

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) Veröffentlichungsnummer: **0 507 131 A1**

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: **92104368.3**

(51) Int. Cl.⁵: **F01D 5/28, C21D 1/09, C21D 9/00**

(22) Anmeldetag: **13.03.92**

(30) Priorität: **30.03.91 DE 4110941**

W-8000 München 19(DE)

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
07.10.92 Patentblatt 92/41

(72) Erfinder: **Brenner, Berndt Dr.**
Räcknitzer Weg 1
O-8020 Dresden(DE)

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

Erfinder: **Storch, Wilfried Dr.**

Taufsteinweg 11

O-1110 Berlin(DE)

(71) Anmelder: **FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT**
ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN
FORSCHUNG E.V.
Leonrodstrasse 54

Erfinder: **Wiedemann, Günter Dr.-Ing.**

Luchbergstrasse 14

O-8036 Dresden(DE)

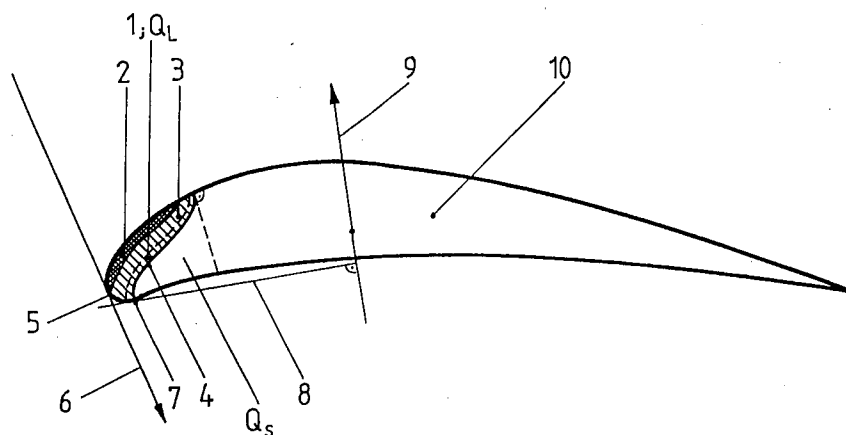
(54) **Tropfenschlagerosionsgeschützte Turbinenschaufel und Verfahren zu ihrer Herstellung.**

(57) Die Erfindung bezieht sich auf die Oberflächenhärtung von Maschinenbauteilen.

Das Ziel der Erfindung, eine vor Tropfenschlagerosion besser geschützte Turbinenschaufel anzugeben und herzustellen, wird erfindungsgemäß u.a. dadurch gelöst, daß bei der Turbinenschaufel, die in der Zeichnung dargestellt ist, die konstante Oberflächenhärte einer sehr harten Schicht (2) der Maximalhärte des jeweiligen Stahles entspricht, die Tiefe dieser sehr harten Schicht (2) 0,1 bis 0,9 mm beträgt, die Gesamteinhärtungstiefe 0,7 bis 3,5 mm

beträgt und die sehr harte Schicht (2) mindestens bis an den Ort (5) in der Nähe der Eintrittskante reicht, an dem die Auftreffrichtung (6) der schädlichsten Tropfengrößenfraktion parallel zur Tangente an die Oberfläche liegt. Diese Turbinenschaufel wird erfindungsgemäß mittels eines hochenergetischen Oberflächenhärteverfahrens hergestellt.

Eine hauptsächliche Verwendungsmöglichkeit der erfindungsgemäßen Lösung ist bei stark tropfenschlagbelasteten Endstufenlaufschaukeln von Dampfturbinen gegeben.



Figur 1

EP 0 507 131 A1

Die Erfindung bezieht sich auf die Oberflächenhärtung von Maschinenbauteilen. Objekte, bei denen ihre Anwendung möglich und zweckmäßig ist, sind alle tropfenschlag- oder kavitativ belasteten Maschinenbauteile aus martensitischen Chromstählen, die bei Einsatztemperaturen unterhalb von 250° C eingesetzt werden. Besonders vorteilhaft ist die Erfindung zum Schutz stark durch Tropfenschlag erosiv belasteter Endstufenlaufschaufeln von Dampfturbinen anwendbar.

Die Laufschaufeln von Dampfturbinen unterliegen während ihres Betriebes einem ständigen Aufprall von Wassertröpfchen, die zu einem vorzeitigen Verschleiß und damit zur Zerstörung der Schaufeln durch Tropfenschlagerosion führen.

