

(12)

Österreichische Patentanmeldung

(21) Anmeldenummer: **A 1881/2007**

(22) Anmeldetag: 20.11.2007

(43) Veröffentlicht am: **15.06.2009**

(51) Int. Cl.⁸: **G01B 11/06** (2006.01),
G01N 25/72 (2006.01)

(73) Patentinhaber:

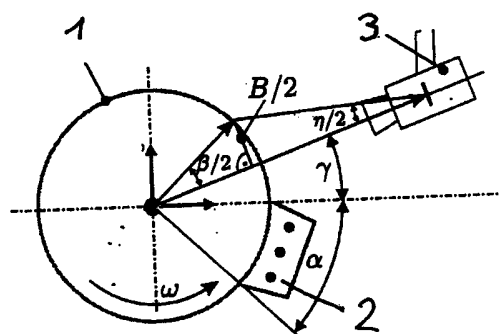
PALFINGER HTC SYSTEMS GMBH
A-5020 SALZBURG (AT)

(72) Erfinder:

**ZAGAR BERNHARD DR.
LINZ (AT)
MAIER FLORIAN DR.
LEONDING (AT)**

(54) VERFAHREN ZUR UNTERSUCHUNG DER OBERFLÄCHENBESCHAFFENHEIT VON FLÄCHIGEN STRUKTUREN

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Untersuchung der Oberflächenbeschaffenheit von flächigen Strukturen (1), bei dem durch eine entlang der Oberfläche bewegte Wärmequelle (2) fortlaufend bestimmte Oberflächenbereiche zunächst kontrolliert erwärmt werden und nach einer vorbestimmten Zeit eine Temperaturmessung durchgeführt wird, um das Abkühlverhalten zu bestimmen. Eine hohe Genauigkeit kann dadurch erreicht werden, dass die von der Wärmequelle (2) erwärmten Oberflächenbereiche zu mehreren Zeitpunkten von einer Wärmebildkamera (3) erfasst werden, um von einzelnen Oberflächenpunkten ein Temperaturprofil zu erstellen. Weiters betrifft die vorliegende Erfindung eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.



ZUSAMMENFASSUNG

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Untersuchung der Oberflächenbeschaffenheit von flächigen Strukturen (1), bei dem durch eine entlang der Oberfläche bewegte Wärmequelle (2) fortlaufend bestimmte Oberflächenbereiche zunächst kontrolliert erwärmt werden und nach einer vorbestimmten Zeit eine Temperaturmessung durchgeführt wird, um das Abkühlverhalten zu bestimmen. Eine hohe Genauigkeit kann dadurch erreicht werden, dass die von der Wärmequelle (2) erwärmten Oberflächenbereiche zu mehreren Zeitpunkten von einer Wärmebildkamera (3) erfasst werden, um von einzelnen Oberflächenpunkten ein Temperaturprofil zu erstellen. Weiters betrifft die vorliegende Erfindung eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

Fig. 2

13344

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Untersuchung der Oberflächenbeschaffenheit von flächigen Strukturen, bei dem durch eine entlang der Oberfläche bewegte Wärmequelle fortlaufend bestimmte Oberflächenbereiche zunächst kontrolliert erwärmt werden und nach einer vorbestimmten Zeit eine Temperaturmessung durchgeführt wird, um das Abkühlverhalten zu bestimmen.

Der Begriff "Oberflächenbeschaffenheit" soll oben und in der Folge dahingehend verstanden werden, dass nicht nur die unmittelbare Oberfläche untersucht wird, sondern auch ein mehrschichtiger Oberflächenaufbau tiefergehend analysiert werden kann. Dies sind zum Beispiel mehrere Lackschichten einschließlich allfälliger darunter liegender Luftblasen auf einen Schiffskörper.

Es ist in vielen Bereichen der Technik erforderlich, den Zustand von Oberflächen großflächiger Bauteile zu untersuchen, um nachfolgende Bearbeitungsvorgänge zielgerichtet vornehmen zu können. Beispielsweise muss der Rumpf von Schiffen in bestimmten Abständen gegen Korrosion geschützt werden. Dazu werden alte schadhafte Anstriche in speziellen Verfahren abgetragen, um danach die gereinigten Stahloberflächen des Schiffsrumpfes mit einem neuen Anstrich versehen zu können. Dieses Verfahren wird als "recoating" bezeichnet. Die manuelle Durchführung dieses Verfahrens ist sehr arbeitsintensiv und für die beteiligten Personen gesundheitlich belastend. Es ist daher erstrebenswert, das Verfahren zu automatisieren, indem beispielsweise die Abtragung durch einen speziell konstruierten Roboterarm erfolgt, an dessen Ende sich ein Reinigungskopf befindet, der neben den Reinigungswerkzeugen auch mit einem Lackdickensensor bestückt ist, um eine vollständige Abtragung zu kontrollieren.

