

100-PROZENT-OBERFLÄCHENINSPEKTION VON DEHNZELLEN

Schlag auf Schlag

Kai Taeubner und Mark Maasland, Kaiserslautern;
Rüdiger Briesewitz, Frankfurt/Main;
Sören Fischer, Rinteln

Die Oberfläche von Dehnzellen, die aus Metall-Coils tiefgezogen werden, lässt sich besonders schwer inspizieren. Dafür hat ein Firmenkonsortium ein robustes und gleichzeitig hochpräzises Inspektionssystem entwickelt. Fehlerhafte Bauteile werden frühzeitig aus dem Produktionsprozess ausgeschleust, was Zeit und Kosten spart.

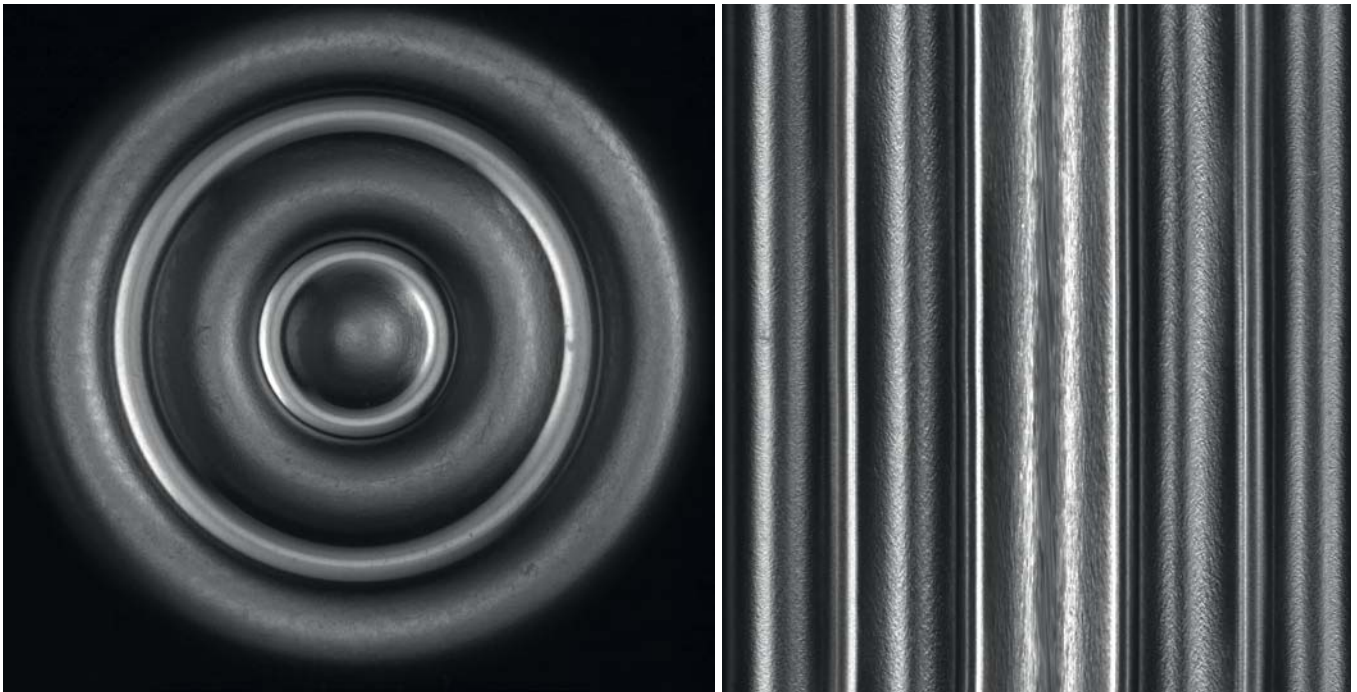


Bild 1. Dehnzelle: Originalansicht (links) und abgewinkelte Aufnahme mit hochauflösender Zeilenkamera (rechts)

In der Dämpfungskammer von Kfz-Bremsanlagen von Daimler-Kraftfahrzeugen werden unter anderem Dehnzellen verbaut. Diese Komponenten der Bremsanlage sind sicherheitsrelevant und unterliegen besonderen Qualitätssicherungsmaßnahmen. Bei der Herstellung können produktionsbedingt auf den noch ungehärteten Bauteilen Oberflächenfehler, speziell Schlagstellen, entstehen. Eine automatisierte Detektion dieser Fehler ist notwendig, um die Dichtigkeit der Komponenten im verbauten Zustand zu gewährleisten. Hergestellt werden die Dehnzellen von der Hubert Stüken GmbH &

Co. KG, einem Spezialisten für Tiefzieh-technik mit besonderer Kompetenz für schwer verformbare Werkstoffe wie nichtrostende Stähle. Das Unternehmen produziert, unter anderem im Auftrag der Continental AG, feinmechanische Metallkomponenten.

