

CH 677 236 A5



(19)



**SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT**  
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11)

**CH 677 236 A5**

(51)

Int. Cl.<sup>5</sup>: **C 21 D 9/00**

**Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein**

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12)

**PATENTSCHRIFT A5**

<p>(21) Gesuchsnummer: 678/89</p> <p>(22) Anmeldungsdatum: 25.02.1989</p> <p>(24) Patent erteilt: 30.04.1991</p> <p>(45) Patentschrift veröffentlicht: 30.04.1991</p>	<p>(73) Inhaber: Bergmann-Borsig GmbH Berlin, Berlin (DE)</p> <p>(72) Erfinder: Storch, Wilfried, Dr.-Ing., Berlin (DD) Mühl, Fritz, Berlin (DD) Schulze, Klaus-Rainer, Dr. sc., Halle-Neustadt (DD) Löschau, Wolfgang, Dr. rer. nat., Freital (DD)</p> <p>(74) Vertreter: Jean Hunziker, Zürich</p>
---	--

**(54) Verfahren zur Herstellung eines Erosionsschutzes für Turbinenschaufeln.**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Erosionsschutzes für Turbinenschaufeln, insbesondere den Sattdampf-Endstufen von Kernkraftwerksturbinen. Erfindungsgemäss wird mittels einer geeigneten Vorrichtung ein Elektronen- oder LASER-Strahl zeilenweise über die Oberfläche der Turbinenschaufel geführt, wobei die Aufheiztiefe und Temperatur regulierbar ist, und mit der nachfolgenden schnellen parallel verlaufenden Abkühlung der Bearbeitungszonen bis in den Minustemperaturbereich eine exakt bemessene gesteuerte Gefügeumwandlung erreicht wird, die zur Bildung eines geschlossenen homogenen, von Karbiden freien Martensitgefüges an der Turbinenschaufeloberfläche führt.

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Erosionsschutzes für Turbinenschaufeln nach dem Oberbegriff von Anspruch 1.

Turbinenschaufeln der Endstufen von Satteldampfturbinen unterliegen auf Grund der im Niederdruckventil verstärkt auskondensierenden Wassertropfen einer erhöhten Erosion. Der ständige Aufprall erfolgt, bedingt durch die hohe Dampfgeschwindigkeit und Umfangsgeschwindigkeit der Laufschaufeln, mit großer Kraft und führt zur Zerstörung der polierten Schaufelblattfläche sowie zu tiefrissigen Auswaschungen, wobei die stärksten Erosionsschäden an der Schaufelblatteintrittskante und der Druckseite zu verzeichnen sind. Infolge der ständig fortschreitenden Zerstörung des Schaufelblattes treten unter Einwirkung der weiteren Belastungen wie Fliehkraft, Zug- und Druckspannungen Schaufelbrüche auf, die größere Schäden und Maschinenausfälle nach sich ziehen.

Um diesen Mangel zu beseitigen, werden die Schaufelkanten gemäß den Ausführungen der DE-AS 2 535 251 mit einem Kantenschutz aus einer Hartlegierung versehen, deren Dendritenstruktur vorzugsweise so ausgerichtet ist, daß die Dendrite einheitlich quer zur Tropfenaufschlagsrichtung verlaufen. Die so erzielte verbesserte Erosionsbeständigkeit trägt jedoch den Nachteil einer speziellen, teuren und aufwendigen Fertigung der Stellite selbst und der komplizierten Verbindung mit dem Schaufelblatt sowie notwendigen Anpaß- und Nacharbeit in sich.

