

Automatische Temperaturerfassung mit Infrarotsystemen beim Kunststoffschweißen

Automatic temperature monitoring in plastic welding

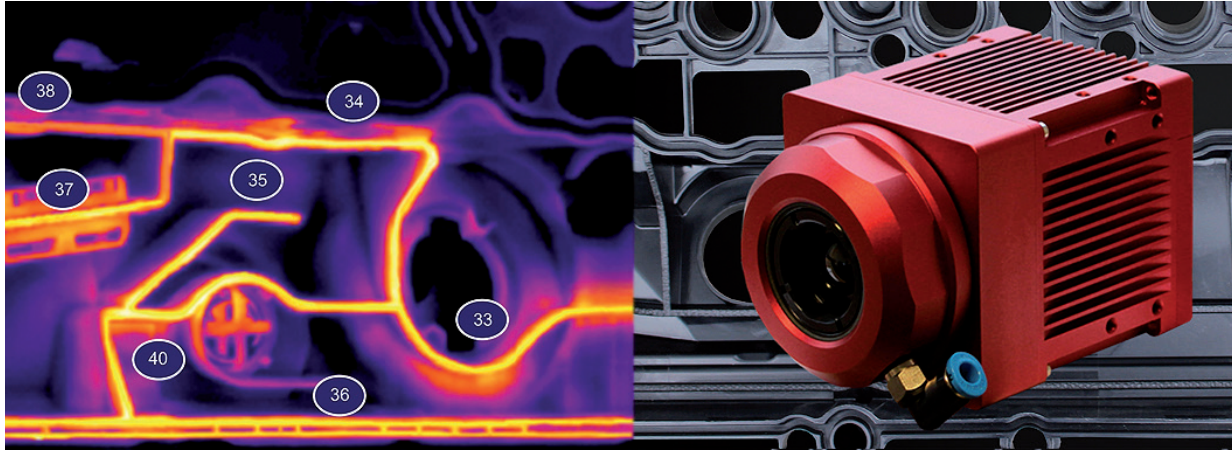


Bild 1: Temperaturkontrolle entlang der Schweißkontur von Kunststoff-Bauteilen anhand von Infrarot-Wärmebildern

Fig. 1: Temperature control along the welding contour of plastic components using infrared thermal images

Zahlreiche Bauteile aus Kunststoff müssen heute sehr hohen Qualitätsstandards entsprechen. So sind in der Automobilindustrie als sicherheitsrelevant eingestufte Bauteile wie Airbag-Schusskanäle oder Luftführungen für Kraftstoff-Misch- und Einspritzsysteme zu 100% zu prüfen. Neben absoluter Stabilität ist häufig auch vollständige Dichtheit gefordert.

Für die Produktion derartiger Bauteile werden zunehmend berührungslose Schweißverfahren wie Infrarot-, Heißgas- oder Gaskonvektionsschweißen eingesetzt. Die Temperaturverteilung entlang der gesamten Schweißkontur hat dabei entscheidenden Einfluss auf die Schweißqualität. Ist sie zu niedrig, kommt keine ausreichende Verbindung zustande; ist sie zu hoch, droht Bauteil-Beschädigung. Da die Temperatur von zahlreichen werkstoff-, bauteil- und anlagenbezogenen Faktoren abhängt, treten fehlerhafte Temperaturen häufig auf. Mögliche Ursachen dafür sind zum Beispiel lokale Werkstoff-Inhomogenität, falsche Einlegetemperaturen der Bauteile, Bauteil-Toleranzen, verbogene oder verstopfte Heißgas-Röhrchen, eine fehlerhafte Justierung der Schweißanlage oder Anlagentoleranzen. Eine zuverlässige Inline-Prozesskontrolle ist daher unverzichtbar.

Die Anforderungen an ein entsprechendes System sind umfangreich.

