Thermographie zur Qualitätssicherung

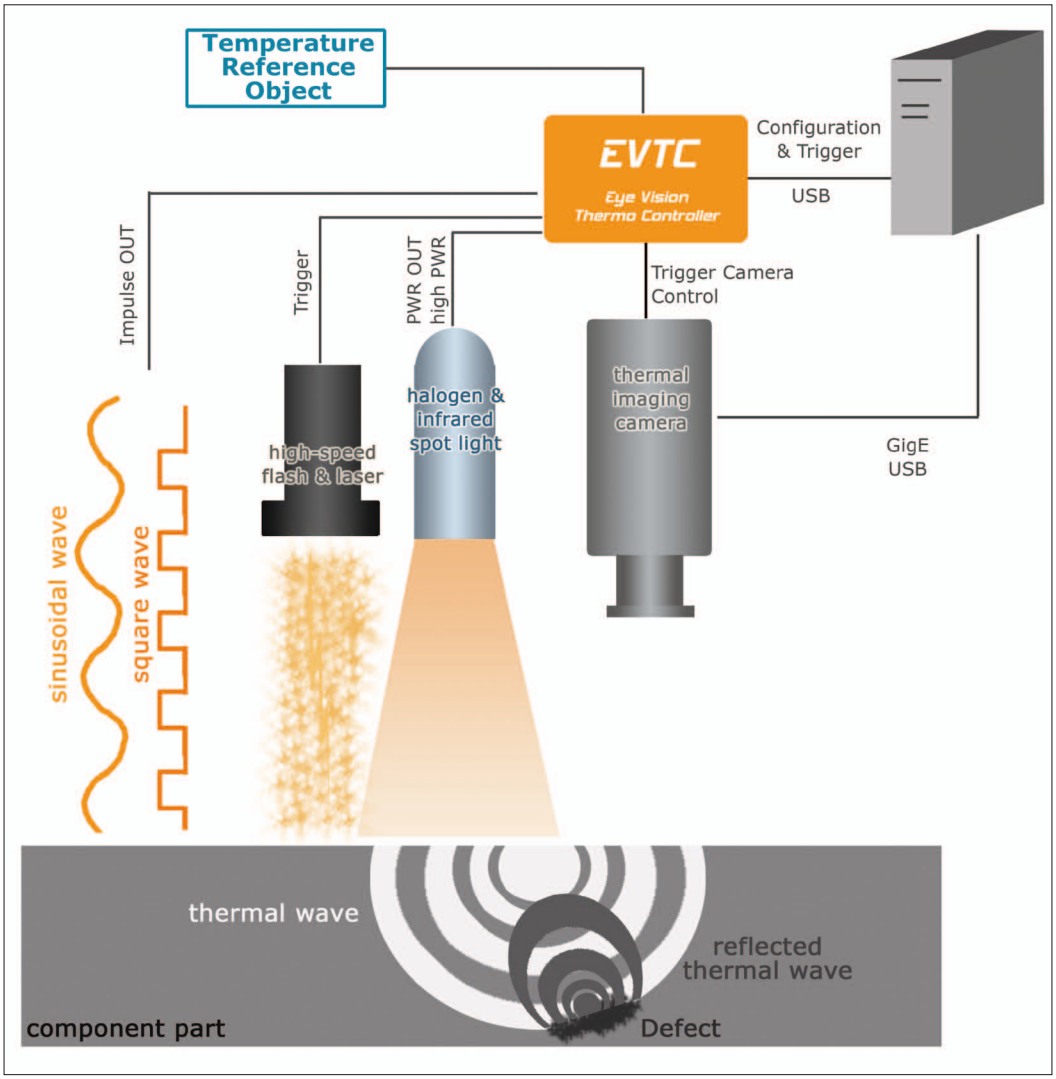

Bild 1: Skizze des Funktionsaufbaus vom EVTC mit unterschiedlichen Beleuchtungsmethoden

Die Thermografie ist eine zerstörungsfreie Prüfmethode, die Fehlstellen erkennt, die nicht an der Oberfläche liegen und mit blosem Auge nicht erkennbar sind. Durch die Entwicklung leistungsfähiger Sensoren gewinnt die Technik auch in der Qualitätssicherung immer mehr an Bedeutung. Thermographiesysteme liefern hochauflösende thermische Analysen für die Qualitätssicherung, die auch im Produktionsprozess direkt möglich sind. Diese Prüfmethode lässt sich in vielen Bereichen der Industrie zur Qualitätssicherung einsetzen. In der Industrie werden Thermographie-Systeme derzeit vor allem zur Temperaturkontrolle von industriellen Anlagen eingesetzt.