In der Fachwelt ist allgemein bekannt, den Verschleißwiderstand von Schaufeln aus martensitischen Chromstählen durch flammengehärtete Eintrittskanten zu erhöhen (Lit. z.B. W. Küntscher, H. Kilger, H. Biegler "Technische Baustähle", Knapp-Verlag Halle 1952, S. 288 - 290).

Der Mangel solcherart gehärteten Schaufeln besteht darin, daß ihr Verschleißwiderstand zu gering ist. Die Ursache dafür resultiert daraus, daß die Oberflächenhärte mit 500 bis 550 HV zu niedrig ist. Das Verfahren des Flammenhärtens wird üblicherweise bei Austenitisierungstemperaturen von ca. 1000 bis 1100° C durchgeführt. Diese Austenitisierungstemperaturen führen bei den verfahrenstechnisch realisierbaren Austenitisierungszeiten nur zu einer relativ geringen Freisetzung von Kohlenstoff aus den (Fe, Cr)-Mischkarbiden. Der Mangel des Verfahrens besteht demzufolge in einer zu geringen Aufhärtung an der Oberfläche.

Höhere Austenitisierungstemperaturen verbieten sich wegen der bei den erreichbaren Austenitisierungszeiten noch während der Karbidauflösung einsetzenden Kornvergrößerung sowie der mit der Spitzentemperatur rasch zunehmenden Durchhärtung der Schaufeleintrittskante, die zu einem Zähigkeitsverlust der Schaufel und einer Verschlechterung des Eigenspannungszustandes an der Eintrittskante führt. Die Ursache des Mangels besteht deshalb in der zu geringen eintragbaren Leistungsdichte.

Nach CH-PS-564089 ist eine Turbinenschaufel mit induktiv gehärteter Eintrittskante bekannt. Entsprechend der mit dem Induktionshärten möglichen höheren Leistungsdichte sind ohne schädliche Folgen höhere Austenitisierungstemperaturen, jedoch noch im γ -Phasengebiet liegend, möglich. Solcherart gehärtete Eintrittskanten weisen dementsprechend höhere Oberflächenhärten auf. Nachteilig wirkt sich jedoch aus, daß diese höheren Härten von etwa 550 bis 670 HV nicht über die gesamte erosionsgefährdete Zone hinweg erzielt werden können. Der Mangel des Verfahrens besteht darin, daß die eingetragene Leistungsdichte nicht den lo-

kal unterschiedlichen Wärmeableitungsbedingungen angepaßt werden kann, wodurch die lokale Härtetemperatur nicht über die gesamte Breite der erosionsgefährdeten Zone im erforderlichen Maße konstant gehalten werden kann.

Die Ursache dafür besteht darin, daß der Induktor nur für jeweils eine Kontur der eintrittskantennahen Zonen optimal gestaltet werden kann, die Kontur sich jedoch über die Schaufelblattlänge stark ändert.

Weiterhin ist bekannt, Laser- oder Elektronenstrahlen zur Härtung der Eintrittskanten einzusetzen (z.B.: V. Bedogni; M. Cantello; W. Cerri; D. Cruciani; R. Festa; G. Mor; F. Nenci; F.P. Vivoli: "Laser and Electron Beam Surface Hardening of Turbine Blades", in: Proceedings of the International Conference. "Laser Advanced Materials Processing 87"; Osaka, May 1987, pp. 567 - 572). Obwohl über die gesamte Schaufelrückenseite konstante Härtewerte erzielbar sind, ist nachteilig, daß auch hiermit keine höheren Härten als 500 - 580 HVo,1 an Proben (Material X22 CrMoV 12.1. vgl.: M. Roth; M. Cantello: "Laser Hardening of a 12 ./. Cr-Steel", Proceedings of 2nd Int. Conference "Laser in Manufacturing" (ed by M.F. Kimmit) 26. - 28.3.1985, S. 119 - 128) bzw. 500 - 580 HV1 an Schaufeleintrittskanten (Material AISI 403) erreicht werden.