Es muss die Temperatur schnell und rückwirkungsfrei messen, sämtliche Heizkreise vollständig überwachen und genaue, reproduzierbare Messdaten liefern. Die Auswertungen entlang der gesamten Schweißkontur ermöglichen und Bauteil- und Anlagentoleranzen automatisch ausgleichen. Da viele Schweißanlagen mit Wechselwerkzeugen ausgestattet und für die Produktion unterschiedlicher Bauteile ausgelegt sind, ist eine automatische Messplan-Umschaltung bei Bauteilwechsel erforderlich. Es müssen automatische Speicherfunktionen sowie Schnittstellen für die MES-Datenanbindung vorhanden sein, damit eine vollständige Dokumentation und Rückverfolgbarkeit gewährleistet ist. Schließlich muss sich das System einfach in die Schweißanlage integrieren lassen, den rauen Umgebungsbedingungen in ihr standhalten und möglichst benutzerfreundlich sein.

Temperaturerfassung mit Infrarotsystemen

Derzeit ist die Wärmebildverarbeitung mit Infrarotkameras das einzige verfügbare Messverfahren, das eine zuverlässige Temperaturüberwachung beim Kunststoffschweißen erlaubt. Es bietet:

- berührungslose Prüfung: keine Rückwirkungen auf Messobjekt

Today, numerous plastic parts have to meet very high quality standards. In the automotive industry, e.g., components classified as safety-relevant such as shoot channels for airbags or air ducts for fuel mixing and injection systems must be 100% tested. In addition to absolute stability, complete tightness is also frequently required.

For the production of such components, non-contact welding processes such as infrared, hot-gas, or gas convection welding are increasingly being used. In this context, the temperature distribution along the entire welding contour has a decisive influence on the welding quality. If it is too low, there is no sufficient bond; if it is too high, there is a risk of component damage. Since the temperature depends on numerous material-, component-, and system-related fac-

tors, faulty temperatures often occur. Possible causes are, e.g., local material inhomogeneity, incorrect component insertion temperatures, component tolerances, deformed or blocked hot-gas tubes, incorrect adjustment of the welding system, or system tolerances. Reliable inline process control is therefore indispensable.

The requirements for a corresponding solution are extensive. It must measure the temperature quickly and without retroactive effects, completely monitor all heating circuits, and provide accurate, reproducible measurement data. The evaluation routines must enable precise temperature measurement along the entire welding contour and automatically compensate for component and system tolerances. Since many welding systems are equipped with exchange tools and designed for the produc-

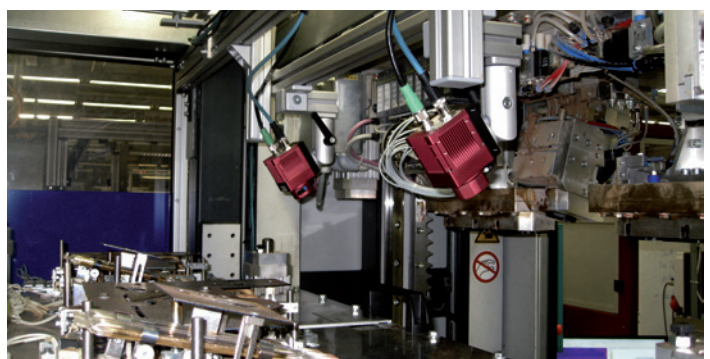


Bild 2: In eine Schweißanlage integrierte Infrarotkameras

Fig. 2: Infrared cameras integrated in a welding system

oder Prozess, Messungen an bewegten oder unzugänglichen Objekten ebenso wie bei komplexen und variablen Bauteil-Geometrien möglich,

- hohe geometrische Auflösung, beispielsweise 640×480 Pixel = 307.200 Temperatur-Messpunkte,
- hohe Genauigkeit bis zu $\pm 2^\circ\text{C}$,
- hohe Reproduzierbarkeit bis zu $\pm 0,5^\circ\text{C}$,
- hohe Geschwindigkeit: Bildfrequenz 60 Hz (oder größer) \rightarrow Messzeit $\leq 0,017$ s.