Emission

Die Thermografie beruht auf der Messung der Infrarotstrahlung, die ein Körper abgibt oder emittiert. Die Intensität der Strahlung, die von einem Punkt ausgeht, wird gemessen und in Temperaturwerte umgesetzt. Jeder Körper, dessen Temperatur über dem absoluten Nullpunkt von -273 °C liegt, sendet neben dem sichtbaren Licht ein temperaturabhängiges Spektrum elektromagnetischer Wellen aus. Da es sich um infrarote Strahlung handelt, ist sie für das menschliche Auge nicht sichtbar. Mit einer Thermographiekamera kann die Strahlung sichtbar gemacht werden. Der Emissionsgrad gibt an, wie viel Infrarotstrahlung ein Körper im Vergleich zu einem idealen schwarzer Körper abgeben kann. Dieser hat einen Emissionsgrad von 1. So beträgt die abgegebene Strahlung von der Oberfläche des Messobjekts 100 %.

Emissions- und Reflexionsgrad sowie thermische Leitfähigkeit eines Messobjekts hängen stark von den Materialeigenschaften ab. Nichtmetalle haben einen Emissionsgrad von 0,9 daher eine emittierte Strahlung von 90 %. Die meisten polierten Metalle weisen einen Emissionsgrad von 0,05 bis 0,1 auf, während er bei von Korrosion beeinträchtigten Metallen zwischen 0,3 und 0,9 liegt. Die meisten Lacke haben einen Emissionsgrad von ca. 0,95 genauso wie Elektro-Klebebänder.

Liegt der Wert unter 0,2 ist eine Messung nahezu unmöglich, sofern der Emissionsgrad nicht künstlich erhöht wird. Heutzutage gibt es kostengünstige Verfahren, die einen niedrigen Emissionsgrad bei Messobjekten ausgleichen, den Reflexionsgrad des Objekts verringern und somit die Messgenauigkeit erhöhen.

In den industriellen Anwendungsbereichen findet man zahlreiche Messobjekte mit niedrigem Emissionsgrad, z. B. in der Elektrik. Da der Emissionsgrad materialabhängig ist, ist es wichtig, die Einstellung der Wärmebildkamera darauf anzupassen, da ansonsten die Temperaturdaten verfälscht sind.

Man unterscheidet zwischen passiver und aktiver Thermographie. Welches Verfahren eingesetzt wird, ist von der jeweiligen Situation abhängig.

Passive Thermographie

Bei der passiven Thermographie wird die Eigenwärme des Objektes zur thermografischen Messung verwendet. Man benötigt also keine externe Wärmequelle. Der Wärmeeintrag kann auch während des Produktionsprozesses erfolgen. Die passive Thermografie eignet sich deshalb besonders gut zur Überprüfung und Überwachung beim Fügen von Bauteilen. Dabei kann es sich um Schweiß-, Klebe- oder Lötverbindungen handeln. Unterschiedliche Werkstoffe spielen hier eine untergeordnete Rolle, solange die Fügestelle Strahlung im Infrarotbereich mit Wellenlängen zwischen

Autor:
Michael Beising,
Geschäftsführer
EVT Eye Vision Technology
www.evt-web.com

