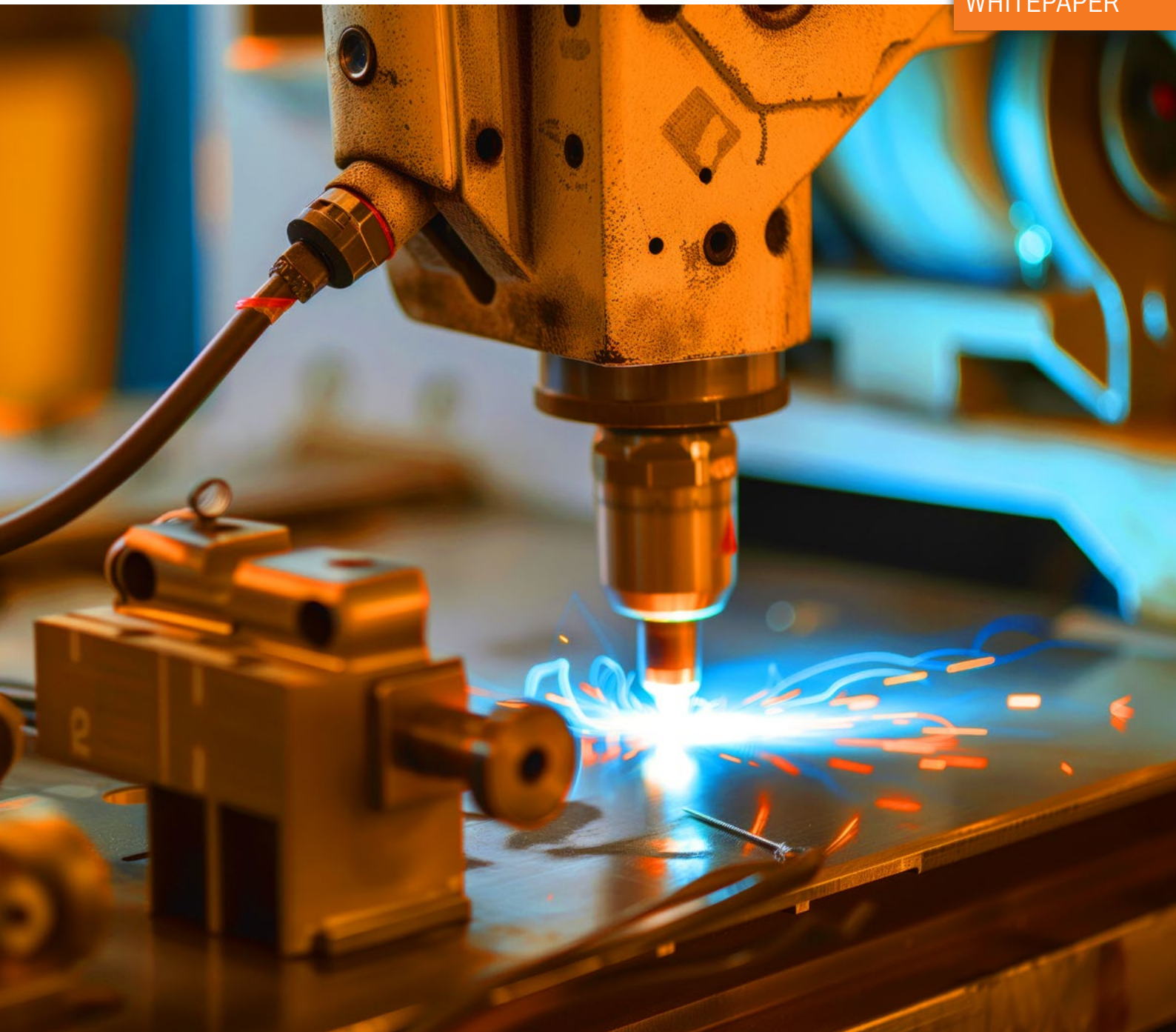




Zerstörungsfreie Schweißnahtprüfung mit Laserthermografie

Alexey Prosvetov, edervis GmbH

WHITEPAPER



Abstrakt

Die Nachfrage nach einer zerstörungsfreien Prüfung von Schweißnähten steigt, insbesondere im Bereich der Elektromobilität. Defekte an Batterieverbindungen sind nicht nur sicherheitsrelevant, sondern haben auch Auswirkungen auf die Effizienz und die Produktionskosten neuer Elektroautos.