Für den Einsatz in Schweißanlagen kommen allerdings nicht beliebige, sondern nur robuste und mit zahlreichen speziellen Eigenschaften ausgestattete Infrarotkameras in Frage. Damit ein störungs- und wartungsfreier Dauerbetrieb möglich ist, müssen sie für Umgebungstemperaturen bis 70°C ausgelegt und unempfindlich gegenüber Stößen und Vibrationen sein. Ein hoher Schutzgrad (IP67) und eine integrierte Freibleas-Vorrichtung ersparen ein zusätzliches Schutzgehäuse. Ein geeignetes Dateninterface, wie „GigE Vision“, gewährleistet eine hohe Störsicherheit, geringe Systemkomplexität sowie einfache Fehlersuche. Und für ein exaktes, reproduzierbares Timing der Bildaufnahmen ist ein 24-V-DC-Hardware-Trigger nötig. Zu diesen Hardware-Eigenschaften müssen spezielle Temperatur-Auswertungsfunktionen hinzukommen. Eine Überwachung anhand diskreter Messpunkte erlaubt nur eingeschränkte Aussagen über die Verschweißungsgüte. Die zu prüfenden Bauteile haben häufig filigrane Strukturen in Form von Schweißrippen, und selbst geringe Bauteil- oder Einlegetoleranzen führen dazu, dass die Messpunkte nicht mehr auf den Schweißrippen liegen. Die Folgen sind Fehlmessungen und dass Gutbauteile als fehlerhaft bewertet werden. Eine Überwachung anhand von Polylinien mit variabler Schrittweite und Suchfunktion erlaubt es dagegen, die Temperaturverteilung selbst bei komplexesten Strukturen lückenlos präzise zu erfassen. Bauteil- oder Einlegetoleranzen werden durch einen intelligenten Suchalgorithmus automatisch ausgeglichen,

tion of different components, an automatic measuring schedule change-over is required when the component is changed. Automatic data storage functions and interfaces for the MES data connection must exist to ensure complete documentation and traceability. Lastly, the solution must be easy to integrate into the welding system, withstand the harsh environmental conditions, and be as user-friendly as possible.

Temperature measurement with infrared systems

Currently, thermal imaging with infrared cameras is the only measurement method available that permits reliable temperature monitoring in plastic welding. It offers:

- non-contact inspection: no retroactive effects on the measuring object or process, measurements on moving or inaccessible objects as well as on complex and variable component geometries are possible,
- high geometric resolution, e.g. 640×480 pixels = 307,200 temperature measuring points,
- high accuracy up to $\pm 2^\circ\text{C}$,
- high reproducibility up to $\pm 0.5^\circ\text{C}$,
- high speed: frame rate 60 Hz (or higher) \rightarrow measuring time ≤ 0.017 s.

However, only robust infrared cameras equipped with numerous special features can be considered for use in welding systems. To ensure trouble-and maintenance-free continuous operation, they must be designed for ambient temperatures of up to 70°C and be insensitive to shocks and vibrations. A high degree of protection (IP67) and an integrated air purge device save the need for an additional protective housing. A suitable data interface, e.g. "GigE Vision", ensures high interference immunity, low system complexity, and easy troubleshooting. And a 24 V DC hardware trigger is required for an exact, reproducible timing of the image acquisition.

Special temperature evaluation functions must be added to these hardware features. Monitoring on the basis of discrete measuring points allows only limited statements about the welding quality. The components to be tested