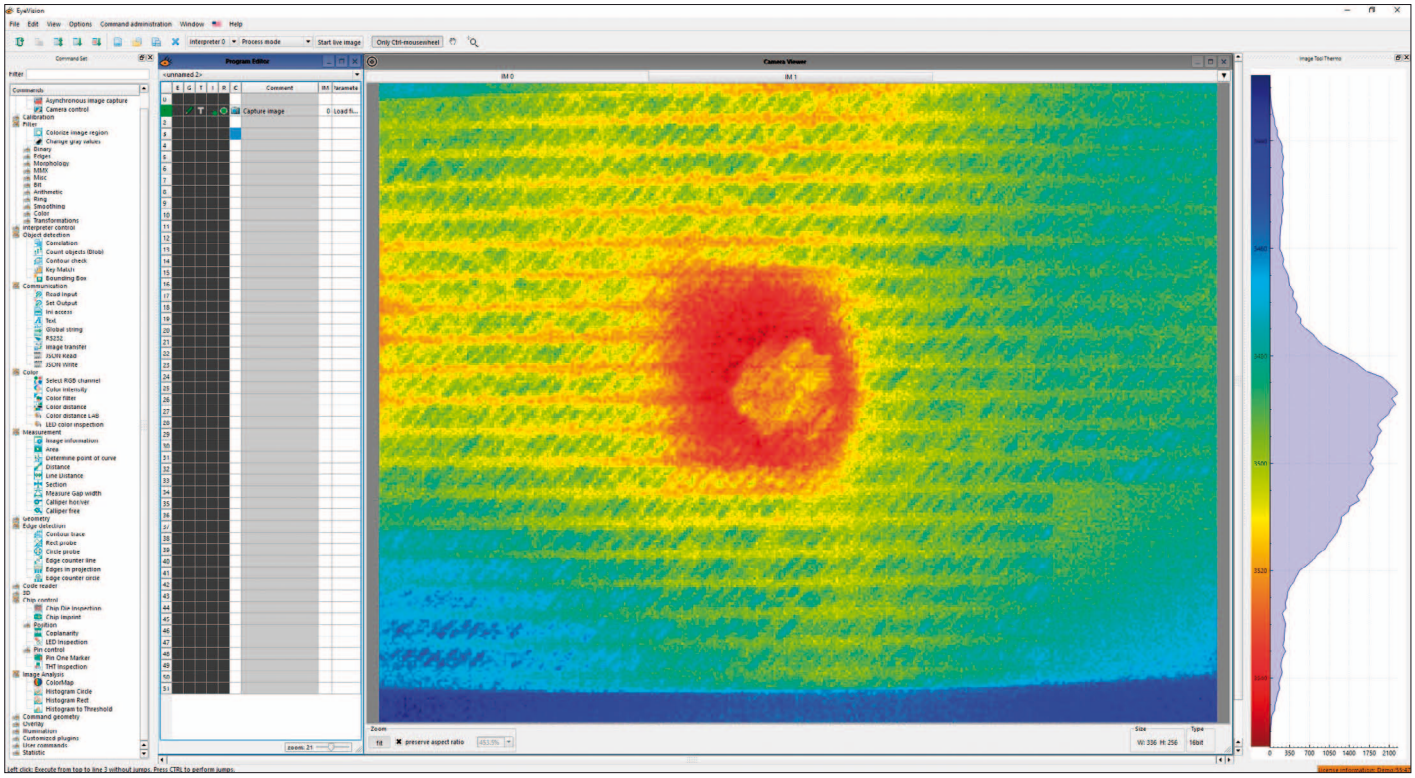

Bild 2: Die EyeVision Thermo Software: Thermografiebild von einem Faserverbundwerkstoff mit einem Defekt (aktive Thermografie)

0,8 bis 12 Mikrometer emittiert. Es können also auch Fügeprozesse mit Kunststoffen oder Kunststoffbeimischungen bewertet werden. Die Messung erfolgt inline, berührungslos, zerstörungsfrei und prozessgekoppelt. Die geometrische Temperaturverteilung an der Oberfläche liefert Informationen über die Wärmeableitung in das Innere der Fügestelle. Abweichungen können sofort bemerkt und korrigiert werden. So wird eine hohe Fügequalität sichergestellt.