Ein weiterer Nachteil entsteht durch das Fügen des Schaufelblattes aus zwei verschiedenartigen Werkstoffen. Dabei werden zwangsläufig Spannungspotentiale aufgebaut, die zu Rissen, Ablösungserscheinungen bzw. Verkrümmungen des dünnwandigen Schaufelblattes führen. Der hohe Kobaltanteil der Stellite macht zudem einen Einsatz in Kernkraftwerken fraglich, da bereits geringe Strahlungsaufnahmen, z.B. durch Leckagen oder Havarien hervorgerufen, zerstörend wirken. Auch ein partieller Einsatz an dem räumlich mehrfach gekrümmten Schaufelblatt ist wegen der Dünnwandigkeit und dem damit verbundenen Festigkeitsabfall nicht realisierbar. Neben der Anwendung von Stellite sind gleichfalls teil- oder ganzflächige Beschichtungen mittels erosionsresistenteren, dem Schaufelwerkstoff fremden Wirkstoffen bekannt. Dazu werden verschleißfeste Kobalt- oder Wolframkarbide in die Schaufeloberfläche eingelagert bzw. – wie in der DE-OS 3 151 413 ausgeführt – als vollständiger Überzug erstellt. Diese Überzüge, speziell an die dickwandigen Keramikschaufeln in Hochtemperaturgasturbinen eingesetzt, mindern den Abtrag der Schaufelblattfläche und wirken gleichzeitig als Korrosionsschutz und Thermobarriere.

Den erosiven Auswaschungen der Wassertropfen, deren Angriffspunkt im weicheeren Einbettungs- werkstoff zwischen den harten Karbiden bzw. Nitriden liegt, können jedoch auch diese Verfahren nicht genügend widerstehen, zumal sie auf Grund

der erhöhten Schwingungsbelastung für große dünnwandige Endstufenschaufeln ungeeignet sind.

Dieser grundlegende Ablauf der erosiven Zerstörung erfolgt auch bei Schaufeln, deren Verschleißzone mittels herkömmlicher Härteverfahren, wie Flamm- oder Induktionshärtung (s. DE-AS 2 211 830) mit einer harten Martensitschicht bedeckt werden. Die dabei im makroskopischen Bereich liegenden Korngrößen des harten Martensit bilden jedoch keine durchgängig geschlossene Oberfläche auf dem Schaufelblatt.

Der relativ großflächig zwischen den Martensitkörnern freiliegende Einbettungs- werkstoff ist wiederum die Ursache der Erosionsanfälligkeit, wie sie bei der Oberflächenhärtung dünnwandiger Werkstücke nach dem Verfahren der Flammhärtung auftritt. Ein mit Durchhärtungsverfahren erzieltes dichtes, feinkörniges und erosionsresistentes, martensitisches Gefüge macht das Schaufelblatt hingegen unelastisch und erhöht in unvermeidbarem Maße die Bruchgefahr.

Ein zusätzlicher Nachteil besteht darin, daß schmelztechnisch bedingte Karbide vom Typ  $C_nCr_m$  im hochlegierten Schaufelwerkstoff eingelagert sind und die Homogenität der Härtestruktur unterbrechen. An der Oberfläche liegend bilden sie erosive Schwachstellen, und insgesamt gesehen stellen sie zudem die Keimzelle für eine Versprödung des Werkstoffes bei nuklearer Bestrahlung dar.

Deshalb ist es notwendig, auch die Karbide, wie z.B. die Chromkarbide des Schaufelwerkstoffes  $X_{20}Cr_{13}$ , im Gefüge weitestgehend zu beseitigen.

Die Erfindung hat zum Ziel, den starken Verschleiß der Endstufenschaufeln in Satteldampfturbinen durch erosive Abtragung zu verhindern.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Schaufelblattoberfläche ohne Verwendung werkstofffremder Bestandteile teilweise oder vollständig als geschlossene, harte, verschleißfeste Fläche auszubilden und die Anwendbarkeit der Lösung als Reparaturtechnologie sowie den Einsatz der Schaufeln in Turbinen mit nuklearem Dampfbetrieb zu ermöglichen. Die Lösung dieser Aufgabe ist im Anspruch 1 angegeben.

Dabei werden die mit dem hochenergetischen Laserstrahl im Schmelzprozeß aufgebrochenen Karbide infolge der hohen Wärmeeintragsgeschwindigkeit gelöst und mit der folgenden Abschreckung eine Neubildung von Karbiden im entstehenden martensitischen Gefüge verhindert.

Der Prozeß der Gefügeumwandlung an dünnwandigen Bauteilen mit komplizierter, räumlich mehrfach gekrümmter Kontur kann somit gesteuert und zielgerichtet beeinflusst werden.