Die Dehnzellen bestehen aus zwei Komponenten – der Ober- und der Unterschale –, die miteinander verschweißt werden. Die Oberschale hat einen Durchmesser von 16 mm, die Unterschale ist geringfügig kleiner, sodass die Komponenten aufeinander passen. Auf definierten Bereichen der Dehnzellen müssen beid-

seitig Schlagstellen ab einer Länge von 0,3 mm sicher detektiert werden. Die besonderen Herausforderungen an eine automatisierte Prüfung liegen einerseits in der Geometrie der Dehnzellen, da es sich um Freiformteile handelt, und andererseits in der notwendigen, besonders hohen optischen Auflösung. Dadurch verringert sich der Tiefenschärfebereich ganz erheblich, während gleichzeitig die Oberflächenrauigkeiten des Grundmaterials in den Vordergrund treten. Hier muss ein Kompromiss zwischen gewünschter Auflösung und Tiefenschärfe gefunden werden.

In der Anlage laufen die Ober- und die Unterschale in zwei getrennten, parallelen Handhabungseinheiten und werden anschließend zur weiteren automatisierten Montage zusammengefügt. Nach diesem Montageschritt sind Schlagstellen nicht mehr optisch zu erfassen, ohne das Bauteil zu zerstören. Die Handhabung transportiert die Dehnzellen mittels eines Taktbal-kens weiter und dreht sie unter den Kame-rasystemen, sodass 20 Teile/min inspiziert werden können.

Aufgrund der geringen Tiefenschärfe ist es notwendig, die verschiedenen Prüf-bereiche, wie den äußeren und den inne-ren Ring, durch getrennte Kameraeinhei-ten inspizieren zu lassen. Dringend erfor-derlich für eine prozessstabile Prüfung ist eine exakte Handhabung, speziell was die Bauteilaufnahme und die Drehbewegung des Bauteils betrifft.

Dem Fraunhofer-Institut für Techno-und Wirtschaftsmathematik ITWM in Kaiserslautern ist es gelungen, gemeinsam mit den Firmen Continental sowie Hubert Stüken ein robustes und gleichzeitig hoch-präzises Inspektionssystem für Dehnzellen zu entwickeln. Das Prüfsystem wird

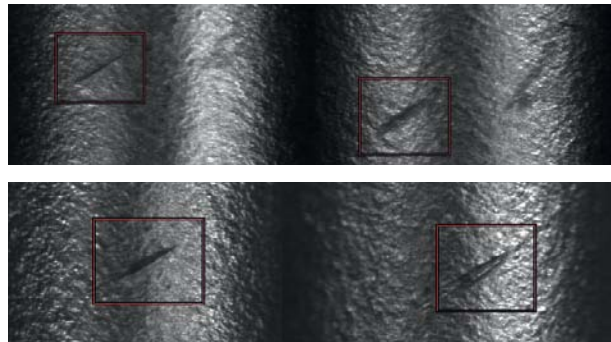


Bild 2. Beispiele für Schlagstellen (oben), Ausschnitt aus dem Regionenbild (unten)

am Hubert-Stüken-Produktionsstandort Rinteln eingesetzt, die maximale Prüfzeit beträgt drei Sekunden pro Bauteil.

Das System besteht aus drei Stationen, in denen jeweils eine monochrome, hoch-auflösende Zeilenkamera (Dalsa Piranha II, 4096 Pixel) mit drei High-Power-LED-Ringlichtern von TLP Vision installiert wurden. Die Dehnzellen werden unter der Zeilenkamera gedreht, sodass ein abgewickeltes Bild erscheint. Hierbei dient eine der Beleuchtungen als Auflicht, die anderen beiden bestrahlen die Oberfläche in und gegen die Laufrichtung, um die Kan-ten der Schlagstelle hervorzuheben. Das

Inspektionssystem ist gegen Fremdlicht gekapselt, wobei die Kapselung in erster Linie die Mitarbeiter vor dem sehr hellen LED-Licht schützen soll.

Durch den Einsatz der hochauflösen- den Zeilenkameras wird von den Dehnzellen der komplette Durchmesser abge- bildet, sodass die Schlagstellen sowohl in Richtung der seitlichen Bestrahlung als auch von ihr weg in einer Umdrehung aufgenommen werden (Bild 1). Dadurch werden auch Schlagstellen gefunden, deren Kanten auf einer Seite abgeflacht bzw. nicht stark ausgeprägt sind (Bilder 2, 3). Die reale Auflösung im Bild beträgt »

Autoren

Kai Taeubner, geb. 1963, leitet das Labor der Abteilung Bildverarbeitung am Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik, Kaiserslautern.

Dipl.-Math. Mark Maasland MTD, geb. 1973, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Bildverarbeitung am Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik, Kaiserslautern.

Rüdiger Briesewitz, geb. 1967, ist Gruppenleiter in der Abteilung Basisentwicklung hydraulische Systeme bei Continental Teves, Frankfurt/Main.

Dipl.-Ing. (FH) Sören Fischer, geb. 1983, ist Projekt Ingenieur Engineering bei der Hubert Stüken GmbH & Co. KG, Rinteln.