Es ist bekannt, die Oberflächenbeschaffenheit, und zwar insbesondere die Lackdicke dadurch zu bestimmen, dass die Werkstückoberfläche räumlich begrenzt erwärmt wird und das Abkühlverhalten durch eine Temperaturmessung bestimmt wird. Lösungen dieser Art sind in der DE 32 48 157 A, der DE 37 10 825 A oder der EP 1 132 736 A bekannt. Bei diesen Verfahren wird generell ein Messkopf mit einer vorbestimmten Geschwindigkeit über die zu untersuchende Oberfläche bewegt, wobei am Messkopf einerseits eine Wärmequelle und andererseits ein Temperatursensor vorgesehen ist. Der Temperatursensor, der in einem räumlichen Abstand in Bewegungsrichtung hinter der Wärmequelle angeordnet ist, ermöglicht es, das Abkühlverhalten zu bestimmen, woraus Rückschlüsse über die Oberflächenbeschaffenheit gezogen werden können, wodurch insbesondere die Dicke eventuell noch vorhandener Lackschichten erfasst werden kann.

Es hat sich herausgestellt, dass die bekannten Verfahren nicht genau genug sind, um eine zufriedenstellende automatisierte Bearbeitung von Oberflächen, wie etwa von Schiffsrümpfen zu gewährleisten. Darüber hinaus erfolgt die Erfassung der Schichtdicke nur punktwise, so dass die Aussagekraft beschränkt ist.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, diese Nachteile zu vermeiden und ein Verfahren anzugeben, mit dem Werkstückoberflächen schnell und effizient untersucht werden können, wobei insbesondere eine hohe räumliche Auflösung sowohl in Richtung der Oberfläche als auch in der Tiefe und eine große Diskriminierbarkeit erzielbar sein sollen.

Diese Aufgaben werden dadurch gelöst, dass die von der Wärmequelle erwärmten Oberflächenbereiche zu mehreren Zeitpunkten von einer Wärmebildkamera erfasst werden, um von einzelnen Oberflächenpunkten ein Temperaturprofil zu erstellen. Aus dem zeitlichen Verlauf der Oberflächentemperatur wird dabei auf den Zustand des Werkstücks in Dickenrichtung, d.h. unterhalb der Oberfläche rückgeschlossen. Durch die Erfindung ist es möglich, eine Ortsauflösung in allen Dimensionen zu erreichen, die besser als 0,5 cm ist. Dabei erfolgt die Messung in der Regel mit einer Vorschubgeschwindigkeit von etwa 0,1 m/s und einem Abstand der Wärmebildkamera zur Probe von 40 cm. Erste Versuche haben gezeigt, dass mehr als 95% der Restfelder sicher detektiert werden können. Restfelder sind Flächen, an denen noch Beschichtungsreste haften. Durch genauere Justierung sind hier weitere Verbesserungen zu erwarten. Vorteilhaft an der vorliegenden Erfindung ist, dass die Abtastung flächig erfolgt, was die Aussagekraft entsprechend erhöht.

Ein weiterer wesentlicher Aspekt der vorliegenden Erfindung ist die Messung der Schichtdicke. Dadurch ist es möglich, weitere in der Praxis bedeutsame Informationen zu gewinnen. So kann beispielsweise beim Recoating von Schiffsrümpfen die Dicke und/oder die Anzahl der aufzutragenden Schichten in Abhängigkeit von der erfassten Dicke der noch intakten Schichten selektiv eingestellt werden, was zu einer erheblichen Materialersparnis führen kann.

Eine besonders hohe Messgenauigkeit kann dadurch erreicht werden, dass die Wärmequelle mit einer Bewegungsgeschwindigkeit v über die Oberfläche bewegt wird, dass die Wärmebildkamera in Bewegungsrichtung einen Längenbereich der Länge s abdeckt, dass der Zeitabstand der Durchführung von Einzelmessungen des Temperaturbildes mit der Wärmebildkamera jeweils t_0 beträgt und dass weiters der Zeitabstand t_0 kleiner ist als 10%, vorzugsweise kleiner als 5% des Verhältnisses der Länge s zur Bewegungsgeschwindigkeit v , d.h.

$$t_0 < 0,1 \cdot s / v,$$

vorzugsweise

$$t_0 < 0,05 \cdot s / v.$$

Es hat sich herausgestellt, dass auf diese Weise eventuelle Störgrößen einen relativ geringen Einfluss auf das Messergebnis haben.

Eine besonders begünstigte Ausführungsvariante des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, dass zur Beurteilung der Oberfläche eine charakteristische Abkühlzeitkonstante τ berechnet wird. Es hat sich herausgestellt, dass die charakteristische Abkühlzeitkonstante, die in der Folge näher erläutert werden wird, ein besonders gutes Maß für die Oberflächenbeschaffenheit der Probe ist.

Weiters betrifft die vorliegende Erfindung eine Vorrichtung zur Untersuchung der Oberflächenbeschaffenheit von flächigen Strukturen, mit einer Wärmequelle, einer Einrichtung zur Bewegung der Wärmequelle entlang der Oberfläche der Struktur und einer Messeinrichtung zur Erfassung der Oberflächentemperatur der Struktur, die mit der Einrichtung zur Bewegung der Wärmequelle verbunden ist. Erfindungsgemäß ist dabei vorgesehen, dass die Messeinrichtung als Wärmebildkamera ausgebildet ist, die dazu ausgebildet ist, wiederholt Messungen von Bereichen der von der Wärmequelle beaufschlagten Bereiche der Oberfläche durchzuführen, wobei sich die jeweiligen Messbereiche überlappen. Bevorzugt ist die Wärmequelle als Halogenlampe oder als Anordnung mehrerer Halogenlampen ausgebildet. Es können auch längliche und sehr schlanke Infrarotstrahler verwendet werden.