Die von edevis entwickelte und implementierte Laserthermografie-Prüftechnik bietet eine schnelle, präzise und zuverlässige Lösung für die berührungslose und zerstörungsfreie Qualitätskontrolle von Schweißnähten im industriellen Umfeld.

Einleitung

In der Automobilindustrie vollzieht sich derzeit ein Wandel hin zu Elektrofahrzeugen. Batterien sind das Herzstück dieser Fahrzeuge. Ihre Effizienz und Zuverlässigkeit sind entscheidend für den Erfolg der Elektromobilität. In diesem Zusammenhang werden die Prozesse der Batterieherstellung und die Qualitätssicherung immer wichtiger.

Die Schweißnähte der Zellverbinder stehen dabei besonders im Fokus, da sie für die elektrische und mechanische Integrität der Batterien entscheidend sind. Da in einer Traktionsbatterie

zahlreiche einzelne Batteriezellen miteinander verbunden werden (Abbildung 1), ist die Qualitätssicherung der Zellverbinder von großer Bedeutung.

Sicherheitsaspekte: Fehlerhafte Schweißnähte können zu Fahrzeugausfällen im Feld sowie zu Kurzschlüssen und Überhitzungen führen, die Brände oder Explosionen zur Folge haben können. Eine gründliche Inspektion minimiert dieses Risiko.

Leistungsoptimierung: Hochwertige Schweißnähte tragen zur optimalen elektrischen Leitfähigkeit und zur Gesamtleistung der Batterie bei. Genaue Tests stellen sicher, dass die Batterie ihre maximale Kapazität und Effizienz erreicht.

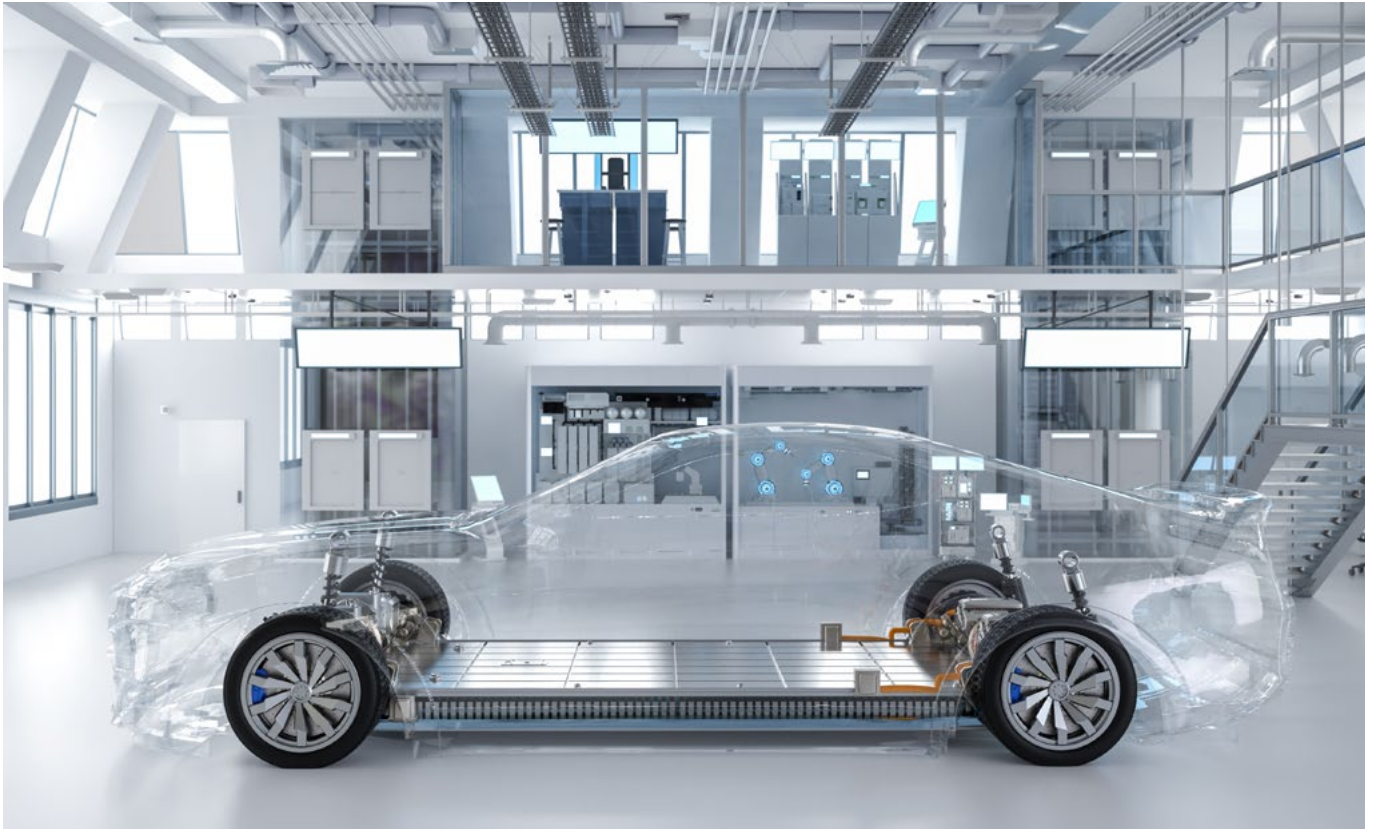
Langlebigkeit der Batterie: Die Gewährleistung der Qualität der Schweißnähte garantiert die Lebensdauer der Batterie. Dies ist sowohl für den Endnutzer als auch für den Hersteller von großem Nutzen.