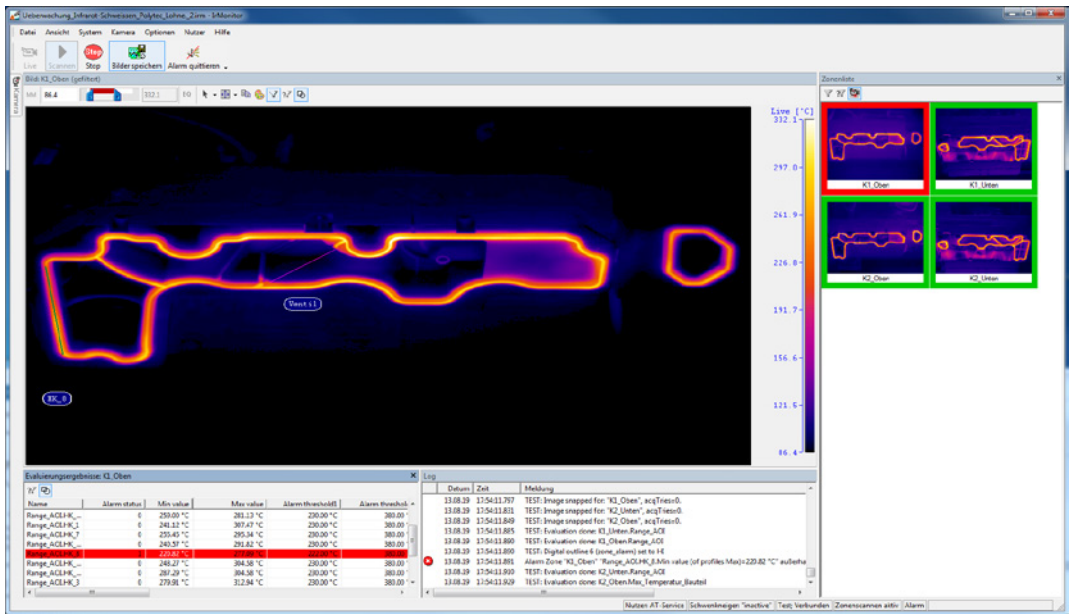


Bild 3: Wärmebildauswertung über eine grafische Benutzeroberfläche
Fig. 3: Thermal image evaluation via a graphical user interface

so dass Fehlmessungen und unnötiger Ausschuss kein Thema sind. Wesentliche Voraussetzung für eine Bewertung der Schweißung ist eine korrekte Festlegung der Schwellwerte, also der zulässigen Schweißtemperaturen. Je nach Material, Bauteil-Geometrie und anderen Parametern werden sich diese Werte teilweise deutlich unterscheiden. Testschweißungen, nach denen die Komponenten darauf geprüft werden, ob sie die geforderten Eigenschaften besitzen, sind eine Möglichkeit. Die dabei ermittelten Temperaturen plus/minus einem Offset-Wert können als Schwellwerte vorgegeben werden. Der Nachteil dieser Methode liegt darin, dass sie nur auf einzelnen Schweißungen basiert und die Offset-Werte weitgehend willkürlich festgelegt werden müssen. Das subjektive Moment, also die nicht unmittelbar datenbasierte Einschätzung durch den Anwender, spielt damit eine große Rolle. Vermeiden lässt sich dies, indem zur Ermittlung der Schwellwerte ein Produktionszeitraum statistisch ausgewertet wird. Ein System zur Inline-Prozesskontrolle beim Kunststoffschweißen muss über alle hierfür nötigen Funktionen verfügen, von der einfachen Auswahl eines Auswertungszeitraums in der Anzeige der Temperaturdaten über die automatische Berechnung der statistischen Temperaturdaten bis zum automatischen Setzen der Schwellwer-

te auf zum Beispiel Mitteltemperatur $\pm 3 \times$ Standardabweichung.

Einfache Systembedienung

Eine einfache Systembedienung wird durch eine grafische Benutzeroberfläche gewährleistet, die beispielsweise folgende Funktionen bietet:

- Anzeige der Bilder aller Kameras bei jedem Messvorgang mit Zuordnung zu Nest und Werkzeug,
- Anzeige der gemessenen Temperaturen für alle Heizkreise mit Alarmstatus,
- bei Temperaturabweichung Anzeige aller nötigen Informationen für gezielte Maßnahmen,

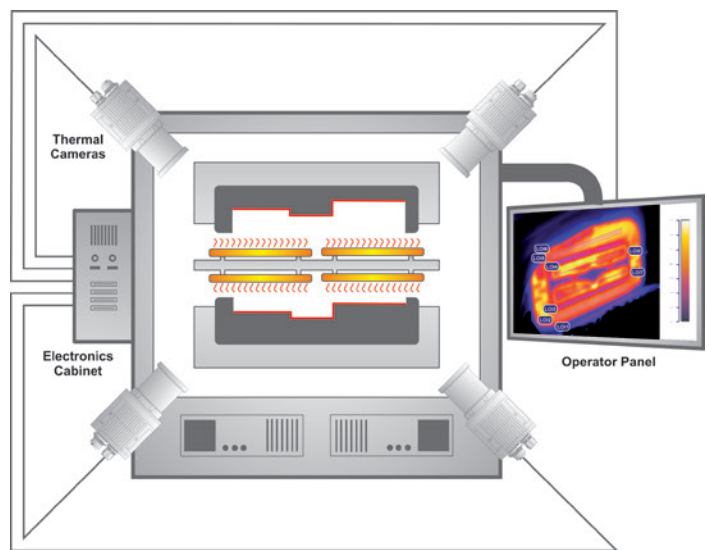


Bild 4: Aufbau von WeldCheck, dem System zur automatischen Temperaturüberwachung beim Kunststoffschweißen von AT – Automation Technology

often have filigree structures in the form of welding ribs, and even small component or insertion tolerances mean that the measuring points no longer lie on the welding ribs. This results in incorrect measurements and good components being assessed as faulty. Monitoring by means of polylines with variable step width and search function, on the other hand, permits the temperature distribution to be detected precisely without gaps, even with the most complex structures. Component or insertion tolerances are automatically compensated for by an intelligent search algorithm so that incorrect measurements and unnecessary rejects are not an issue.