Von besonderem Vorteil ist es, wenn die Wärmebildkamera als IR-Kamera mit einer Auflösung von mindestens 240 mal 320 Pixel ausgebildet ist. Bei Verwendung einer geeigneten Optik und bei einem entsprechendem Aufnahmeabstand kann damit eine Auflösung in der Größenordnung von 1 mm erzielt werden.

In der Folge wird die vorliegende Erfindung anhand der in den Fig. dargestellten Ausführungsbeispiele näher erläutert.

Es zeigen Fig. 1 eine seitliche Ansicht einer Versuchsanordnung, Fig. 2 eine Draufsicht auf die Anordnung von Fig. 1 und Fig. 3 Diagramme zur Darstellung von Messergebnissen.

Allgemein ist zunächst folgendes anzumerken:

Es wurden Informationen über die Prinzipien des Wärmetransports (Leitung, Konvektion und Strahlung) sowie über Thermografie gesammelt. Strahlung wird von Körpern emittiert, wobei die Strahlungsintensitäten von der absoluten Temperatur des Körpers wesentlich abhängen. Die Leitung beschreibt die Wärmeleitung im Material. Um diese Wärmetransportprozesse quantifizieren zu können, ist ein umfangreiches Wissen über Materialeigenschaften notwendig. Daher wurden in weiterer Folge die Eigenschaften Emissionsgrad, Wärmeleitfähigkeit, Temperaturleitzahl, Wärmekapazität und Dichte verschiedener Stähle und Basismaterialien für Lacke gesammelt. Dabei stellte sich heraus, dass diese Daten für Stähle relativ leicht zugänglich und verlässlich sind, jedoch im Gegensatz dazu für Lacke kaum Kennwerte vorhanden sind. Aus diesem Grund ist man darauf angewiesen, die Eigenschaften der Basismaterialien der Lacke zu verwenden. Die Emissivität betreffend können nur tendenzielle Aussagen getroffen werden, da diese sehr stark von der Oberfläche abhängig ist. Es besteht jedoch ein in der Regel großer Unterschied zwischen der Emissivität von Lacken (um 0,9) und von Stahl (zwischen 0,2 und 0,6). Die Emissivität lässt sich jedoch nur bedingt auf den Absorptionsgrad einer Oberfläche umlegen.

Die Wärmeleitung erfolgt aufgrund eines im Material vorhandenen Temperaturgradienten. Die allgemeine Wärmeleitgleichung (Gl. 1) beschreibt diesen Vorgang bezüglich der drei Richtungen des Raumes x, y und z und der Zeit t. Für ein ein-dimensionales Problem ohne innere Wärmequellen ergibt sich als Wärmeleitgesetz gemäß Gleichung (2) mit den unabhängigen Variablen x und t. Die Temperaturleitzahl ergibt sich zu:

$$a = \frac{k}{\rho \cdot c_p}$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{q} = \rho \cdot c_p \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

$$\frac{1}{\rho \cdot c_p} \left[\frac{\partial k}{\partial x} \frac{\partial T}{\partial x} \right] + a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2)$$

dabei bedeuten:

k	$\left[\frac{W}{mK} \right]$	Wärmeleitfähigkeit
ρ	$\left[\frac{kg}{m^3} \right]$	spezifische Dichte
c_p	$\left[\frac{J}{kgK} \right]$	spezifische Wärmekapazität

$$\dot{q} \quad \left[\frac{W}{m^3} \right] \quad \text{pro Volumeneinheit und pro Zeiteinheit erzeugte Wärmemenge}$$

$$a \quad \left[\frac{m^2}{s} \right] \quad \text{Temperaturleitzahl}$$

Das dreidimensionale Problem von Gleichung 1 wird in Gleichung 2 durch Weglassen der vergleichsweise kleinen Terme vereinfacht, um eine geschlossene Lösung zu ermöglichen.

Anhand dieser Gleichungen wurde ein Modell für die eindimensionale Wärmeleitungsgleichung erstellt, das als Grundlage zur Simulation mit einer Software zur Lösung mathematischer Probleme (Matlab) diente. Die Simulationsergebnisse bestätigen die Erwartungen bezüglich Absorption und Wärmeleitung. Aufgrund der großen Unsicherheit bezüglich der Materialkennwerte war es jedoch wichtig, auf experimentelle Untersuchungen überzugehen.