Regulatorische Anforderungen: Vorschriften und Normen in der Automobilindustrie erfordern eine lückenlose Dokumentation und Überprüfung der Produktionsqualität. Ein zuverlässiges Prüfsystem hilft, diese Anforderungen zu erfüllen.

Wirtschaftliche Relevanz: Die automatisierte Inline-Qualitätskontrolle der Zellverbinder ermöglicht die frühzeitige Eliminierung fehlerhafter Komponenten. Sie reduziert die Kosten für Produktionsausschuss und spätere Garantieansprüche.



Abbildung 1: EV-Antriebsbatteriepaket



Hintergrund

Die Inline-Steuerung des Schweißprozesses ermöglicht eine kontinuierliche Überwachung und Anpassung während der Produktion. Obwohl sie viele Vorteile bietet, insbesondere im Hinblick auf die Echtzeitüberwachung und Prozessoptimierung, hat sie auch einige Einschränkungen, die zu unvollständigen Informationen über die Qualität der Schweißnähte führen können. So kann nur eine begrenzte Anzahl von Parametern überwacht werden, wie z. B. die Laserleistung, die Schweißgeschwindigkeit und die Fokusposition. Diese Parameter allein reichen oft nicht aus, um eine vollständige Aussage über die Qualität der Schweißnaht zu treffen.

Die mechanische Festigkeit der Verbindung und ihr elektrischer Widerstand sind die wichtigsten Kriterien für die Qualität der Schweißnähte der Zellverbinder. Sie werden von Faktoren wie den geometrischen Eigenschaften der Naht, der Schweißtiefe und internen Materialfehlern beeinflusst, die über die Inline-Prozesskontrolle nicht zugänglich sind.

Eine zusätzliche Prüfung nach dem Schweißen kann hilfreich sein, da sie eine detaillierte und umfassende Beurteilung der

Schweißqualität ermöglicht. Eine Sichtprüfung kann die Schweißnaht unterhalb der Oberfläche nicht beurteilen. Elektrische Leitfähigkeitsmessungen sind aufgrund des hohen Übergangswiderstandes einer Schweißnaht nicht zuverlässig genug. Mechanische Prüfungen sind kompliziert in der Durchführung und zerstörerisch bei einer minderwertigen Schweißnaht. Dies schließt die Möglichkeit einer vollständigen Inline-Bearbeitung und eines erneuten Schweißens im Falle eines anfänglichen Fehlers aus.

Die Laserthermografie kann dieses Problem lösen und bietet eine sehr schnelle und äußerst genaue Methode zur Bewertung des Verbindungsbereichs, der die mechanische Festigkeit einer Schweißnaht beeinflusst. Der gemessene Wärmefluss korreliert in hohem Maße mit der elektrischen Leitfähigkeit und liefert ein klares und verständliches quantitatives Ergebnis für eine einzelne Schweißnaht.

Das Prüfverfahren kann an ein breites Spektrum von Materialien und Geometrien angepasst werden. Damit bietet die Laserthermografie eine unvergleichliche Flexibilität und Effizienz für die Qualitätskontrolle bei der Herstellung hochwertiger Bauteile und Komponenten.