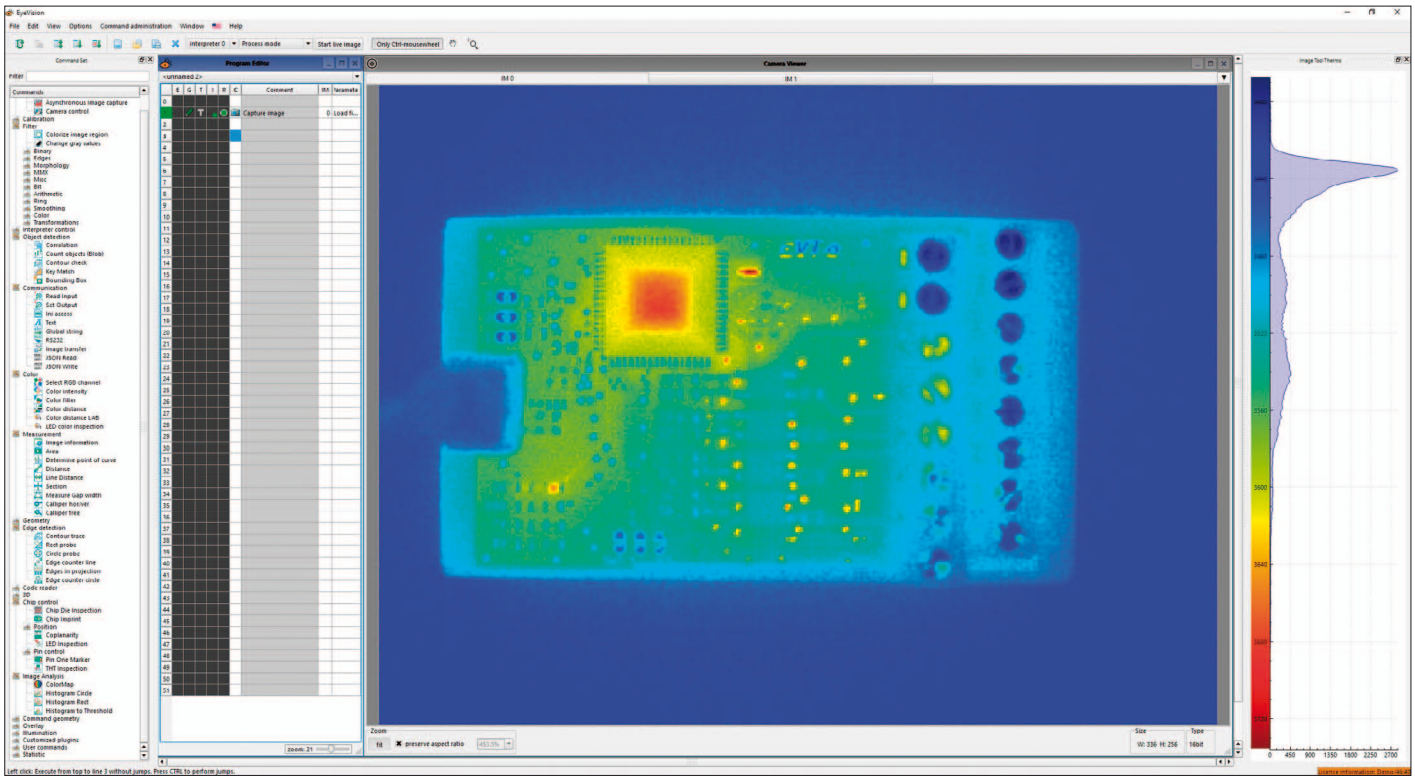

Bild 3: Die EyeVision Thermo Software: Platine mit erhitztem Chip (passive Thermografie)

Probleme bei thermisch gefügten Bauteilen

Das Ultraschall-Fügeverfahren kommt in vielen Branchen der Kunststoffindustrie (u. a. im Automotive-, Elektro- und Health-Care-Bereich) zum Einsatz. Beim Schweißprozess können jedoch Schwankungen in der Nahtqualität bei unveränderten Maschinen- und Parametereinstellungen auftreten. Zu den häufigsten Fehlerursachen zählen geänderte Herstellungsbedingungen, Formteiltoleranzen oder Lagereinflüsse. Die Prozessüberwachung beim Ultraschallschweißen erfolgt anhand der Grenzwertüberwachung der Maschinensteuerung. Eine zuverlässige Qualitätssicherung ist daher mit der Maschinenüberwachung nicht immer gewährleistet, da sie keine Aussage darüber gibt, wie sich der Schall und die eingebrachte Energie im Bauteil ausbreiten. Mit Hilfe der passiven Thermographie kann die Wärmeableitung in der Schweißnaht kontrolliert werden.