Für die Durchführung erster Versuche zur Leistungsfähigkeit des erfindungsgemäßen Verfahrens wurde eine Messapparatur entwickelt, die schematisch in den Fig. 1 und 2 gezeigt ist. Dabei wird eine zylindrische Probe mit unterschiedlicher Oberflächenbeschaffenheit eingesetzt, die mit 1 bezeichnet ist. Die Probe wird an einer feststehenden Anordnung von sehr schlanken Infrarotstrahlern 2 vorbeibewegt und danach durch eine Infrarotkamera 3 als Wärmebildkamera abgetastet. Die Oberflächen der Proben sind dabei in unterschiedlichen Zusammensetzung lackiert, vollständig sandgestrahlt, leicht sandgestrahlt, wobei die Lackierungen in verschiedenen Lackschichtdicken mit unterschiedlichen Fehlstellen im Lack ausgeführt worden sind.

Im Zuge der Entwicklung des erfindungsgemäßen Verfahrens wurde ein Schätzer für die charakteristische Abkühlzeitkonstante $\hat{\tau}$ entwickelt.

Zur Herleitung eines geeigneten Schätzers für die charakteristische Abkühlzeitkonstante $\hat{\tau}$ wurde das Modell (2) weiter vereinfacht. Zu diesem Zweck wurden die folgenden Annahmen getroffen: Erstens, das Aufheizen erfolgt impulsförmig; und am Impulsende ist die gesamte durch Strahlung zugeführte Energie noch in der Lackschicht. Zweitens, es erfolgt nach dem Aufheizen kein weiterer Energieaustausch an der Lackoberfläche. Und Drittens, die Temperatur des Trägermaterials T_{∞} bleibt während der Abkühlung konstant, weil das Trägermaterial zum Einen eine hohe Wärmeleitfähigkeit und zum Andern eine große Wärmekapazität besitzt.

Mit den getroffenen Annahmen lässt sich die Wärmeübertragung (Lackschicht ins kältere Trägermaterial) mit einer gewöhnlichen homogenen Differenzialgleichung beschreiben.

Die Lösung für die Oberflächentemperatur $T(t)$ ist dann:

$$T(t) = T_A \cdot e^{-(t-t_1)\tau_t} + T_\infty, \quad (2a)$$

wobei T_A den Temperaturunterschied zwischen Lack und Trägermaterial unmittelbar nach dem Aufheizen, T_∞ die konstant angenommene Temperatur des Trägermaterials, t_1 die zeitliche Länge des Aufheizimpulses und τ die Abkühlcharakteristik angeben.

Die Berechnung des Schätzers erfolgt nach folgender Formel (3):

$$\hat{\tau}_{(\varphi p, z)} = \frac{\sum_{m=1}^M (s_{(\varphi p, z)}[m] - s_{(\varphi p, z)}[M])}{(s_{(\varphi p, z)}[1] - s_{(\varphi p, z)}[M]) f_{rate}} \quad (3)$$

Es werden darin mit M die Anzahl der Messwerte der zur Verfügung stehenden Messdaten $s[m]$ und mit dem f_{rate} die Bildwiederholrate der Wärmebildkamera angegeben. Die Indizes $(\varphi p, z)$ geben den Ort auf der Materialprobe an, von dem die Messdaten $s[m]$ stammen.

Durch Simulation der Wärmeleitprozesse, die mit einem aus Lackschicht (Index L) und Metallplatte (Index Fe) zusammengesetzten Block durchgeführt wird, wurde der Einfluss der Materialparameter, wie Temperaturleitzahl a und Schichtdicke l auf die charakteristische Abkühlzeitkonstante τ untersucht. Das Verhältnis der Temperaturleitzahlen

$$\hat{a} = \frac{a_{Fe}}{a_L} \quad (4)$$

wurde dabei für den Bereich $\hat{a} = \{3, \dots, 3200\}$ betrachtet. In obiger Gleichung (4) geben a_{Fe} die Temperaturleitzahl von Stahl und a_L die Temperaturleitzahl der darüber befindlichen Schicht (Lack) an. Bei der Untersuchung hat sich gezeigt, dass zwischen τ und der Dicke l ein nichtlinearer Zusammenhang besteht und dessen Eigenschaften deutlich vom Verhältnis der Temperaturleitzahlen $\hat{a}$ beeinflusst wird.

Damit bei der Simulation die maximal mögliche Empfindlichkeit bei der Zuordnung von Dicke l und charakteristischen Abkühlzeitkonstante $\tau=f(l)$ vorliegt, wird die Länge der Anregungsphase t_1 an die aktuellen Werte für die Dicke und die Temperaturleitzahl a_L von der obersten Schicht angepasst. Als brauchbare Wahl für die Dauer der Anregungsphase hat sich die in beschriebene Transitzeit t_N , die mit der Gleichung

$$t_1 = t_N \approx 0,36 \frac{l^2}{a_L} \quad (5)$$

berechnet wird, herausgestellt. Wie man sieht, hängt die Länge der Anregungsphase t_1 quadratisch von der Dicke l und umgekehrt proportional von der Temperaturleitzahl a_L ab, die sich aus der Wärmeleitfähigkeit k_L , der Dichte ρ_L und der Wärmekapazität c_L der Schicht mit der Gleichung

$$a_L = \frac{k_L}{\rho_L c_L} \quad (6)$$

berechnet wird.