Konzept

Die Laserthermografie kombiniert Infrarot-Thermografie mit Laseranregung und gehört zur Kategorie der zerstörungsfreien Prüfung mittels aktiver Thermografie. Dieses bildgebende Verfahren nutzt die Wärmeflussanalyse, um effizient und berührungslos innere Eigenschaften, mögliche Materialfehler und die Qualität von Verbindungen zu prüfen. Der Laser bringt gezielt Wärme in die Schweißnähte ein, wobei der resultierende Wärmefluss durch die unterschiedlichen Werkstoffe und Verbindungsqualitäten beeinflusst wird (Abbildung 2).

Eine hochauflösende Infrarotkamera erfasst die Wärmeverteilung in der Schweißnaht in Echtzeit. Durch die Korrelation zwischen Erwärmung und Abkühlung lässt sich feststellen, ob die Zellverbindung verbunden, teilweise verbunden oder nicht verbunden ist. Defektbehaftete Schweißnähte und Unregelmäßigkeiten lassen sich somit exakt identifizieren.

Phasenbilder aus Laserthermografiemessungen machen den Wärmefluss im Prüfbereich sichtbar und liefern Informationen über strukturelle Veränderungen, die unter der Oberfläche verborgen sind. Im Vergleich zu optischen und thermischen Bildern sind Phasenbilder weniger empfindlich gegenüber Oberflächeneffekten und eignen sich für die Bewertung des tatsächlichen Verbindungsbereichs von Schweißnähten (Abbildung 3).

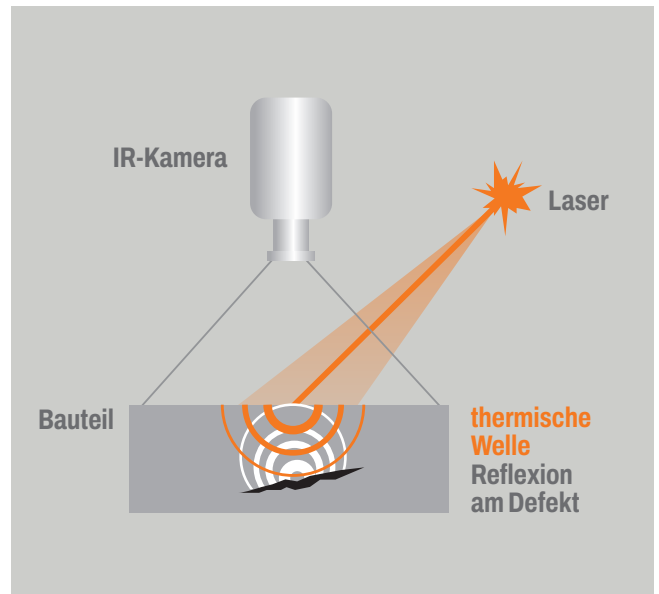


Abbildung 2: Prinzip der Laserthermografie

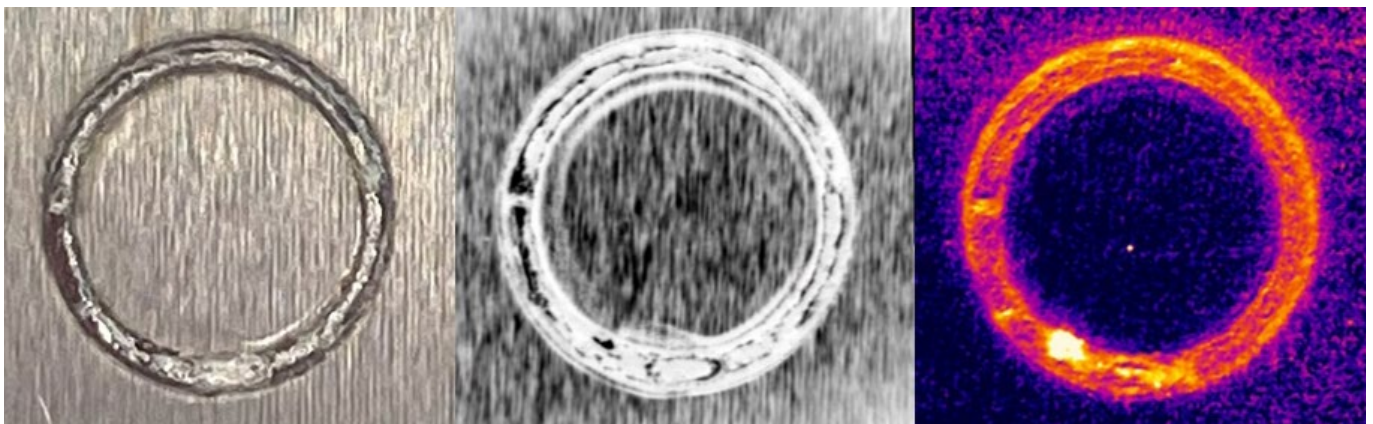


Abbildung 3: Bilder einer Aluminium-Stahl-Schweißnaht

Links: ein optisches Foto

Mitte: IR-Emissivitätsbild (Oberflächeninformation)