Aktive Thermographie

Bei dieser Methode wird das Prüfobjekt gezielt erwärmt und die nachfolgende Wärmeausbreitung beobachtet. Die Energie kann durch Bestrahlung, Ultraschall oder Wirbelstrom eingebracht werden. Der zeitliche Anregungsverlauf kann dabei über eine Impulsanregung oder Modulation erfolgen. Anschließend wird das Verhalten des Wärmeflusses untersucht. Ist der Wärmefluss verändert oder gestört, liegt eine Fehlstelle vor.

Erwärmt man beispielsweise die Oberfläche eines Prüfobjektes mit einem kurzen Wärmeimpuls, breitet sich die Wärme von außen nach innen aus, also von der Oberfläche ins Körperinnere. Es reicht bereits eine geringe Erwärmung von wenigen zehntel Grad Celsius mit einem Infrarotstrahler, UV-Licht oder Ultraschall. Wenn sich ein Fehler mit geringer Wärmeleitfähigkeit unter der Oberfläche befindet, wird der Wärmetransport beeinträchtigt. Das bedeutet die Oberfläche bleibt länger warm. Eine Thermographie-Kamera erkennt diese heißen Stellen und weist somit auf Fehler wie Lunker, Hohlräume und Delaminationen hin.

Wärmefluss-Thermographie

Bei der Wärmefluss-Thermographie wird die Verteilung der Wärme direkt nach dem Einbringen der Energie oder während des Einbringens gemessen. Dazu braucht man einen sehr schnellen Sensor, der den Wärmefluss im Prüfobjekt aufnehmen kann. Vorteilhaft ist dabei, dass jedes Material eine unterschiedliche Wärmeleitfähigkeit hat. Ändert sich also der Wärmefluss, liegt ein Materialdefekt vor. So lassen sich Fehler unterhalb der Oberfläche erkennen. Das Ergebnis der Wärmefluss-Thermographie wird ausgewertet und zur Beurteilung des Prüflings herangezogen. Ist das Produkt fehlerhaft, kann es sofort ausgesondert werden.

Die Vorteile der Wärmefluss-Thermographie sind das bildgebende Funktionsprinzip, die hohe Prüfgeschwindigkeit und die einfache Automatisierbarkeit. Sie ist noch eine relativ neue Prüfmethode in der Qualitätssicherung und wurde bislang vor allem im militärischen Bereich, in der Medizin oder in der Baubrache zum Auffinden von Wärmeverlusten in Häusern oder Leitungen eingesetzt.

Unterschiedliche Verfahren

Die folgenden aktiven Thermografieverfahren haben sich in der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung etabliert:

- Optische Lockin-Thermografie
- Impulsthermografie
- Laser-angeregte Thermografie
- Induktionsthermografie
- Ultraschall-Thermografie

Lockin-Thermografie und Infrarotmikroskopie

Die Lockin Thermografie ist ein Verfahren zur Steigerung der Messempfindlichkeit in der aktiven Thermografie. Bei diesem Verfahren wird der Wärmefluss analysiert, wobei die zeitliche Verzögerung des gemessenen Temperatursignals in Bezug auf die Wärme-Anregung ermittelt und bildhaft dargestellt wird. Die Oberfläche des untersuchten Objekts wird dabei mit Halogenleuchten erwärmt. Die Lockin-Thermografie erfordert eine kontinuierliche Wärme-Anregung.

Dieses Verfahren ist sehr empfindlich und kann daher mit der mikroskopischen Analyse der Infrarotmikroskopie kombiniert werden, um feinste Temperaturunterschiede im mikroskopischen Bereich und kleinste Strukturen mit einer Auflösung von wenigen Mikrometern zu erfassen. Es bietet sich bei Prüfobjekten mit starker Inhomogenität an.