Besonders nachteilig wirkt sich jedoch aus, daß die Härte in einer Tiefe von z.B. 0,2 mm schon auf 500 - 530 HVo,1 bzw. 480 - 560 HV1 abgefallen ist. Die nachteilige Wirkung des Härteabfalles resultiert daraus, daß einerseits bei einer Tropfenschlagbelastung mit den im Niederdruckteil von Dampfturbinen auftretenden Tropfengrößen und Tropfenaufprall-Geschwindigkeiten das Maximum der Vergleichsspannung in einer recht großen Tiefe von 0,05 mm bis 0,2 mm liegt und andererseits der Verschleiß bei intensiver Tropfenschlagbelastung erst nach Ausbildung einer belastungstypischen Oberflächenrauheit mit Rauhtiefen von einigen 10 μ m bis einigen 100 μ m einen stationären Endzustand erreicht. Ein zu steiler und zudem schon an der Oberfläche beginnender relativ großer Härtegradient verhindert deshalb selbst bei ausreichender Oberflächenhärte einen stationären Verschleißzustand.

Die Ursache des Härteabfalles besteht darin, daß in den in Frage kommenden Tiefen zu wenig Kohlenstoff aus den (Fe, Cr)-Mischkarbiden freigesetzt ist. Der Mangel des Verfahrens besteht demzufolge darin, daß nur in unmittelbarer Oberflächennähe genügend Kohlenstoff aus den (Fe, Cr)-Mischkarbiden freigesetzt wird, der zum Erreichen hoher Härten notwendig ist. Die Ursache dafür resultiert daraus, daß der Temperaturgradient der angegebenen Kurzzeithärtung so steil ist, daß die Peak-Temperatur des lokalen Temperatur-Zeit-Zyklus in den in Frage kommenden Tiefen schon zu niedrig ist.

Das Ziel der Erfindung ist es, eine vor Tropfenschlagerosion besser geschützte Turbinenschaufel anzugeben sowie ein Verfahren zu ihrer Herstellung vorzuschlagen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Härtungszonenausbildung für die Eintrittskanten von Turbinenschaufeln anzugeben, bei der eine für die typischen Bedingungen der Tropfenschlagbelastung in Endstufen von Dampfturbinen ausreichend hohe Oberflächenhärte vorhanden ist und bei der auch nach Ausbildung der belastungstypischen Oberflächenrauheit das Maximum der Vergleichsspannung noch in einem ausreichend harten Bereich liegt.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe mit einer tropfenschlagerosionsgeschützten Turbinenschaufel aus martensitischem Chromstahl mit einer kurzzeitgehärteten Eintrittskante, deren erosionsgeschützte Zone über den gesamten stark erosionsgefährdeten Bereich der Schaufelrückenseite eine konstante Oberflächenhärte aufweist, wie in den Ansprüchen 1 bis 4 dargestellt, gelöst.

Die in Anspruch 2 beschriebene zweckmäßige Ausgestaltung der Erfindung macht von der Tatsache vorteilhaft Gebrauch, daß gewöhnlich die Stärke und Fläche der Tropfenschlagbelastung zur Schaufelspitze hin stark zunimmt, während die zyklische Belastung abnimmt, so daß bei ausreichender Verschleißbeständigkeit durch die Abnahme der Härtungszonenbreite der Eigenspannungszustand an der Eintrittskante verbessert und die Zähigkeitsreserven der Schaufel vergrößert werden können.

Außerdem wird die Aufgabe durch ein Kurzzeithärtungsverfahren für martensitische chromlegierte Turbinenschaufelstähle gelöst, bei dem auch in der erforderlichen Tiefe von 0,1 mm bis etwa 0,9 mm eine Peak-Temperatur des lokalen Temperatur-Zyklus erreicht wird, bei der noch eine vollständige Karbidauflösung stattfindet, ohne daß an der Oberfläche schon eine eigenschaftverschlechternde Austenit-Kornvergrößerung stattfindet.

Erfindungsgemäß wird dabei wie in den Ansprüchen 5 bis 10 angegeben verfahren.

Bei der Verfahrensausgestaltung gemäß Anspruch 6 wird dabei vorteilhafterweise die Tatsache berücksichtigt, daß bei Unterschreitung einer Schaufelblattdicke von etwa 3 mm sich die Abkühlgeschwindigkeit schon in dem Temperaturgebiet, in dem noch eine Austenit-Kornvergrößerung ablaufen kann, aufgrund schlechterer Wärmeableitungsmöglichkeiten verringert.