Rechts: Phasenbild (Tiefeninformation auf der Grundlage des Wärmeflusses)

Lösung

Das Kernstück der technischen Lösung **INSIGHT-L (Infrared Subsurface Inspection with Guided Heat Transfer, Laser)** ist die präzise optische und zeitliche Abstimmung von Laser und Infrarotkamera, realisiert mittels einer speziell entwickelten Elektronik und Software von edevis. Der gekapselte Inspektionskopf (Abbildung 4), der auf Robotern oder Portalen montiert werden kann, ermöglicht genau diese Kombination. Der Hochleistungslaser ist mit einer speziellen Fokussieroptik ausgestattet, die eine variable Ausleuchtung des zu prüfenden Objekts ermöglicht.

Eine Hochleistungs-Infrarotkamera nutzt einen hochauflösenden, schnell auslesbaren Sensor zur genauen Erkennung von Wärmeströmen. Die IR-Kamera kann thermische Unterschiede von weniger als 20 mK bei Bildfrequenzen von bis zu 1000 Hz mit einer geometrischen Auflösung von ca. 50 µm erkennen. Ergänzt wird das Inspektionssystem durch das eigens entwickelte Softwarepaket DisplayIMG, das verschiedene Bildverarbeitungsalgorithmen und künstliche Intelligenz für die automatisierte Auswertung der Messergebnisse und die Online-Unterscheidung zwischen OK- und NOK-Schweißnähten nutzt. Das Inspektionssystem kann über SPS und industrielle Standard-Kommunikationsprotokolle, wie z. B. PROFINET, OPC UA und andere, in automatisierte Systeme integriert werden.

INSIGHT-L kann zur Prüfung von Schweißnähten aus verschiedenen Materialien (z. B. Aluminium, Stahl, Kupfer) und Zellverbindern bis ~ 1 mm eingesetzt werden.

Die von edevis entwickelten Laserthermografiesysteme werden bereits in mehr als 100 Anlagen in Europa, Asien und Amerika zur automatisierten Prüfung von Schweißnähten eingesetzt.

Schlussfolgerung

INSIGHT-L ist eine thermografiebasierte Lösung für die berührungslose und zerstörungsfreie Prüfung und Qualitätssicherung von Schweißnähten. Sie ermöglicht eine quantitative Beurteilung von Schweißverbindungen. Die Wettbewerbsvorteile gegenüber anderen Methoden machen den von edevis entwickelten INSIGHT-L zu einem ausgezeichneten Instrument für die automatisierte Qualitätskontrolle, das dazu beiträgt, Sicherheits-, Zuverlässigkeits-, Kosten- und Leistungsprobleme bei der Herstellung von Traktionsbatterien und anderen sicherheitsrelevanten Komponenten zu lösen.



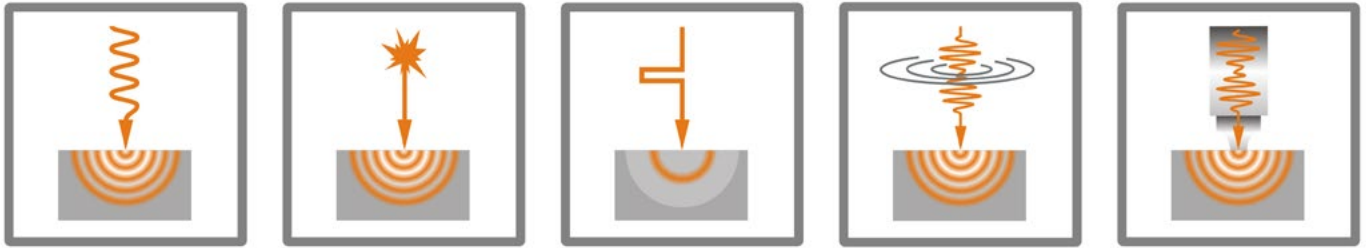
Abbildung 4: INSIGHT-L Prüfkopf mit aktivem Pilotlaser