Mit der Lockin-Thermografie können CFK und andere Faserverbundwerkstoffe auf z. B. Delaminationen, Impacts, Einschlüsse und Porosität, Harz/Fasergehalt, usw. geprüft werden. Genauso Leder auf Falten oder Reparaturstellen. Hinzu kommen Korrosionsprüfung, Wanddickenmessungen, Prüfungen von Klebeverbindungen, Kunststoffschweißverbindungen, usw.

Impulsthermografie

Die Impulsthermografie ist der Lockin-Thermografie sehr ähnlich. Allerdings erfolgt bei dieser Methode nur eine kurze Wärmeanregung. Die Oberfläche des Objektes wird mit Strahlern oder Blitzlampen einige Milli- bis Mikrosekunden um wenige Grad erwärmt (weniger als 5 °C). Mit dieser Methode ist ein schneller und quantitativer Fehlernachweis möglich.

Laser-angeregte Thermographie

Die Laser-angeregte Thermographie gilt als Alternative zu konventionellen Anregungsarten wie Blitzlampen und Halogenstrahler. Sie bietet eine homogenere Anregung und kann auch noch aus größerer Entfernung durchgeführt werden. Deshalb eignet sie sich zur schnellen Prüfung großer Flächen.

Induktionsthermographie

Bei der Induktionsthermographie erfolgt der Energieeintrag mittels induzierter Wirbelströme. Diese erzeugen beispielsweise an Rissen hohe thermische Signale, die dann gemessen werden können. Das Verfahren bietet niedrige Prüfzeiten und eignet sich besonders zur Prüfung metallischer Strukturen.

Ultraschall-Thermographie

Bei dieser Methode wird Ultrschall (Leistungsultraschall) in den zu prüfenden Werkstoff eingekoppelt. Die Position der Einkoppelstelle ist unerheblich, da sich Ultraschall im Werkstoff über längere Strecken ausbreitet. Im Bereich von Rissen oder anderen Veränderungen erzeugen die Schwingungen Reibungsverluste. Die entstehende Wärme wird emittiert und kann mit der Wärmebildkamera aufgenommen werden. Diese Methode wird bei feinsten oder tiefer liegenden Rissen sowie bei Materialien mit niedrigem Wärmeleitkoeffizient eingesetzt.

Anwendungsbereiche aktiver Wärmefluss-Thermografie

Die aktive Wärmefluss-Thermographie lässt sich in verschiedensten Industriebereichen einsetzen, vor allem wo es wichtig ist durch zerstörungsfreie und berührungslose Prüfung strukturelle Schwächen festzustellen, wie z. B. Haftungsschwächen, Risse, Delaminationen, Blasen, Lufteinschlüsse, Korrosionsbildung sowie die Prüfung der Festigkeit von Schweiß-, Klebe- oder Lötverbindungen. Zudem ist eine wesentliche Aufgabenstellung die Schichtdickenbestimmung an Lacken, Filmen und Furnieren sowie die Erkennung feinster Materialunterschiede.

Aber auch zur Prüfung von Nahrungsmitteln kann die Thermographie-Prüfung sehr hilfreich sein, z. B. bei der Erkennung von Fremdkörpern. Man könnte Fremdkörper in Kaffeebohnen leicht erkennen. Das Produkt unterscheidet sich von den Fremdkörpern (Gummi- und Holzstücke) in der Wärmekapazität, so dass sie nach dem Wärmeimpuls unterschiedliche Temperaturen aufweisen. Im Thermographiebild würde man einen deutlichen Unterschied sehen.

Das Prüfsystem

Um eine Thermographie-Messung durchführen zu können, benötigt man mehrere aufeinander abgestimmte Komponenten: Anregungssystem, Trigger bzw. Ansteuerungssoftware, Infrarotkamera und Auswertesoftware.

Kontrollierte Erwärmung

Der Energie-Eintrag und die Messung müssen synchronisiert werden. Dies geschieht mithilfe einer Software. EVT hat dafür den Eye-Vision Thermo Controler (EVTC) entwickelt. Damit können mit fast jeder Thermokamera nicht nur passive sondern vor allem die verschiedenen aktiven Thermografieanwendungen realisiert werden. Dies bedeutet sowohl Impuls- als auch Lockin-Thermografie.