Vorteilhaft bei der Verfahrensausgestaltung gemäß Anspruch 7 ist, daß damit eine Anpassung der optimalen Strahleinwirkungsdauer τ_s an die notwendige Härtungszonenbreite erreicht wird.

Der Vorteil der Verfahrensausgestaltung gemäß Anspruch 8 besteht darin, daß dieses ungewöhnlich kleine Amplitudenverhältnis die Einstellung einer

nahezu konstanten Oberflächentemperatur T_s quer zur Laserspur innerhalb der sehr harten Zone auch unter den Bedingungen einer sehr asymmetrischen Wärmeableitung an der Schaufeleintrittskante erlaubt.

Die Erfindung ist am nachfolgenden Ausführungsbeispiel näher erläutert.

In der dazugehörigen Zeichnung (Figur 1) ist eine schematische Darstellung der Lage und des Aufbaues des erfindungsgemäßen Kantenschutzes dargestellt.

Beispiel 1:

Die tropfenschlagbelastete Endstufenlaufschaufel einer 100 MW-Turbine soll mit einer verschleißbeständigen Eintrittskante versehen werden. Die erwartete Erosionszonenbreite beträgt an der Schaufelspitze 18 mm und nimmt zum Schaufelfuß zu geringfügig ab.

Die eingesetzte Härteanlage besteht aus einem CO₂-Querstromlaser mit einer Nominalleistung von 5 kW, einer Bewegungsmaschine, die zur Realisierung der Relativbewegung zwischen Laserstrahl und Eintrittskante dient und deren Steuerung die gleichzeitige Bewegung in mindestens 4 Koordinaten zuläßt. Das Strahlformungssystem besteht aus einem off-axis-Parabolspiegel mit einer Brennweite von $f = 300$ mm sowie einem sich im teilfokussierten Strahl befindlichen Resonanzscanner, der den Strahl mit einer Frequenz von 210 Hz senkrecht zur Strahlvorschubrichtung oszillieren läßt.

Das zu härtende Gebiet wird mit einer etwa 80 μ m dicken Schicht schwarzer Schultafelfarbe o.ä. versehen, die als Absorptionsmittel für die Laserstrahlung dient.

Anhand von Nomogrammen wird ausgehend von der vorab gemessenen Dicke des Schaufelblattprofils - in Abhängigkeit vom Abstand zur Schaufelspitze - ein geeigneter Satz von Bestrahlungsparametern (Laserleistung, Strahldefokussierung, Oszillationsamplitude, Vorschubgeschwindigkeit) festgelegt, der an jeder Stelle der Eintrittskante zur erfindungsgemäßen Ausbildung der Härtungszone führt.

Anschließend wird durch Abtasten der Schaufeleintrittskante das Kontursteuerprogramm erstellt. Die Neigung des zu härtenden Gebietes relativ zum Laserstrahl wird so gewählt, daß sich im Zusammenwirken mit der eingestellten Leistungsdichteverteilung des Laserstrahles quer zur Vorschubrichtung eine konstante Temperatur in der am stärksten verschleißbelasteten Zone (der späteren sehr harten Schicht 2) einstellt. Die Leistungsdichteverteilung im Laserstrahl läßt sich durch die Wahl des Verhältnisses Schwingamplitude des Strahles A zu Radius des Strahles r in ausreichendem Maße variieren.

Die Laserstrahlhärtung wird unter folgenden

Parametern durchgeführt: An der Turbinenschaufel auftreffende Laserleistung $P_L = 2,60 \text{ kW}$; von der Turbinenschaufel absorbierte Laserleistung $P_a = 2,08 \text{ kW}$; Laserstrahldurchmesser auf der Schaufeloberfläche $2.r = 9,6 \text{ mm}$; Schwingamplitude des Laserstrahles $A = 8,9 \text{ mm}$, Amplitudenverhältnis $A/r = 1,85$; Anfangsgeschwindigkeit des Laserstrahles an der Schaufelspitze $V_{BO} = 242 \text{ mm/min}$, Strahlformstreckung $(d \perp V)/(d \parallel V) = 2,85$.

Die Laserstrahlhärtung mit diesen Parametern führt in der Nähe der Eintrittskante 5 zu folgenden Werten des Temperaturfeldes: Maximaltemperatur des Temperatur-Zeit-Zyklus auf dem Schaufelrücken über eine Breite von 16 mm : $T_{smax} \approx 1400 - 1440^\circ \text{C}$, Laserstrahleinwirkungsdauer: $\tau_s T = 2,38 \text{ s}$.