Das schnelle Abkühlen, mit dem die obere kritische Abkühlgeschwindigkeit überschritten wird, ist durch Unterkühlung der erwärmten Schaufelzonen zu realisieren.

Für Reparaturzwecke bzw. der Regenerierung von Schaufeln ist das Fehlvolumen der bereits durch Erosion zerstörten Schaufeloberfläche mittels Auftragsschweißung mit einer dem Schaufelgrundwerkstoff entsprechenden Legierung vor der

Durchführung des Verfahrens auszugleichen. Zusätzlich kann eine den Martensitbildungsprozeß verbessernde Einschmelzung von Kohlenstoff erfolgen.

Die mechanisch auf ihre Endkontur vorbereiteten Turbinenschaufeln, deren Werkstoff den zur Martensitbildung notwendigen Gehalt an Kohlenstoff aufweist, werden mit geeigneten Vorrichtungen so positioniert, daß die zeilenweise Führung eines LASER- oder Elektronenstrahles über die durch Umwandlungshärtung auszubildenden Erosionsschutzzonen möglich ist.

Als variable Parameter zur Ausbildung der Erosionsschutzzone gelten die verfahrensspezifischen Energieeinträge, die Abkühlgeschwindigkeit der erhitzten Bereiche mittels sofortiger Unterkühlung und die Legierungszusammensetzung des Schaufelwerkstoffes. Die gute Regulierbarkeit des LASER- oder Elektronenstrahls gestattet es, im Gegensatz zum Flammhärten die Aufheiztiefe sowie die Temperatur an der Schaufeloberfläche optimal zu gestalten und die Gefügeumwandlung im Zusammenhand mit einer zeitgleichen schnellen Abkühlung bis in den Minustemperaturbereich über die kritische Abkühlgeschwindigkeit hinaus zielgerichtet zu steuern. Damit wird es möglich, in der Oberfläche der räumlich mehrfach gekrümmten dünnwandigen Schaufelblätter der Endstufenschaufeln von Satteldampfturbinen ein qualitativ neuartiges, karbidfreies, homogenes, martensitisches Gefüge mit feinkörniger Struktur auszubilden. Die Begrenzung der Schutzzonen auf einige Teilbereiche des Schaufelblattes, wie sie einigen bisherigen Verfahren anhaftete, ist damit aufgehoben.

Auf Grund der fremdlegierungsfreien Martensitschicht und der fehlenden Karbide ist auch die Verfahrensunbedenklichkeit zum Einsatz der Schaufeln in nukleardampfbeaufschlagten Turbinen gegeben.

Das erfindungsgemäße Verfahren kann gleichfalls zur Regenerierung von Schaufeln angewendet werden, sofern das Schaufelvolumen mittels Auftragsschweißung einer dem Schaufelwerkstoff eigenen Legierung aufgefüllt und die Schaufelkontur entsprechend nachgearbeitet ist.

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Erosionsschutzes für Turbinenschaufeln aus hochlegierten Werkstoffen mit eingelagerten Karbiden, bei denen die Schaufelblattoberfläche ein martensitisches Gefüge erhält, gekennzeichnet dadurch, daß eine mit LASER- oder Elektronenstrahlen kurzzeitig erzeugte intensive Oberflächenaufheizung zeitgleich durch eine schnelle parallele Unterkühlung in den Minustemperaturbereich überlagert wird und zu einer vollmartensitischen, von Karbiden freien Gefügeausbildung führt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, daß zur Regenerierung einer Schaufel das Fehlvolumen der bereits durch Erosion zerstörten Schaufeloberfläche mittels Auftragsschweißen mit einer dem Schaufelgrundwerkstoff entsprechenden Legierung ausgeglichen wird und nach den

mechanischen Anpaßarbeiten die weitere Bearbeitung gemäß Anspruch 1 erfolgt.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, gekennzeichnet dadurch, daß die steuerbare Gefügeumwandlung durch eine zonale, den Martensitbildungsprozeß verbessernde Einschmelzung von Kohlenstoff beeinflußt wird.