

Zerstörungsfreie Qualitätssicherung an Verbundwerkstoffen mittels Wärmefluss-Thermografie

Verbundwerkstoffe erlangen zunehmende Bedeutung in verschiedenen Bereiche der Technik, zum Beispiel im Bau von Flugzeugen, Straßen- und Schienenfahrzeugen und im Baubereich. Häufig bestehen sie zu einem wesentlichen Teil aus Kunststoff. Auch ist in der Praxis oft eine schnelle Prüfung großer Flächen erforderlich. Die aktive Wärmefluss-Thermografie, bei der die unterschiedlich schnelle Diffusion einer äußeren thermischen Anregung ausgenutzt wird, um strukturelle Unterschiede in ein Temperaturmuster auf der Oberfläche abzubilden, ist für viele Prüfaufgaben an Verbundwerkstoffen besonders geeignet. Die moderate Wärmeleitfähigkeit von Kunststoffen ist für das Verfahren günstig, und die berührungslose und bildgebende Natur der Thermografie ermöglicht eine zügige Prüfung auch an großen Objekten.

Als besonders leicht prozessintegrierbare Variante der Wärmefluss-Thermografie hat sich die Inline-Thermografie bewährt (Bild 1 links), bei der die Prüfobjekte erst einen Heizstrahler und dann die Thermografie-Kamera passieren. Sie ist problemlos auf sehr große Prüfobjekte übertragbar. In diesem Fall stehen die Objekte still, während sich der Messaufbau daran entlang bewegt (Bild 1 rechts).

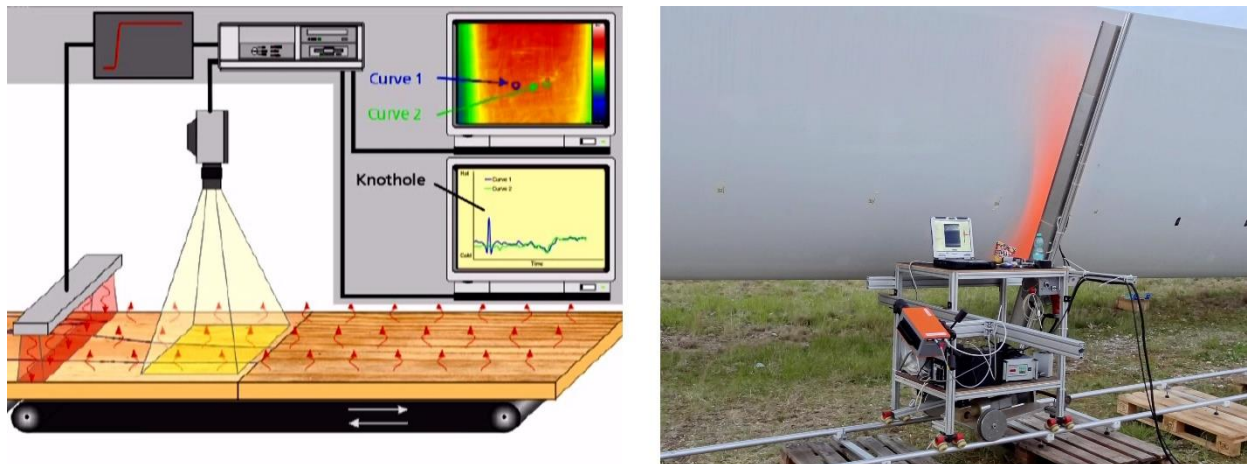


Bild 1: Prinzip der Inline-Thermografie mit beweglicher Probe (links) und beweglichem Messaufbau (rechts)

Ihrer Natur entsprechend müssen Verbundwerkstoffe in vielen Fällen auf die korrekte Verklebung ihrer Bestandteile geprüft werden. Ein instruktives Beispiel dafür sind Türen von U-Bahn-Fahrzeugen. Sie bestehen im Wesentlichen aus Aluminiumhohlprofilen, die von innen und außen mit dünnen Aluminiumblechen verklebt sind. In diese werden das Fenster, ein Schaumkern direkt darunter und zwei kleine dreieckige Schaumteile rechts und links oberhalb des Fensters eingeklebt (Bild 2 a).

