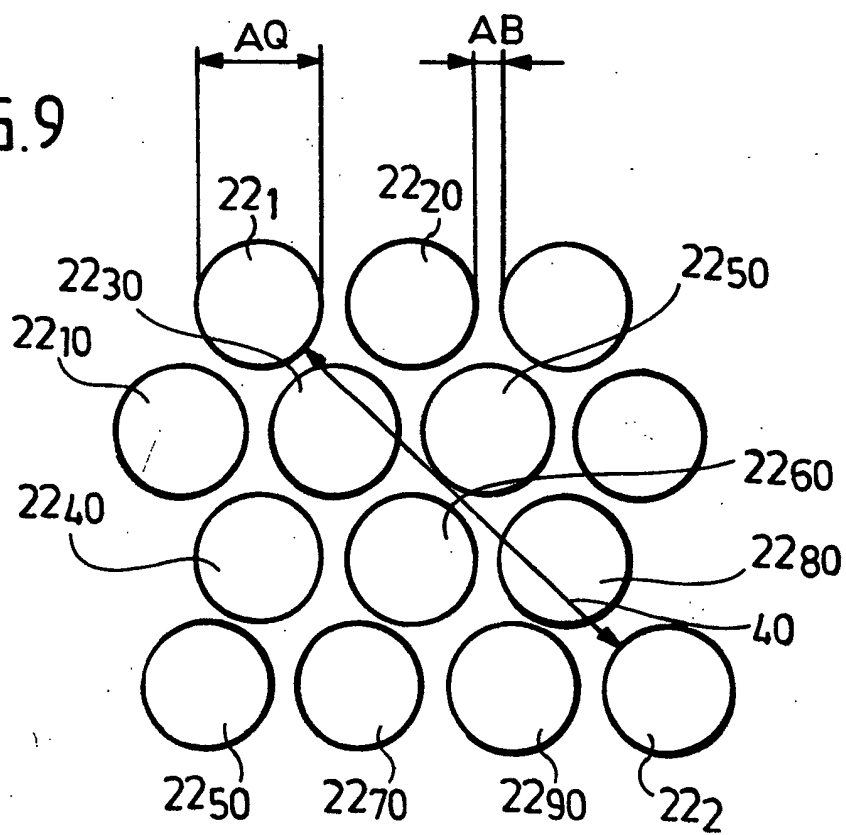


FIG.10

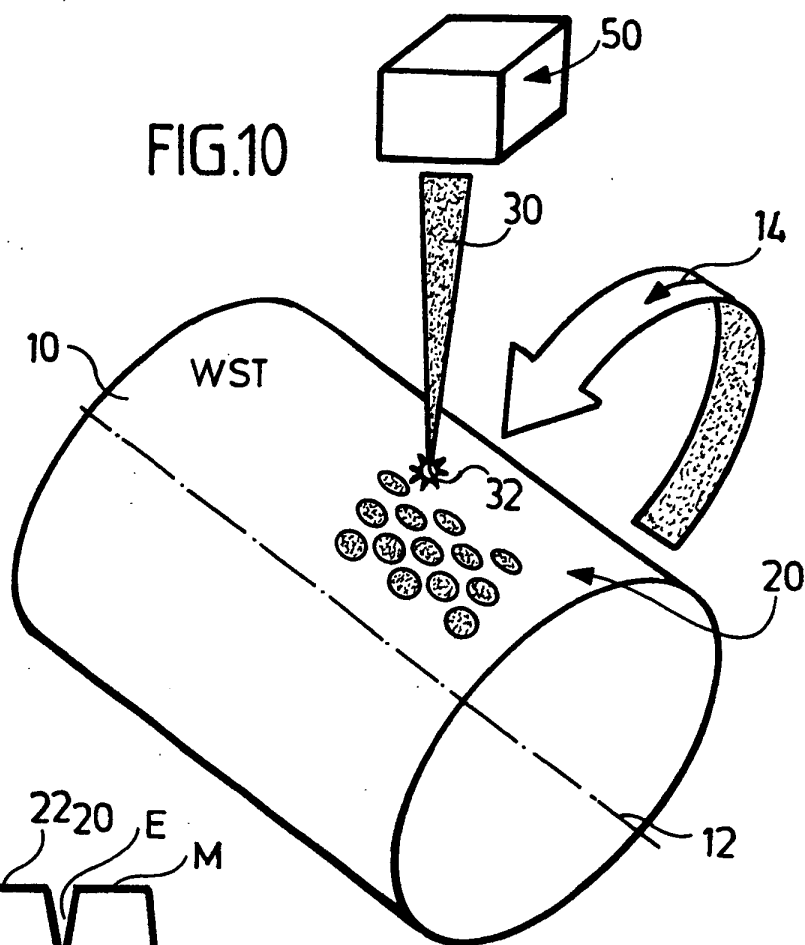


FIG.11

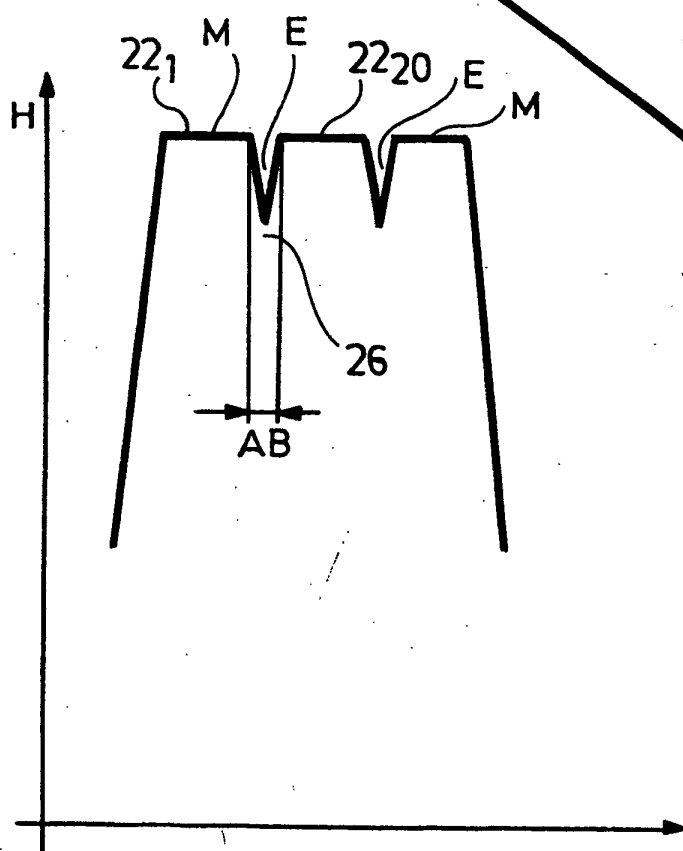


FIG.12

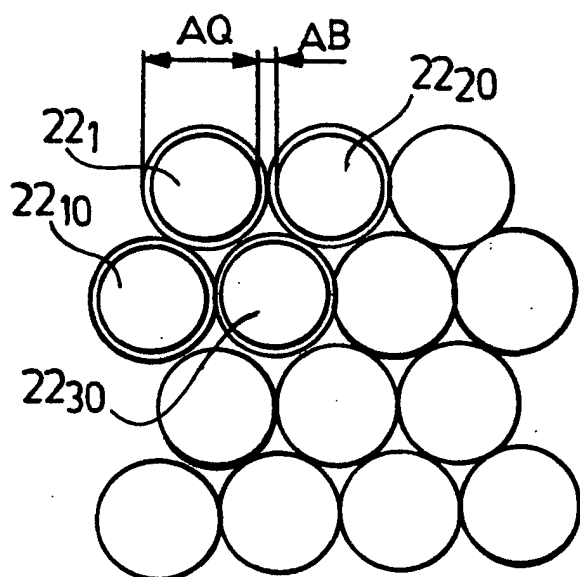


FIG.13

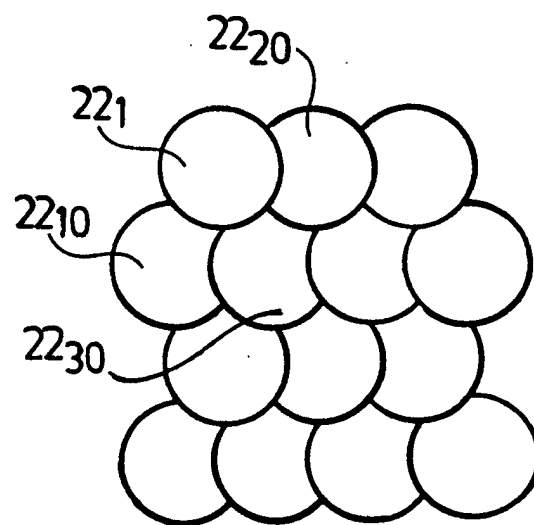
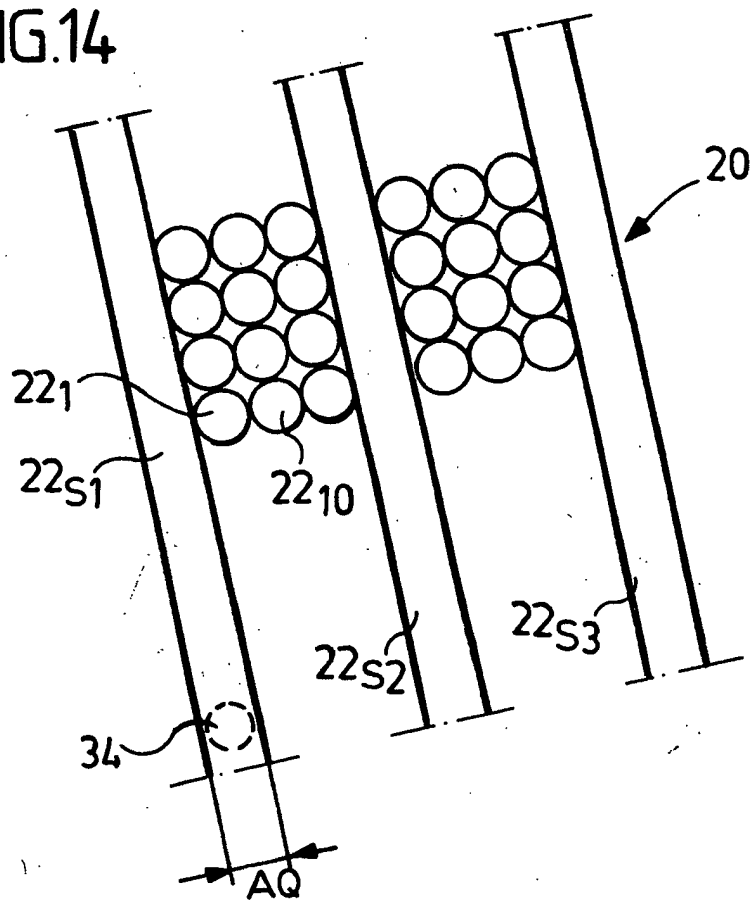


FIG.14





Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 02 00 8140

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
Y	DE 20 13 674 A (STEIGERWALD K) 14. Oktober 1971 (1971-10-14) * das ganze Dokument *	1-33	C21D1/09
D,Y	XUE L ET AL: "DOT MATRIX HARDENING OF STEELS USING A FIBER OPTIC COUPLED PULSED ND:YAG LASER" MATERIALS AND MANUFACTURING PROCESSES, MARCEL DEKKER, NEW YORK, NY, US, Bd. 1, Nr. 14, 1999, Seiten 53-65, XP008003192 ISSN: 1042-6914 * das ganze Dokument *	1-33	