Kontakt

Kai Taeubner

kai.taeubner@itwm.fraunhofer.de

www.qz-online.de

Diesen Beitrag finden Sie online unter der Dokumentennummer: **432335**

circa 5 µm/Pixel. Daraus ergeben sich abgewinkelte Ausgangsbilder mit einer Größe von 5100 x 4096 Pixeln. Aus diesen Originalbildern werden dann die Regionen ausgeschnitten, die bewertet werden müssen. Jede CameraLink-Kamera ist an einen separaten Dual-QuadCore-PC angeschlossen, auf dem die komplette Auswertung läuft. Die Auswertergebnisse dieser drei Worker werden über einen Masterrechner angezeigt. Das komplette System läuft unter Ubuntu Linux, wobei für die Worker die Server-Version ohne grafische Oberfläche und für den Master die Desktop-Version verwendet wird.

Die Systemsoftware wurde in der Programmiersprache Erlang geschrieben, die

für eingebettete, echtzeitfähige und hochverfügbare Systeme wie zum Beispiel Router entwickelt wurde, aber auch auf sehr großen Systemen gut skaliert. Der Kern der Systemsoftware besteht aus einem Zustandsautomaten, der die Systemlogik der Bildaufnahme, der Bildauswertung, der Ergebnis- und Fehlerbehandlung sowie der Bildarchivierung abbildet.

Parallel laufende Auswertung

Die Auswerteprozesse laufen parallel zueinander auf den jeweils acht Kernen der verbauten CPUs. Die Kommunikation zwischen dem System, der webbasierten grafischen Benutzeroberfläche und den Auswerteprozessen findet mit dem Erlang-eigenen Nachrichtenmechanismus statt, der eine Abtrennung der Teilsysteme sicherstellt und eine hohe Effizienz gewährleistet.

Die grafische Oberfläche ist eine browserbasierte, moderne Ajax-Webseite, die sich automatisch aktualisiert und den Systemzustand der drei Workerrechner anzeigt. Die Bildauswertung basiert auf der umfangreichen Algorithmenbibliothek des Fraunhofer ITWM und wurde mit der hausinternen grafischen Entwicklungsumgebung ToolIP zur Systemreife entwickelt.

Durch die hohe optische Auflösung treten die Oberflächenrauigkeiten in den Vordergrund. Diese Rauigkeiten unterscheiden sich teilweise nur geringfügig von den Fehlern und haben einen lokalen Charakter, der für jedes Bauteil unterschiedlich ist. Aus diesen Gründen können in der Bildauswertung Schlagstellen nicht einfach mittels eines Referenzabgleichs detektiert werden.

Vor der Auswertung wird aus dem Originalbild der gewünschte Prüfbereich extrahiert. Dieser Bereich liegt aufgrund des Aufnahmeverfahrens doppelt als zwei

parallele, vertikale Streifen vor. Auf beiden Streifen wird der gleiche Algorithmus angewendet.

Die bei der Datenauswertung gewählte Lösung lässt sich in folgende Schritte unterteilen: Zunächst wird aus den Bildern die lokale Krümmung des Bauteils herausgerechnet. Dazu wird mittels eines Glättungsverfahrens ein Abbild der lokalen Krümmung erstellt, das von den Originaldaten abgezogen wird. Im Ergebnisbild sind dann lokale Variationen sichtbar, hauptsächlich verursacht durch Rauigkeiten und Oberflächenfehler.

Im zweiten Schritt der Datenvorverarbeitung werden die Unterschiede in der Tiefenschärfe und der Ausleuchtung kompensiert, sodass im gesamten Bild vergleichbare Bedingungen für die Fehlerdetektion vorliegen. Die Fehlerkandidaten werden mit einem adaptiven Schwellwertverfahren in Kombination mit einer adaptiven, anisotropen Glättung detektiert.

Für alle Kandidaten werden charakteristische Merkmale, wie Größe, Länge und Ausprägung, berechnet. Anschließend werden in einem zweistufigen Klassifikationsverfahren Fehler von Pseudo-Fehlern getrennt. In der ersten Stufe werden kleine Störungen anhand der Größe entfernt. Schließlich werden aus den verbleibenden Fehlerkandidaten mittels eines Clusteringverfahrens im Merkmalsraum die Schlagstellen von den Pseudo-Fehlern getrennt. Die Empfindlichkeit der Fehlerdetektion kann über Parameter (Schieberegler) angepasst werden.

Inspektion mit hohem Durchsatz

Das System bietet die Möglichkeit, sicherheitsrelevante Bauteile in einem hohen Durchsatz hochpräzise zu inspizieren. Die Bewertung erfolgt objektiv, und die Prüfergebnisse werden dokumentiert. Das System, das eine 100-Prozent-Kontrolle ermöglicht, ist von geschultem Personal ohne Bildverarbeitungskenntnisse zu bedienen.

Auf diese Weise ist gewährleistet, dass kein n.i.O.-Teil weiterverarbeitet wird, das zu späteren Reklamationen führen könnte. Durch die komplexe, geschickt parallelisierte Algorithmik ist es möglich, schnell und zuverlässig fehlerhafte Bauteile frühzeitig aus dem Produktionsprozess herauszunehmen, was zu einer erheblichen Zeit- und damit Kostenersparnis führt. □

Bild 3. Schlagstellen, die teilweise schwach ausgeprägt sind und nur in einer Region gefunden werden