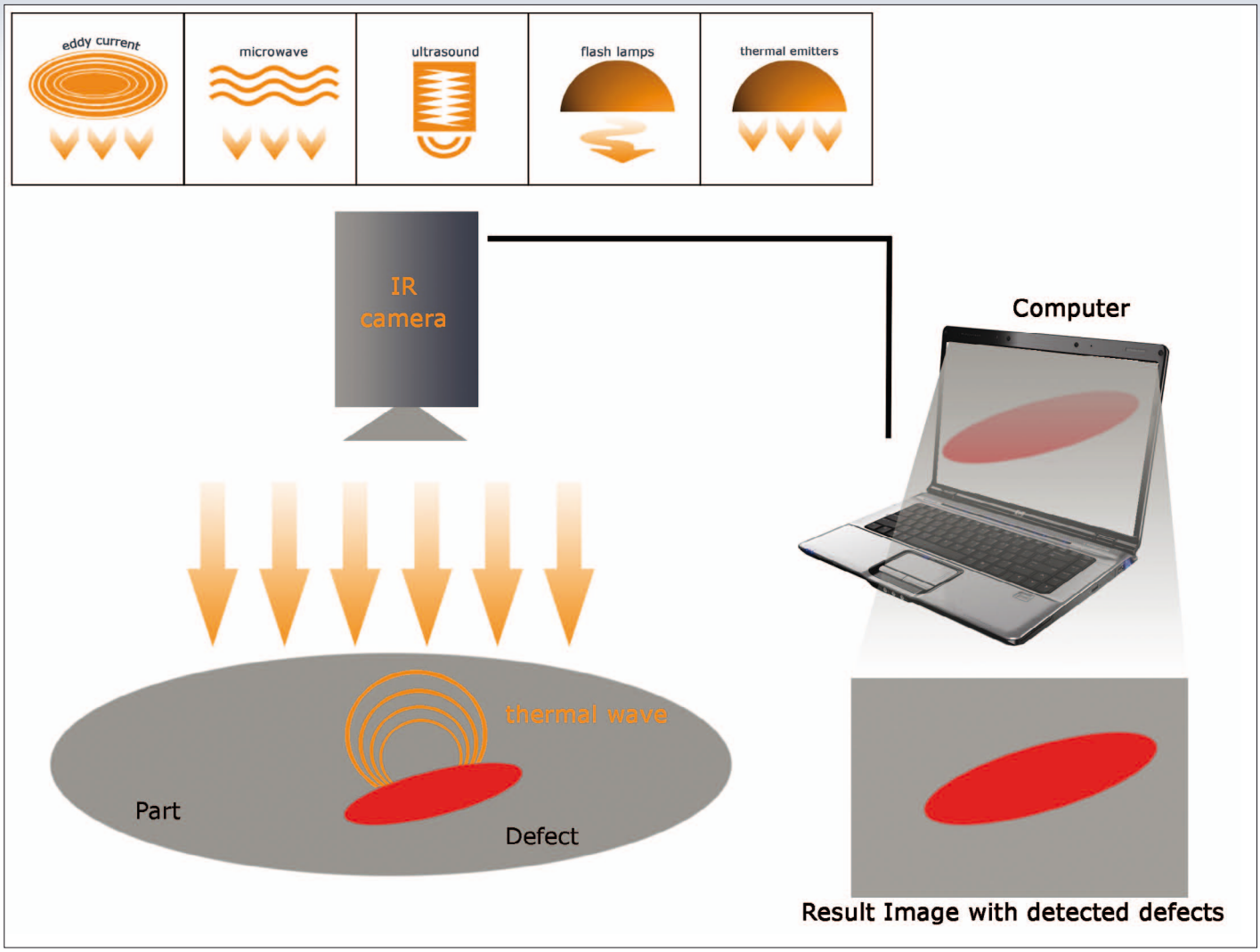

Bild 4: Skizze der Funktionsweise der Lockin-Thermografie mit unterschiedlichen Beleuchtungsmethoden

Werden passive Verfahren eingesetzt, bietet der bietet der EVTC die Möglichkeit Referenzobjekte zu prüfen und die Daten als Master zu speichern. Bei der Messung des Prüfobjektes wird der aufgenommene Temperaturwert mit dem des Masters verglichen.