A	DE 33 43 783 C (M.A.N.) 5. Juli 1984 (1984-07-05)		
A	DE 43 20 408 A (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG) 22. Dezember 1994 (1994-12-22)		
A	DE 196 26 008 A (MARCI GUENTER DR) 6. Februar 1997 (1997-02-06)		
A	WO 89 05707 A (KINSMAN GRANT ;DULEY WALTER WINSTON (CA); COHN RONALD D (US)) 29. Juni 1989 (1989-06-29)		
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7)
			C21D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 15. August 2002	Prüfer Mollet, G
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 anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03/92 (p04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 02 00 8140

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

15-08-2002

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
DE 2013674	A	14-10-1971	DE	2013674 A1	14-10-1971
DE 3343783	C	05-07-1984	DE	3343783 C1	05-07-1984
			DE	3470328 D1	11-05-1988
			EP	0144817 A2	19-06-1985
			ES	537972 D0	01-11-1985
			ES	8600784 A1	01-02-1986
			FI	844728 A ,B,	04-06-1985
			JP	1993705 C	22-11-1995
			JP	7002970 B	18-01-1995
			JP	60135527 A	18-07-1985
			US	4617070 A	14-10-1986
DE 4320408	A	22-12-1994	DE	4320408 A1	22-12-1994
DE 19626008	A	06-02-1997	DE	19626008 A1	06-02-1997
WO 8905707	A	29-06-1989	CA	1332373 A1	11-10-1994
			WO	8905707 A1	29-06-1989
			US	4972061 A	20-11-1990

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82