Das Ergebnis der Simulation ist in Fig. 3 dargestellt. In (a) ist die Schichtdicke l gegen die charakteristische Abkühlzeitkonstante τ für unterschiedliche Verhältnisse der Temperaturleitzahlen $\hat{a}$ ($\hat{a}=\{10^{0,5}, \dots, 10^{3,5}\}$) aufgetragen. In (b) ist von (a) der Wertebereich $l=\{0, \dots, 0,5\}$ mm und $\tau=\{0, \dots, 200\}$ ms vergrößert dargestellt. Man sieht dadurch deutlich die in diesem Wertebereich auftretende Mehrdeutigkeit der Graphen mit $\hat{a}=\{10^{0,5}, 10^1\}$. Wie man aus Fig. 3 sieht, ist den Graphen mit zunehmendem Verhältnis der Temperaturleitzahlen $\hat{a}$ ein größer werdender Offset überlagert.

- Die Größe des Offsets, der den Graphen Fig. 3 überlagert ist, nimmt mit steigendem Verhältnis der Temperaturleitzahlen $\hat{a}$ zu.
- Wie man in Fig. 3 sieht, besteht ein nichtlinearer Zusammenhang zwischen der Dicke l und der charakteristischen Abkühlzeitkonstante τ .
- Der Zusammenhang ist zwar nichtlinear, aber über größere Bereiche streng monoton steigend, wodurch eine eindeutige Zuordnung der Dicke l zur charakteristischen Abkühlzeitkonstante τ gegeben ist.

Ein wichtiger Punkt des gezeigten Simulationsergebnisses ist, dass mit zwei Ausnahmen ($\hat{a}=\{3, 16, 10\}$) alle Graphen streng monoton steigend sind und daher eine eindeutige Dickenangabe ermöglichen. Es lassen sich bessere Messergebnisse erzielen, wenn die Temperaturleitzahl a_L der Lackschicht viel kleiner als

die des Trägermaterials (Metallplatte) ist. Die gewählte Dauer der Anregungsphase t_1 ist deswegen interessant, weil ein zu kurzes Intervall das Ergebnis verfälscht.

Im Rahmen dieses Milestones wurde untersucht, wie sich die Eigenschaften der Wärmebildkamera auf die Schichtdickenmessung auswirken. Im Speziellen wurde untersucht, ob mit Änderung der Ortsauflösung, Temperaturlösung, Bildwiederholrate oder Belichtungsdauer der Wärmebildkamera eine Verbesserung der Systemeigenschaften erreichen lässt.

- Eine höhere Ortsauflösung der Wärmebildkamera reicht nicht aus, um die Ortsauflösung des Schichtdickensensors zu erhöhen. Eine Verbesserung der Ortsauflösung wird nur dann erzielt, wenn die Bilderwiederholrate der Wärmebildkamera zunimmt oder die Relativgeschwindigkeit zwischen Materialprobe und Sensor abnimmt.

Das ist deswegen so, weil der örtliche Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Bildpunkten (in Bewegungsrichtung) sich aus dem Quotienten der Relativgeschwindigkeit v und der Bildwiederholrate f_{rate} ergibt.

- Die bessere Temperaturlösung der Wärmebildkamera beeinflusst das Signal/Rauschleistungsverhältnis, was eine geringere Schätzvarianz der charakteristischen Abkühlzeitkonstante τ und damit der gesuchten Schichtdicke zur Folge hat.
- Die eingesetzte Wärmebildkamera hat eine Belichtungsdauer von ca. 20 μs . Diese muss für die Wahl der maximalen Relativgeschwindigkeit berücksichtigt werden, damit ein von einem Kamerapixel erfasster Bereich nicht benachbarter Pixelbereiche überschneidet (Verschmieren).

Das für die Messung eingesetzte Messsystem wurde bereits kurz diskutiert. Die geometrische Anordnung der Sensorkomponenten ist in Fig. 1 und 2 in Form einer Skizze im Detail dargestellt. Die prinzipielle Anordnung der Komponenten wird mit einer Ansicht und dem dazugehörigen Grundriss gezeigt. Die eingesetzte IR-Kamera der Firma NEC hat eine Temperaturlösung von 80 mK, eine Bildpunktanzahl von 320x240 Pixel und eine maximale Bildwiederholrate von 30 Hz. Beim Messen ist die Kamera mittels eines leistungsfähigen Bussystems an einen PC angeschlossen, auf dem die Bilddaten weiterverarbeitet werden. Die für die Anregung nötige Leistung wird von drei Halogenlampen 8 in der Form von schlanken Linienquellen produziert, die je 1,5 kW elektrische Leistung aufnehmen. Zu vermessende Proben liegen auf dem Rotationstisch des sogenannten

Demonstrators. Die Winkelgeschwindigkeit ω kann zwischen 0 und $\approx 1,5\pi$ rad/s eingestellt werden, was bei einem Probenradius von $r=20,5$ cm eine maximale Umfangsgeschwindigkeit von $v_{\max} \approx 0,94$ m/s ergibt.

Typische Werte für die Einstellung der Parameter für die Schichtdickenmessung sind in Tabelle 1 angegeben.