jochen.aderhold@wki.fraunhofer.de

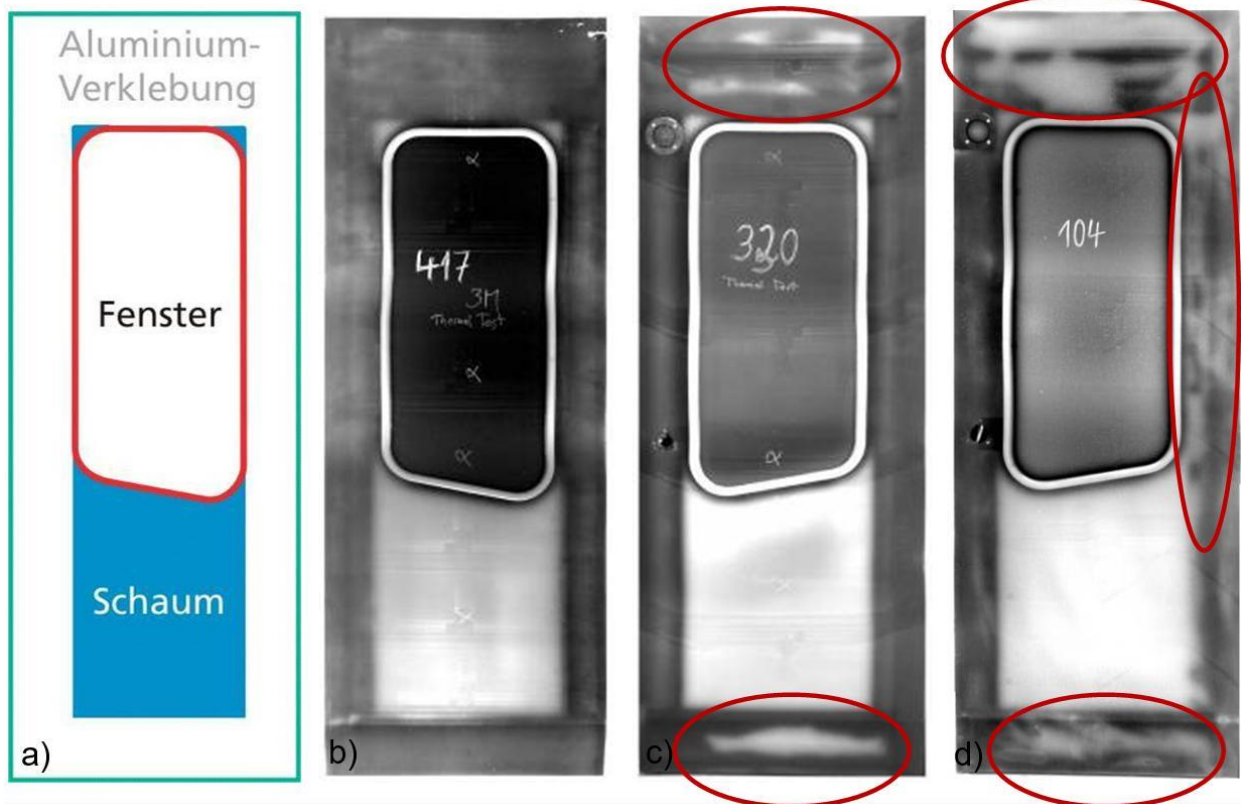


Bild 2: Schema (links) und Thermogramme von drei U-Bahntüren mit unterschiedlich ausgeprägten Delaminationen

Für die angestrebte Lebenszeit von ca. 30 Jahren muss eine vollständige Verklebung zwischen den Aluminiumdeckschichten und den Hohlprofilen sichergestellt werden. In einem ersten Schritt wurden am WKI einige Türen aus den Wagons ausgebaut, auf einem Förderband unter einer Wärmequelle hindurchgeführt und mittels Infrarot-Kamera untersucht. Die vorhandenen Haftungsfehler konnten auf diese Weise schnell und sicher als wärmere / hellere Stellen erkannt werden. In Bild 2 b) bis d) sind drei Thermografie-Aufnahmen von unterschiedlich gut verklebten Türen zu sehen. Außer den Fenstern ist deutlich der Schaum unterhalb des Fensters wie auch die beiden kleinen Dreiecke darüber zu erkennen. Darüber hinaus ist eine gute Verklebung der Deckschichten mit den darunter liegenden Profilen als dunkler Bereich zu erkennen (b), während sich die Delaminationen als hellere Bereiche, durch rote Ellipsen gekennzeichnet, in der dunklen Umgebung deutlich abheben (c und d).