Beispiel:

Während des gesamten Prozesses werden die Temperaturen aufgenommen und gespeichert. Dann wird während der Produktion die Prozesstemperatur des Prüflings gemessen und die Werte miteinander verglichen. Sind die Werte gleich, wurde der Prozess erfolgreich durchgeführt. Unterscheiden sich die Werte, dann kann über die Software entweder ein Alarm bzw. eine Warnung erfolgen oder sofort über die Kommunikation mit der Maschine dieses fehlerhafte Material ausgeschleust werden. Dazu ist in der Software ein entsprechendes Prüfprogramm hinterlegt. Außerdem sind die wichtigsten Kommunikationsprotokolle wie Profinet, Modbus, Ethercat, Ethernet, usw. enthalten, um mit der Maschine zu komminizieren.

Timing

Das Timing bei der Lockin-Thermografie, aber auch bei der Impulsthermografie spielt eine entscheidende Rolle für die erfolgreiche Thermobilddatengewinnung. Daher wurde der EVTC entwickelt. Damit können auch mit nicht echtzeitfähigen Rechner Betriebssystemkombinationen wie z. B. Windows Thermoauswertungen realisiert werden.

Bei der Impulsthermografie steuert der EVTC die Anregungsquelle. Hier hat der EVTC verschiedene Steuerausgänge um von einem Blitz (klassische Blitzröhre, Laser) über die unterschiedlichsten Wärmequellen Infrarotstrahler, Halogenleuchte anzusteuern und die Bildaufnahme zum definierten Zeitpunkt zu starten.

Unterschiedliche Anregungsformen

Für die eigentliche Lockin-Thermografie stehen sowohl eine sinusförmige Anregung der Wärmequellen, wie auch eine rechteckige Anregung zur Auswahl. Da der EVTC die Anregung steuert, steuert er den Bildaufnahmeprozess entweder über das EVTCComm Protokoll oder über einen eingebauten Triggereingang und -ausgang zur direkten Ansteuerung der Kamera. Dies funktioniert nur, wenn die verwendete Kamera über einen solche Ansteuerungsmöglichkeit verfügt. Es kann durchaus sein, dass günstigere, weniger gut ausgestattete Kameramodelle solche Triggereingänge und -ausgänge nicht haben. Der EVTC bildet auch die Basis für weitere Auswertungen mit der EyeVision Thermo Software. Auf der Basis guter Thermographieaufnahmen erfolgt die Bewertung der Prüfobjekte. Fehlerhafte Produkte können dann sofort ausgeschleust werden oder der Prozesstechniker erhält eine Warnung. Der EVTC ermöglicht eine problemlose Prüfung während der automatisierten Inline-Fertigung.

Fazit

Die Wärmefluss-Thermographie gewinnt in der Qualitätssicherung zunehmend an Bedeutung. Sie ist robust und sicher und lässt sich einfach automatisieren. Sie ermöglicht hohe Prüfgeschwindigkeiten und arbeitet nach dem bildgebenden Funktionsprinzip. Aufgrund neuer schnellerer und robuster Sensoren haben sich die Thermografie-Kameras weiterentwickelt, haben ein gutes Preis-Leistungsverhältnis und können jetzt ein immer größer werdendes Anwendungsspektrum abdecken. Eine wichtige Rolle bei dem System spielt auch die Software, die immer mehr Möglichkeiten anbietet. Ob man sich für den Einsatz einer Thermographie-Kamera entscheidet ist allerdings von mehreren, oft nicht so leicht bestimmbaren Parametern abhängig und daher sollten detaillierte Voruntersuchungen stattfinden. Der Vorteil ist, dass Fehler unterhalb der Oberflächen sehr zuverlässig, schnell und automatisch gefunden werden. Meist sind auch große und schnell bewegte Objekte kein Problem. Dies macht das Verfahren oft auch für eine 100-Prozent-Online-Kontrolle geeignet. ◄