Variable	Bezeichnung	Wert	Einheit
r	Probenradius	20,5	cm
v	Messgeschwindigkeit	11,2	cm/s
f_{rate}	Bildwiederholfrequenz	30	Hz
α	Umfangswinkel (Lampe)	0,53	rad
β	Bildwinkel (IR-Kamera)	0,62	rad
γ	Position der Objektivachse (IR-Kamera)	$\beta/2$	rad
ω	Winkelgeschwindigkeit	0,55	rad/s

Für die Restfeldererkennung sind die in Tabelle 2 angegebenen Einstellungen vorgenommen worden.

Variable	Bezeichnung	Wert	Einheit
r	Probenradius	20,5	cm
v	Messgeschwindigkeit	37,1	cm/s
f_{rate}	Bildwiederholfrequenz	30	Hz
α	Umfangswinkel (Lampe)	0,53	rad
β	Bildwinkel (IR-Kamera)	0,62	rad
γ	Position der Objektivachse (IR-Kamera)	$\beta/2$	rad
ω	Winkelgeschwindigkeit	1,81	rad/s

013038

- 10 -

Mit der vorliegenden Erfindung ist es möglich, die Schichtdicke von Lackschichten und die sonstige Oberflächenbeschaffenheit von Werkstücken mit hoher Genauigkeit automatisch und bei hohen Relativgeschwindigkeiten zu erfassen.

PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zur Untersuchung der Oberflächenbeschaffenheit von flächigen Strukturen (1), bei dem durch eine entlang der Oberfläche bewegte Wärmequelle (2) fortlaufend bestimmte Oberflächenbereiche zunächst kontrolliert erwärmt werden und nach einer vorbestimmten Zeit Temperaturmessungen durchgeführt werden, um das Abkühlverhalten zu bestimmen, **dadurch gekennzeichnet**, dass die von der Wärmequelle (2) erwärmten Oberflächenbereiche zu mehreren Zeitpunkten von einer Wärmebildkamera (3) erfasst werden, um von einzelnen Oberflächenpunkten ein Temperaturprofil zu erstellen.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wärmequelle mit einer Bewegungsgeschwindigkeit v über die Oberfläche bewegt wird, dass die Wärmebildkamera (3) in Bewegungsrichtung einen Längenbereich der Länge s abdeckt, dass der Zeitabstand der Durchführung von Messungen mit der Wärmebildkamera (3) jeweils t_0 beträgt und dass weiters der Zeitabstand t_0 kleiner ist als 10%, vorzugsweise kleiner als 5% des Verhältnisses der Länge s zur Bewegungsgeschwindigkeit v , d.h.
$$t_0 < 0,1 \cdot s / v,$$

vorzugsweise

$$t_0 < 0,05 \cdot s / v.$$
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Beurteilung der Oberfläche mindestens eine charakteristische Abkühlzeitkonstante τ berechnet wird.
4. Vorrichtung zur Untersuchung der Oberflächenbeschaffenheit von flächigen Strukturen (1), mit einer Wärmequelle (2), einer Einrichtung zur Bewegung der Wärmequelle (2) entlang der Oberfläche der Struktur und einer Messeinrichtung (3) zur Erfassung der Oberflächentemperatur der Struktur (1), die mit der Einrichtung zur Bewegung der Wärmequelle (2) verbunden ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Messeinrichtung (3) als Wärmebildkamera (3) ausgebildet ist, die dazu ausgebildet ist, wiederholt Messungen von Bereichen der von der Wärmequelle (2) beaufschlagten Bereiche der Oberfläche durchzuführen, wobei sich die jeweiligen Messbereiche überlappen.
5. Vorrichtung nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wärmequelle (2) als mindestens eine Halogenlampe ausgebildet ist.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mindestens eine Halogenlampe stabförmig ausgebildet ist.
7. Vorrichtung nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wärmequelle (2) als mindestens ein Infrarotstrahler ausgebildet ist.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wärmebildkamera (3) als IR-Kamera mit einer Auflösung von mindestens 240 mal 320 Pixel ausgebildet ist.