Um sicherzustellen, dass ca. 800 bereits verbaute Türblätter in den Zügen verbleiben können, erfolgten durch das WKI auch Messungen an fertigen Zügen. Hierzu kam eine Kinematik zum Einsatz, mit der ein Heizstrahler am Bahnsteig an einer Tür vertikal entlanggeführt werden konnte. Eine feststehende Thermografie-Kamera nahm die resultierenden Temperaturmuster auf (Bild 3).

jochen.aderhold@wki.fraunhofer.de



Bild 3: Prüfung von eingebauten U-Bahn-Türen am Bahnsteig

Ein weiteres Beispiel für große Bauteile aus Verbundwerkstoffen sind Rotorblätter von Windenergieanlagen. Diese werden durch häufig wechselnde Lasten wie Windkräfte, Gewichtskräfte, Fliehkräfte und Trägheitskräfte hoch beansprucht. Liegen dann auch noch Produktionsfehler vor, können unterschiedlichste Schädigungen der Rotorblätter die Folge sein. Das Schadensspektrum reicht dabei von Ertragseinbußen bis zum Totalausfall der Anlage.

Eine sorgfältige Qualitätskontrolle und eine regelmäßige Vor-Ort-Prüfung sind daher für den sicheren und wirtschaftlichen Betrieb unerlässlich. In der Praxis wird allerdings neben der rein visuellen Inspektion meist nur der so genannte Klopfest eingesetzt. Diese Methode setzen viel Erfahrung beim Anwender voraus und sind nicht automatisierbar. Ferner sind viele Fehler auf diese Weise nicht detektierbar.

Mit der aktiven Wärmefluss-Thermographie können Rotorblätter zerstörungsfrei und wesentlich schneller und zuverlässiger als bisher auf Defekte wie Lufteinschlüsse, Delaminationen und fehlerhafte Verklebungen geprüft werden. Das WKI hat halbautomatische Thermografie-Systeme zur Rotorblattprüfung entwickelt, mit denen Rotorblattoberflächen mit einer Geschwindigkeit von mehreren Quadratmetern pro Minute geprüft werden können. Die Prüfung kann sowohl in der Fertigung als auch am hängenden Blatt als auch auf der Baustelle erfolgen. Einen typischen Messaufbau auf der Baustelle zeigt (Bild 1 rechts). Ein Messwagen mit einem Heizstrahler und einer Thermografie-Kamera bewegt sich mit einer Geschwindigkeit im Bereich von Metern pro Minute am Rotorblatt vorbei.

Der Katalog möglicher Fehler ist umfangreich, ein Beispiel zeigt (Bild 4): Zur Verklebung des lasttragenden Stegs mit der aerodynamischen Hülle wurden Kleberaupen aufgetragen, die aber beim Zusammenfügen nicht überall, wie offenbar vorgesehen, vollflächig verteilt wurden. Die dermaßen reduzierte Festigkeit der Verklebung führte in der Nähe von Hannover Anfang Januar 2012 zu einem Unfall, bei dem Teile eines Rotorblatts im Sturm „Ulli“ abbrachen.

jochen.aderhold@wki.fraunhofer.de

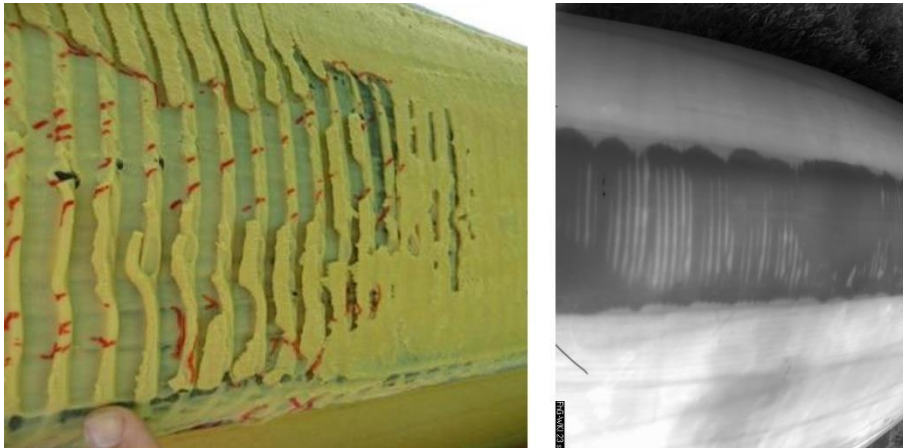


Bild 4: Fotografie (links) und Wärmebild (rechts) eines Rotoblattes mit unzureichender Verklebung zwischen Steg und Hülle