An essential prerequisite for an evaluation of the welding is the correct determination of the threshold values, i.e. the permissible welding temperatures. Depending on the material, component geometry, and other parameters, these values may differ considerably. Test weldings, after which the components are checked to see whether they have the required properties, are one possibility. The temperatures detected plus/minus an offset value can be specified as threshold values. The disadvantage of this method is that it is only based on individual weldings and the offset values have to be determined largely arbitrarily. The subjective factor, i.e. the not directly data-based assessment by the user, thus plays an important role. This can be avoided by statistically evaluating a production period to determine the threshold values. A system for inline process control in plastic welding must have all the necessary functions, from the easy selection of an evaluation period in the temperature data display to the automatic calculation of the statistical temperature data to the automatic setting of the threshold values to e.g. mean temperature $\pm 3 \times$ standard deviation.

Easy system operation

Easy system operation is ensured by a graphical interface that offers the following features, e.g.:

- display of images from all cameras during each measuring process with assignment to nest and tool,

- Anzeige aller Systemmeldungen,
- Einrichtung und Management mehrerer Benutzerebenen, beispielsweise Bediener, Administrator und Support.

Unverzichtbar sind auch die automatische Speicherung aller Wärmebilder und Temperaturdaten zur Rückverfolgbarkeit und zur Durchführung von Offline-Analysen sowie eine Analyse-Software für Arbeitsplatz-Rechner. Diese muss vollständige Auswertungen der Bild- und Messdaten ermöglichen, während die Produktion mit aktivierter Temperaturüberwachung weiterläuft, vor allem:

- automatische Auswertung und grafische Anzeige der Temperaturverläufe für alle Heizkreise,
- freie Festlegung von Zeitintervall und Heizkreisen für Auswertung und Anzeige,

- automatische Berechnung neuer Schwellwerte durch statistische Auswertung der Temperaturverläufe.

Schließlich muss die Übergabe der Bild- und Messdaten aus der System-Datenbank über ein ODBC-Interface möglich sein, zum Beispiel für die MES-Anbindung.

Ein System zur Inline-Prozesskontrolle beim Kunststoffschweißen, das all diese Anforderungen erfüllt, ist ein mächtiges Werkzeug. Der Anwender kann damit nicht nur fehlerhafte Bauteile zu 100% erkennen, sondern auch das Anlauf- und Zeitverhalten der Schweißanlage perfekt einschätzen und diese stets optimal einrichten und einstellen. So spart er viel Zeit, Aufwand, Material und Kosten.

Quelle: AT – Automation Technology GmbH, Bad Oldesloe

- display of the measured temperatures for all heating circuits with alarm status,
- in case of temperature deviation display of all necessary information for specific measures,
- display of all system messages,
- setup and management of several user levels, e.g. operator, administrator, and support.

The automatic storage of all thermal images and temperature data for traceability and for carrying out offline analyses as well as an analysis software for workstation computers are also indispensable. This software must enable a complete evaluation of the image and measurement data while production continues with activated temperature monitoring, above all:

- automatic evaluation and graphical display of the temperature curves for all heating circuits,

- free definition of time interval and heating circuits for evaluation and display,
- automatic calculation of new threshold values by statistical evaluation of the temperature curves.

Finally, transferring the image and measurement data from the system database via an ODBC interface, e.g. for the MES connection, must be possible.

An inline process control system for plastic welding that meets all these requirements is a powerful tool. With it, the user can not only detect 100% faulty components but can also perfectly assess the start-up and time behavior of the welding system and always optimally set up and adjust it. This saves an amount of time, effort, material, and costs.

Source: AT – Automation Technology GmbH, Bad Oldesloe