2007 11 20

Ba/Sc



Patentanwalt

Dipl.-Ing. Mag. Michael Babeluk

A-1150 Wien, Mariahilfer Gürtel 39/17

Tel.: (+43 1) 892 89 33-0 Fax: (+43 1) 892 89 333

~~email: michael.babeluk@patentanwalt.at~~

Fig. 1

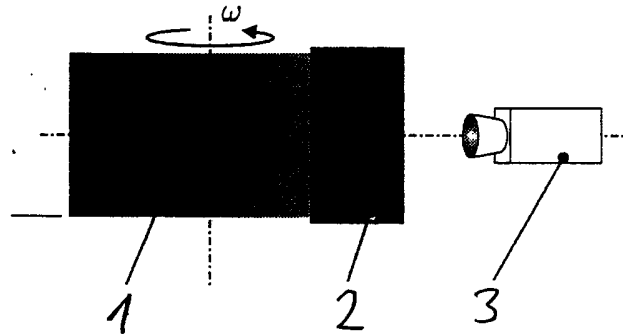


Fig. 2

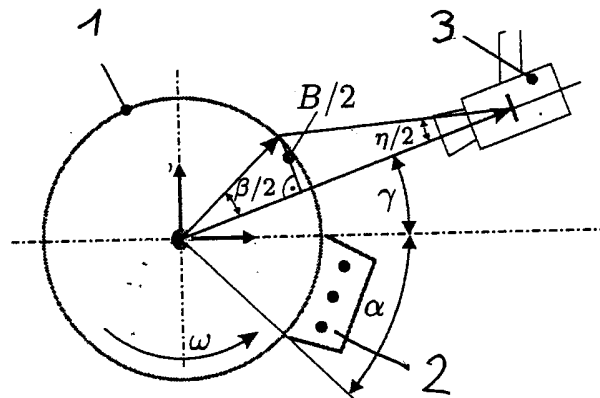
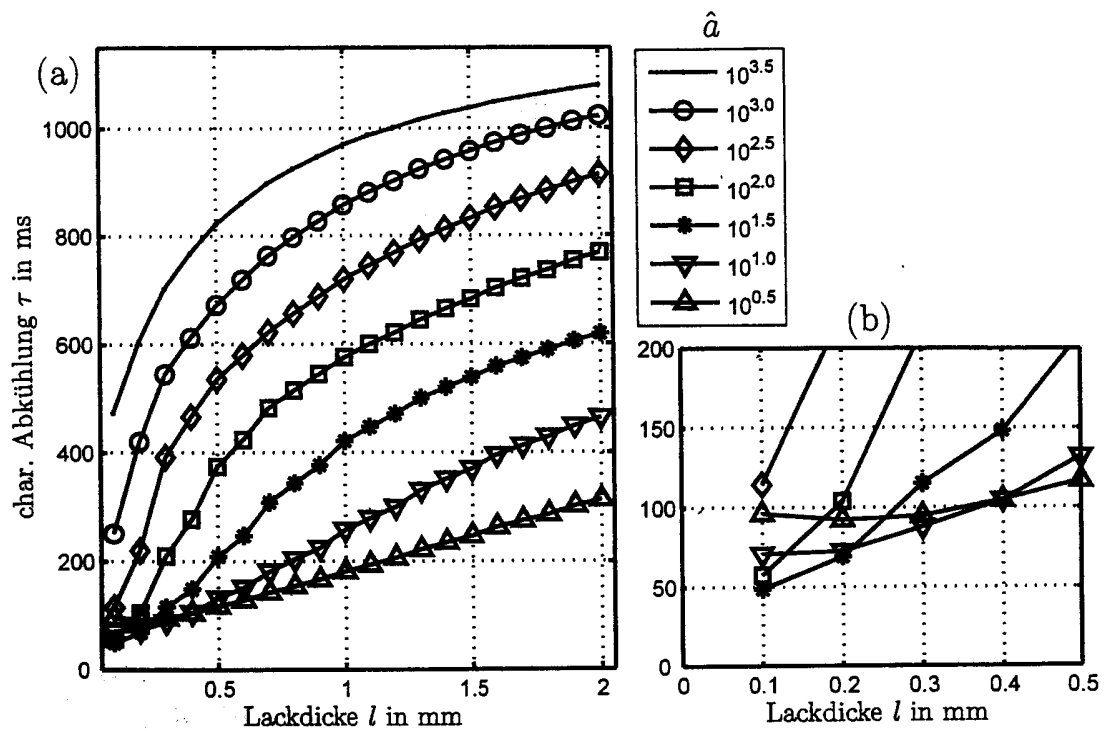


Fig. 3



(neue) PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zur Untersuchung der Oberflächenbeschaffenheit von flächigen Strukturen (1), bei dem durch eine Wärmequelle (2) fortlaufend bestimmte Oberflächenbereiche zunächst kontrolliert erwärmt werden und nach einer vorbestimmten Zeit Temperaturmessungen durchgeführt werden, um das Abkühlverhalten zu bestimmen, indem die von der Wärmequelle (2) erwärmten Oberflächenbereiche zu mehreren Zeitpunkten von einer Wärmebildkamera (3) erfasst werden, um von einzelnen Oberflächenpunkten ein Temperaturprofil zu erstellen, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wärmequelle mit einer Bewegungsgeschwindigkeit v über die Oberfläche bewegt wird, dass die Wärmebildkamera (3) in Bewegungsrichtung einen Längenbereich der Länge s abdeckt, dass der Zeitabstand der Durchführung von Messungen mit der Wärmebildkamera (3) jeweils t_0 beträgt und dass weiters der Zeitabstand t_0 kleiner ist als 10%, vorzugsweise kleiner als 5% des Verhältnisses der Länge s zur Bewegungsgeschwindigkeit v , d.h.
$$t_0 < 0,1 \cdot s / v,$$