Die mit diesen Parametern gehärtete Turbinenschaufel weist an der Eintrittskante 5 eine Härtingszone folgender geometrischer Abmessungen, Härte und Härteverteilung auf: Breite der gesamten Härtingszone 1 auf dem Schaufelrücken (Lage der Härtingszonen siehe Figur 1) an der Schaufelspitze: $20,2 \text{ mm}$; Breite der Härtingszone 1 in 150 mm Abstand von der Schaufelspitze: $18,7 \text{ mm}$; Gesamteinhärtungstiefe 4 : $1,17 \text{ mm}$ bis $2,9 \text{ mm}$ in Abhängigkeit vom Abstand zur Eintrittskante, Breite der gesamten Härtingszone 1 auf der Schaufelbauchseite 7 : $2,8 \text{ mm}$ in der Nähe der Schaufelspitze; Oberflächenhärte in der sehr harten Schicht 2: $700 \text{ HV}_{0,05} \pm 35 \text{ HV}_{0,05}$; Tiefe der sehr harten Schicht 2: $0,1 \text{ mm}$ bis $0,45 \text{ mm}$, abnehmend mit zunehmendem Abstand zur Eintrittskante, an der Eintrittskante auslaufend etwa am Ort der stärksten Krümmung des Schaufelblattprofils. Der Härtegradient in der sehr harten Schicht 2 beträgt $\leq 30 \text{ HV/mm}$. Die Breite der sehr harten Schicht 2 beträgt in der Nähe der Schaufelspitze etwa 19 mm . Die Länge der gesamten Härtingszone 1 beläuft sich auf 185 mm . Sie verläßt die Schaufel unter einem Austrittswinkel von 45° .

Die Reproduzierbarkeit des angestrebten erfindungsgemäßen Härte-Tiefen-Verlaufes ist sehr gut. Entsprechend der abnehmenden Verschleißintensität nimmt sowohl die Tiefe der sehr harten Schicht 2 wie auch die Gesamteinhärtungstiefe 4 mit zunehmendem Abstand zur Eintrittskante ab. Die Lage des Vergleichsspannungsmaximums befindet sich bei weniger als einem Drittel der Tiefe der sehr harten Schicht 2. Eine eigenschaftverschlechternde Vergröberung der Austenitkorngröße tritt nicht auf.

Gegenüber dem Stand der Technik werden mindestens 100 bis 150 HV höhere Oberflächenhärten erzielt. In der Tiefe des Vergleichsspannungsmaximums ist die Härte Differenz noch größer.

Damit sind erheblich bessere Verschleißbeständigkeiten der erfindungsgemäß gehärteten Turbinenschaufeln gesichert.

Ein weiterer Vorteil gegenüber flammengehärteten und in abgeminderter Form auch gegenüber induktionsgehärteten Schaufeln besteht in der reproduzierbaren und beanspruchungsgerechteren Ausbildung der Härtingszonen geometrie längs der Eintrittskante. Sie führt u.a. auch zu einer viel besseren Reproduzierbarkeit der Einstellung eines eintrittskantennahen Druckeigenspannungszustandes längs der Eintrittskante über die gesamte gehärtete Schaufellänge.

Aufstellung der verwendeten Bezugszeichen und Begriffe

15	1	gesamte Härtingszone
	2	sehr harte Schicht
	3	an 2 anschließende Schicht
	4	Gesamteinhärtungstiefe
	5	Eintrittskante
20	6	Auftreffrichtung der schädlichsten Tröpfchengrößenfraktion
	7	Ort an der Schaufelbauchseite
	8	Tangente an die Oberfläche am Ort 7
	9	minimales Biegemoment des Schaufelquerschnittes
25	10	Schaufelquerschnitt
	Q_L	Querschnitt der gesamten Härtingszone 1
30	Q_s	Querschnitt des gehärteten Schaufelprofilabschnittes