Zur Qualitätssicherung von Verbundwerkstoffen kann auch die Überwachung relevanter Materialparameter gehören. Bei Baumaterialien mit wärmeisolierender Funktion gehört dazu die Wärmeleitfähigkeit. Die Messung der Wärmeleitfähigkeit nach genormten Verfahren ist zeitaufwändig. Daher bestand der Wunsch nach der Entwicklung eines Inline-Verfahrens zur Messung dieser Größe. In einem vom deutschen Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Projekt namens „KontiSens“ hat das WKI die Frage untersucht, ob sich eine thermografische Methode für diesen Zweck eignet.

Der Ansatz bestand darin, das Material am Ende des Herstellungsprozesses mit einem Laserpuls zu erwärmen und die nachfolgende Entwicklung der Oberflächentemperatur thermografisch zu erfassen. Dabei ist die Temperatur als Funktion vom horizontalen Abstand zum Auftreffpunkt des Lasers und der Zeit $T(x,y,t)$ ein Maß für die räumliche Verteilung der Wärmeleitfähigkeit $\kappa(x,y,z)$.

In der linken Hälfte von Bild 5 erkennt man die thermischen Signaturen solcher Laserpulse auf einem Isolationsmaterial. Die zugehörigen Intensitätsprofile (rechter Teil von Bild 5) lassen sich durch Bildverarbeitungsalgorithmen extrahieren. Zu den verbleibenden Herausforderungen gehören die Gewährleistung einer stabilen thermischen Anregung, eventuell sogar mit negativem Vorzeichen durch Kühlfinger, um die thermische Belastung des Materials zu verringern.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass sich die aktive Wärmefluss-Thermographie gut zur zerstörungsfreien Qualitätskontrolle von Verbundwerkstoffen eignet, nicht nur zur Kontrolle auf strukturelle Fehler, sondern auch zum Inline-Monitoring bestimmter Materialparameter

jochen.aderhold@wki.fraunhofer.de

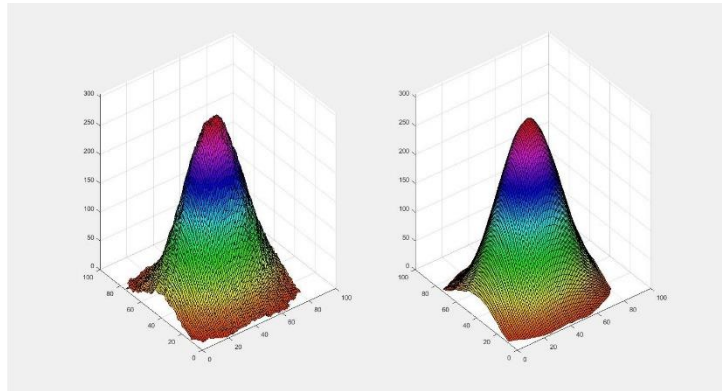
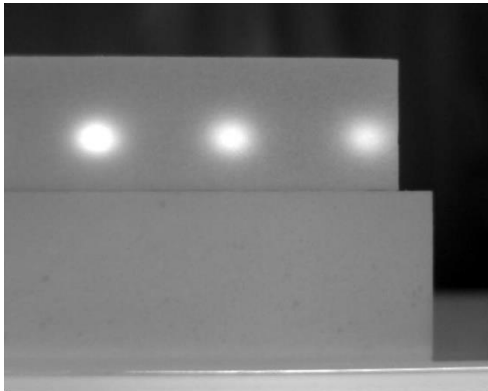


Bild 5: Thermische Signaturen von Laserpulsen auf Isolationsmaterialien (links) und Intensitätsprofil eines Pulses mit und ohne Glättung (rechts)