Vorteile der Laserthermografie

- kontaktlos und zerstörungsfrei
- schnell (≤ 1 s / Messung)
- exakt und reproduzierbar
- flexibel (Prüfbereich und OK/NOK-Kriterien einstellbar)
- automatisierbar (SPS-gesteuert), robotertauglich
- geeignet für die Inline-Inspektion
- quantitative Bewertung der Schweißnahtqualität
- aussagekräftige und nachvollziehbare Prüfergebnisse

Technische Spezifikationen

Spezifikationen	Daten
Prüfkopf	
Gewicht	40 kg
Dimensionen	50 cm × 50 cm × 20 cm
Typischer Arbeitsabstand zwischen Prüfkopf und Prüfling	~ 4 cm
Laser	
Lasertyp	Diodenlaser
Wellenlänge des Lasers	blau oder nahes Infrarot (900 – 1100 nm)
Kühlung	Wasserkühlung
Beleuchtungsgröße	variabel (min. 3 mm x 3 mm, max. 70 mm x 70 mm)
Leistung	bis 4 kW
Sicherheitsklasse	Klasse 4
Infrarot Kamera	
Maximale Bildwiederholrate	1000 Bilder pro Sekunde
Öffnungswinkel der Kamera	10 Grad
Thermische Auflösung	20 mK
Sensorauflösung	640 x 512 Pixel
Spektralbereich	MWIR (2 – 5 µm)
Betriebsparameter	
Typische Messdauer	< 1 Sekunde pro Messbereich
Mögliche Prüfoberflächen	glänzend und matt
Mögliche Zellverbinder Materialien	Aluminium, Kupfer, Edelstahl
Maximale Kabelzuführlänge	30 Meter zwischen Schaltschrank und Prüfkopf
Kabel und Lichtlaser	robotertauglich
Datenübertragung	Standard CAT-6-Kabel, Gigabit Ethernet
Schnittstelle zur Automatisierung	PROFINET, OPC UA, TCP/IP



edevs – enhanced defect visualization at its best

Die edevis GmbH mit Sitz in Leinfelden-Echterdingen wurde im Jahr 2004 von Alexander Dillenz und Thomas Zweschper gegründet. Das Unternehmen ist spezialisiert auf die bildgebende, zerstörungsfreie Material- und Bauteilprüfung mittels aktiver Thermografieverfahren. Die Experten von edevis planen und entwickeln unter anderem Anlagen zur Prüfung von Faserverbundstrukturen, zur Rissprüfung an metallischen Bauteilen sowie zur Inspektion von Schweiß- und Fügeverbindungen. In den eigenen Prüflaboren führt edevis für Kunden Machbarkeitsstudien und Serienuntersuchungen mit einer Vielzahl unterschiedlicher Anregungsmethoden durch. Dies ermöglicht eine schnelle Evaluierung von Prüftechnologien mit geringen Anfangsinvestitionen. Darüber hinaus bietet edevis Produkt- und Technologieschulungen rund um seine Testsysteme und -verfahren sowohl im eigenen Haus als auch bei Kunden vor Ort an. Die Prüfsysteme kommen heute in zahlreichen Branchen zum Einsatz: Automotive, E-Mobilität, Luft- und Raumfahrt, Anlagenbau, Forschung und Entwicklung, Medizintechnik, Lebensmittel- und Verpackungsindustrie und viele mehr. Zum etablierten Kundenkreis des Unternehmens zählen unter anderem Porsche, BMW und thyssenkrupp Automation Engineering.

www.edevis.de

Kontakt

Barbara Kurcz, Strategic Sales

E-Mail: barbara.kurcz@edevis.de

edevis GmbH

Wilhelm-Haas-Straße 2

70771 Leinfelden-Echterdingen

Tel. +49 711 933077-37

www.edevis.de



Copyright 2024 edevis GmbH.

Alle Rechte vorbehalten. Dieses Dokument dient lediglich der Information. edevis übernimmt keine Haftung für die in diesem Dokument enthaltenen Informationen – ungeachtet ob explizit oder implizit. Die Inhalte spiegeln die Auffassung von edevis zum Zeitpunkt der Publikation wider. Trotz der gewissenhaft und mit größter Sorgfalt ermittelten Informationen und Daten besteht kein Anspruch auf sachliche Richtigkeit, Vollständigkeit und/oder Aktualität. Vervielfältigungen, auch auszugsweise, bedürfen unserer schriftlichen Genehmigung.