Patentansprüche

1. Tropfenschlagerosionsgeschützte Turbinenschaufel aus martensitischem Chromstahl mit einer kurzzeitgehärteten Eintrittskante, deren erosionsgeschützte Zone über den gesamten stark erosionsgefährdeten Bereich der Schaufelrückenseite eine konstante Oberflächenhärte aufweist,

dadurch gekennzeichnet, daß

- diese konstante Oberflächenhärte der Maximalhärte entspricht, die bei dem jeweiligen Stahl mit optimalen Parametern des Kurzzeithärtezyklus erreichbar ist,
- diese Härte je nach Kohlenstoffgehalt und mit diesem zunehmend bei einem Kohlenstoffgehalt von $0,1 - 0,13 \% \text{ C}$ eine Härte von $580 - 620 \text{ HV}_{0,05}$ und bei $0,18 - 0,24 \% \text{ C}$ eine Härte von $600 - 750 \text{ HV}_{0,05}$ erreicht,
- die gesamte Härtingszone (1) aus einer sehr harten Schicht (2) mit einem ersten Härteplateau, das diese Maximalhärten erreicht und mit einer nach der Verschleißintensität und der Tiefenlage des Vergleichsspannungsmaximums gewählten Tiefe von $0,1 \text{ mm}$ bis $0,9 \text{ mm}$ be-

- steht, in der der Härtegradient um 0 bis 100 HV/mm beträgt und an deren unterer Berandung je nach Kohlenstoffgehalt von 0,1 bis 0,13 % C mindestens noch Härten von 550 - 600 HV_{0,05} und bei einem Kohlenstoffgehalt von 0,18 bis 0,24 % noch Härten von 580 bis 680 HV_{0,05} aufweist
- sowie einer daran anschließenden Schicht (3) besteht, die eine Dicke von 0,4 mm bis 2,0 mm erreicht und bei einem in Oberflächennähe deutlich größeren Härtegradienten und zumindest andeutungsweise ein zweites Härteplateau bei einer Härte von 350 - 540 HV_{0,05} aufweist,
 - die Gesamteinhärtungstiefe (4) in Abhängigkeit von der Verschleißintensität 0,7 mm bis 3,5 mm beträgt,
 - die sehr harte Schicht (2) mindestens bis an den Ort (5) in der Nähe der Eintrittskante reicht, an dem die Auftreffrichtung (6) der schädlichsten Tröpfchengrößenfraktion parallel zur Tangente an die Oberfläche liegt,
 - die Härtungszone (1) sich von der Schaufelblattspitze in Richtung Schaufelfuß über die gesamte erosionsgefährdete Länge der Eintrittskante (5) hinweg bis zu einer Stelle minimaler oder zumindest nicht kritischer zyklischer Belastung der Schaufel erstreckt und dort die Schaufel unter einem Austrittswinkel zur Eintrittskante von 30 bis 65° verläßt.
2. Tropfenschlagerosionsgeschützte Turbinenschaufel nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, daß die Breite der Härtungszone (1) nach der sich längs der Eintrittskante ändernden Breite der Erosionszone eingestellt wird.
3. Tropfenschlagerosionsgeschützte Turbinenschaufel nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, daß die Gesamthärtungstiefe (4) bei stark zyklisch oder spannungsriß-korrosionsbelasteten Schaufeln mindestens bis an den Ort (7) an der Schaufelbauchseite heranreicht, an dem die Tangente (8) an die Oberfläche senkrecht zur Richtung des minimalen Biegemomentes (9) des Schaufelquerschnittes (10) steht.
4. Tropfenschlagerosionsgeschützte Turbinenschaufel nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, daß die schaufelrückenseitige Berandung der Härtungszone (1) um ein Dämpferdrahtloch mit dem Radius R_D
- einen Kreisbogen mit dem Radius R_S beschreibt, wobei gilt:
- $$R_D + 3 \text{ mm} \leq R_S \leq R_D + 10 \text{ mm}$$
5. Verfahren zur Herstellung der tropfenschlagerosionsgeschützten Turbinenschaufel von Anspruch 1 bis 4 mittels eines hochenergetischen Oberflächenhärteverfahrens
dadurch gekennzeichnet, daß
- der Temperatur-Zeit-Zyklus des Kurzzeithärtens so geführt wird, daß am Ende einer Energieeinwirkungsdauer τ_s von 0,3 s $\leq \tau_s \leq 3$ s eine Oberflächentemperatur $T_{s\max}$ beträchtlich oberhalb des γ -Gebietes von 1380° C $\leq T_{s\max} < 1430$ ° C erreicht wird, über eine entsprechende Kombination von Leistungsdichte, Vorschubgeschwindigkeit und Strahlabmessung in Vorschubrichtung der oberflächennahe Temperaturgradient so eingestellt wird, daß in einer Tiefe t von 0,1 mm $\leq t \leq 0,9$ mm noch eine Maximaltemperatur des lokalen Temperatur-Zeit-Zyklus T_L von $T_L \approx T_{s\max} - (B \cdot 60 \text{ K} + C \cdot \tau_s \cdot 36 \text{ K/s})$ herrscht, wobei die Konstanten B und C etwa den Wert 1 erreichen, der genaue Wert jedoch nach der chemischen Zusammensetzung und dem Ausgangsgefüge des Stahles gewählt wird,
 - und daß die Leistungsdichteverteilung quer zur Strahlvorschubrichtung so eingestellt wird, daß die lokale Oberflächentemperatur T_s an keiner Stelle der Oberfläche der sehr harten Schicht (2) den Wert $T_{s\max}$ um mehr als 50 K unterschreitet.
6. Verfahren nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet, daß zum Härten von Schaufelblattpartien, deren mittlere Dicke 3 mm unterschreitet, bei konstanter Oberflächentemperatur $T_{s\max}$ die maximal mögliche Energieeinwirkungsdauer $\tau_{s\max}$ entsprechend dem Verhältnis des erwünschten Querschnitts Q_L der Härtungszone (1) zum Querschnitt Q_S des Schaufelprofilabschnittes nach $\tau_{s\max} = 3 \text{ s} \cdot L - K Q_L / Q_S$ reduziert wird, wobei K und L vom gewählten Stahl abhängende Konstanten mit einem Wert nahe 1 sind.
7. Verfahren nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet, daß bei Anwendung eines Laserstrahl- oder Elektronenstrahlhärteverfahrens eine Strahlformung dergestalt vorgenommen wird, daß das Verhältnis der Ausdehnung des Strahles senkrecht zur Strahlvorschubrichtung $d \perp v$ zur Ausdehnung des