vorzugsweise
$$t_0 < 0,05 \cdot s / v.$$
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Beurteilung der Oberfläche mindestens eine charakteristische Abkühlzeitkonstante τ berechnet wird.
3. Vorrichtung zur Untersuchung der Oberflächenbeschaffenheit von flächigen Strukturen (1), mit einer Wärmequelle (2) und einer als Wärmebildkamera (3) ausgebildeten Messeinrichtung (3) zur Erfassung der Oberflächentemperatur der Struktur (1), die mit der Einrichtung zur Bewegung der Wärmequelle (2) verbunden ist, und die dazu ausgebildet ist, wiederholt Messungen von Bereichen der von der Wärmequelle (2) beaufschlagten Bereiche der Oberfläche durchzuführen, **dadurch gekennzeichnet**, eine Einrichtung zur Bewegung der Wärmequelle (2) entlang der Oberfläche der Struktur vorgesehen ist, um mehrere Messbereiche abzudecken, wobei sich die jeweiligen Messbereiche überlappen, und dass die Wärmebildkamera (3) eine Bildwiederholfrequenz (f_{rate}) aufweist, die so bestimmt ist, dass der Zeitabstand der Durchführung von Messungen mit der Wärmebildkamera (3) jeweils t_0 beträgt und dass weiters der Zeitabstand t_0 kleiner ist als 10%, vor-

012315
- 2 -

zugsweise kleiner als 5% des Verhältnisses der Länge s zur Bewegungsgeschwindigkeit v , d.h.

$$t_0 < 0,1 \cdot s / v,$$

vorzugsweise

$$t_0 < 0,05 \cdot s / v.$$

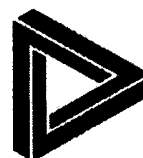
4. Vorrichtung nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wärmequelle (2) als mindestens eine Halogenlampe ausgebildet ist.
5. Vorrichtung nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mindestens eine Halogenlampe stabförmig ausgebildet ist.
6. Vorrichtung nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wärmequelle (2) als mindestens ein Infrarotstrahler ausgebildet ist.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Wärmebildkamera (3) als IR-Kamera mit einer Auflösung von mindestens 240 mal 320 Pixel ausgebildet ist.

2008 11 13

Ba

367 Paul
Patentanwalt
Dipl.-Ing. Mag. Michael Babeluk
A-1150 Wien, Mariahilfer Gurtel 39/17
Tel.: (+43 1) 892 89 33-0 Fax: (+43 1) 892 89 333
E-Mail: michael.babeluk@patentanwalt.at

NACHGEREICHT



Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß IPC ⁸ : G01B 11/06 (2006.01); G01N 25/72 (2006.01)		
Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß ECLA: G01B 11/06C2 ; G01B 21/08K ; G01N 25/72		
Recherchierter Prüfstoß (Klassifikation): G01B ; G01N		
Konsultierte Online-Datenbank: Epodoc ; WPI		
Dieser Recherchenbericht wurde zu den am 20. November 2007 eingereichten Ansprüchen 1-8 erstellt.		
Kategorie ¹⁾	Bezeichnung der Veröffentlichung: Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungsdatum, Textstelle oder Figur soweit erforderlich	Betreffend Anspruch
Y	US 2006/0262971 A1 (Foes et al.) 23. November 2006 (23.11.2006) <i>Figuren; Absätze [0019; 0021; 0023; 0024; 0027; 0033]</i> --	1,4-8
Y	US 6 000 844 A (Cramer et al.) 14. Dezember 1999 (14.12.1999) <i>Figuren; Zusammenfassung; Spalte 8, Zeile 25-31;</i> --	1,4-8
A	DE 198 46 995 A1 (Fraunhofer-Gesellschaft) 4. Mai 2000 (04.05.2000) <i>Figuren; Spalte 4, Zeile 3-14; Patentanspruch 1</i> --	1,4
A	EP 0 347 641 A2 (Sölter) 27. Dezember 1989 (27.12.1989) <i>Figuren; Spalte 6, Zeile 21-30; Patentanspruch 13</i> --	1,4
A	DE 10 2007 017 027 A1 (DaimlerChrysler AG) 18. Oktober 2007 (18.10.2007) <i>Figuren; Zusammenfassung</i> --	1,4
A	DE 10 2004 037 575 A1 (DaimlerChrysler AG) 16. März 2006 (16.03.2006) <i>Figuren; Zusammenfassung</i> ----	1,4
Datum der Beendigung der Recherche: 23. April 2008		☐ Fortsetzung siehe Folgeblatt Prüfer(in): Dr. SCHULTZ
¹⁾ Kategorien der angeführten Dokumente: X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung : der Anmeldungsgegenstand kann allein aufgrund dieser Druckschrift nicht als neu bzw. auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden. Y Veröffentlichung von Bedeutung : der Anmeldungsgegenstand kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren weiteren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist. A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert. P Dokument, das von Bedeutung ist (Kategorien X oder Y), jedoch nach dem Prioritätstag der Anmeldung veröffentlicht wurde. E Dokument, das von besonderer Bedeutung ist (Kategorie X), aus dem ein älteres Recht hervorgehen könnte (früheres Anmeldedatum, jedoch nachveröffentlicht, Schutz ist in Österreich möglich, würde Neuheit in Frage stellen). & Veröffentlichung, die Mitglied der selben Patentfamilie ist.		