Strahles in Strahlvorschubrichtung d_{lv} im Bereich $2 \leq (d_{\perp v})/(d_{lv}) \leq 8$ gewählt wird.

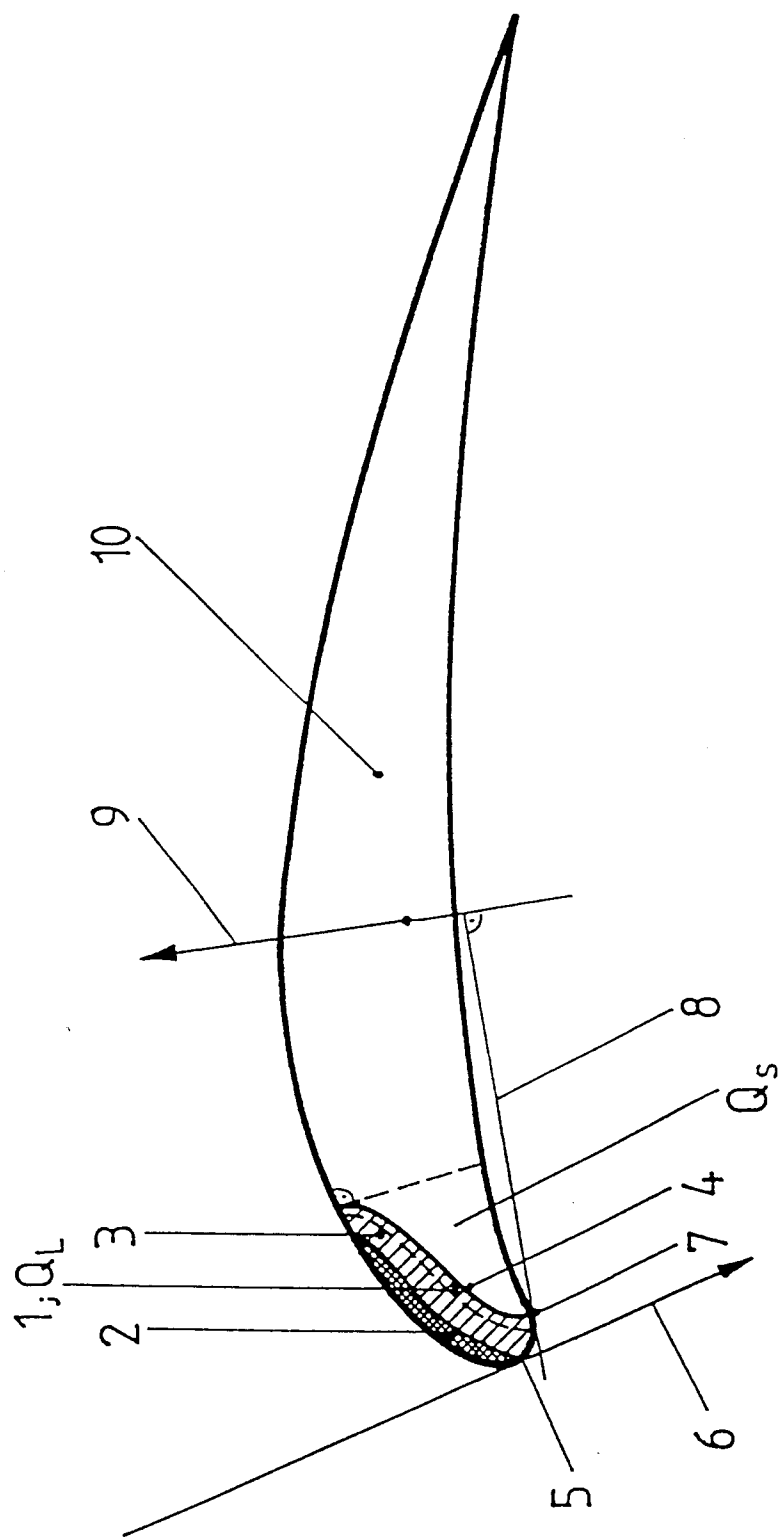
8. Verfahren nach Anspruch 5 und 7,
dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlformung durch die schnelle Oszillation des Laserstrahles oder Elektronenstrahles quer zur Vorschubrichtung erzeugt wird, wobei im Falle des Laserstrahles bei sinusförmigem Bewegungsgesetz in Abhängigkeit von der Leistungsdichteverteilung des nichtumgeformten Laserstrahles ein Verhältnis von Schwingamplitude des Strahles A zum Radius r des Strahles von
 $1,3 \leq A/r \leq 2,1$ gewählt wird.
9. Verfahren nach Anspruch 5,7 und 8,
dadurch gekennzeichnet, daß das Verhältnis A/r der Schwingungsamplitude zum Strahlradius r während des Oberflächenhärtens entsprechend der Änderung des Eintrittskantennahen Schaufelblattprofils stetig verändert wird.
10. Verfahren nach Anspruch 5 und 9,
dadurch gekennzeichnet, daß die Strahlformung durch die schnelle Oszillation des Laserstrahles oder Elektronenstrahles quer zur Vorschubrichtung erzeugt wird, wobei in beiden Fällen die momentane Strahlleistung oder das Bewegungsgesetz der Strahloszillation nach der Neigung der Strahlachse zur lokalen Oberflächennormalen und den Wärmeableitungsbedingungen des Eintrittskantennahen Schaufelblattprofils gewählt und entsprechend der Änderung der Oberflächennormalen und den Wärmeableitungsbedingungen entlang der Eintrittskante während des Kurzzeithärtens verändert wird.

40

45

50

55



Figur 1



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 92 10 4368

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl.5)
A, D	CH-A-564 089 (BBC AKTIENGESELLSCHAFT BROWN, BOVERY & CIE) * das ganze Dokument * ---	1, 5	F01D5/28 C21D1/09 C21D9/00
A	PROCEEDINGS OF LAMP 87 Mai 1987, OSAKA Seiten 567 - 572; BEDOGNI: 'Laser and electron beam surface hardening of turbine blades' ---	1, 5	
A, D	PROCEEDINGS OF 2ND INT. CONFERENCE "LASER IN MANUFACTURING" (ED. KIMMIT) März 1985, Seiten 119 - 128; ROTH: 'Laser hardening of a 12 % Cr steel' ---	1, 5	
A	DE-A-2 535 251 (DORNIER SYSTEM GMBH) ---		
A	CH-A-483 558 (DEUTSCHE EDELSTAHLWERKE) ---		
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 12, no. 28 (C-471)(2875) 27. Januar 1988 & JP-A-62 180 051 (HITACHI) * Zusammenfassung * -----		RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl.5) F01D C21D
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 06 JULI 1992	Prüfer SERRANO GALARRAGA J.
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			