

CCD-Zeilenkamera mit integrierter Hellfeldbeleuchtung

Eine innovative Geräteentwicklung für neue Anwendungen in der Oberflächenanalyse



Bild 1: CCD-Zeilenkamera mit gerichteter Hellfeldbeleuchtung

Bei gerichteter Hellfeldbeleuchtung kommt das Licht aus der Richtung der Kamera. Parallel zum Sensor liegende Flächen reflektieren viel Licht in die Kamera und erscheinen hell. Strukturierte Flächen und abgeschrägte Kanten erscheinen dunkel. Bild 2 veranschaulicht die Wirkungsweise der gerichteten Hellfeldbeleuchtung anhand eines Schnittes durch eine Euro-Münze.

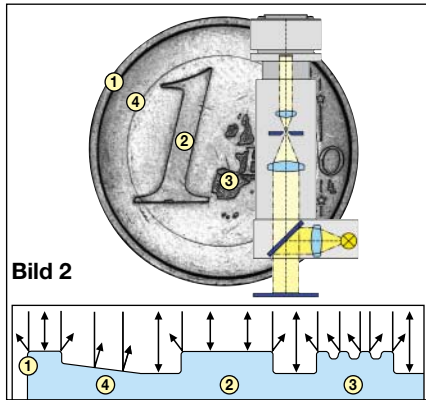
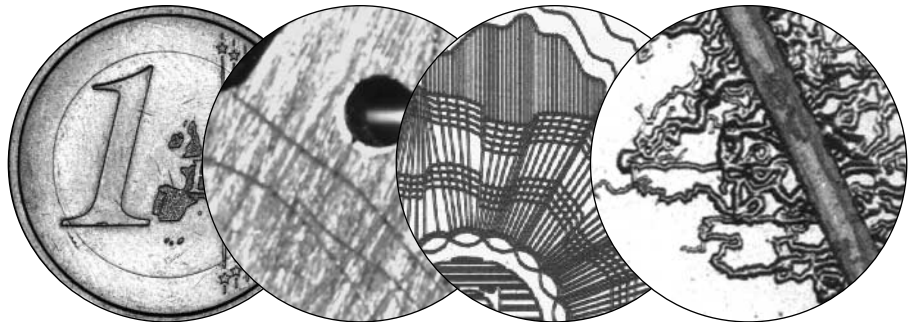


Bild 2

- ① Die Kanten vom Prägerand und der Ziffer sind innen und außen geschrägt. Das senkrecht einfallende Licht wird gestreut, nur ein Teil wird auf den CCD-Sensor zurück reflektiert. Die Kanten werden dunkel dargestellt.
- ② Rand- und Zifferoberfläche sind zur Beleuchtung im rechten Winkel angeordnet, sie reflektieren viel Licht zum Sensor und werden als helle Flächen wiedergegeben.
- ③ Die britischen Inseln und das europäische Festland haben eine Oberfläche mit strukturierter Narbung. Das einfallende Licht wird gestreut und Europa wird als dunkle Fläche mit heller Granulierung dargestellt.
- ④ Der Übergang vom Münzrand zur Zentrumsfläche ist leicht geneigt und wird als Fläche mit Grauton wiedergegeben.



Münzprüfung Dichtfläche Mikropprägung Lackschäden

Kontrastreiche Bildaufnahme strukturierter Objekte; Unsichtbares wird sichtbar

Eine an die Objekteigenschaften angepasste Aufnahme- und Beleuchtungstechnik hebt die gesuchten Merkmale hervor. Aufwändige Bildverarbeitungsalgorithmen werden vermieden.

In der Mikroskopie ist die Anwendung ausgefeilter Beleuchtungstechniken zur Hervorhebung gesuchter Objektmerkmale seit jeher selbstverständlich. Neben der Qualität der Optik ist die Art der Objektbeleuchtung entscheidend für den Wert des erzeugten Bildes. Für die Auflichtmikroskopie, z.B. zur Untersuchung der Kristallstruktur metallischer Oberflächen, werden Techniken wie Hellfeld- und Dunkelfeldbeleuchtung, gerichtete und diffuse Beleuchtung seit dem Ende des 19. Jahrhunderts angewendet.

Obwohl die industrielle Qualitäts- und Fertigungskontrolle zum Teil sehr hohe Anforderungen an die digitale Bilderkennung stellt, endet die Konzeption der Aufnahmetechnik dort häufig bei der Auswahl eines Sensors mit hinreichender Pixelzahl und einer Beleuchtungsquelle ausreichender Energie. Die Folgen sind erschwerte Bedingungen für die digitale Bilderkennung. Die gesuchten Objektmerkmale müssen durch aufwändige Bildverarbeitungsalgorithmen hervorgehoben werden. Gelingt dies nur eingeschränkt, ist die Fehlerquote hoch.

Für auf Zeilenkameras basierende Aufnahmesysteme entwickelt und vertreibt Schäfter+Kirchhoff seit vielen Jahren aufeinander abgestimmte Systemkomponenten, wie CCD-Zeilenkameras, Objektive und Beleuchtungseinrichtungen. Die vorgestellte Zeilenkamera mit integrierter Hellfeldbeleuchtung gehört zu einer Reihe kompakter Sensorköpfe von Schäfter+Kirchhoff, die CCD-Zeilenkamera, Objektiv und gerichtete Hellfeldbeleuchtung in einem industrietauglichen Gehäuse integrieren. Meßbereich und Auflösung sind ebenso wie die verwendete Beleuchtungstechnik an die jeweilige Meßaufgabe angepasst. Die Aufnahmetechnik hebt die gesuchten Objekt-

merkmale hervor. Die nachgeschaltete Bildverarbeitung findet optimale Bedingungen vor.

CCD-Zeilenkameras

CCD-Zeilenkameras sind Halbleiter-Kameras mit nur einer lichtempfindlichen Zeile, die je nach Typ bis zu 10680 Bildelemente (Pixel) von 4 bis 25 µm Breite enthalten. Eine zweidimensionale Abbildung entsteht durch Scannen, d.h. Bewegung des Objektes senkrecht zum Zeilensensor).

Die Pixelzahl und die Pixelbreite des CCD-Zeilensensors bestimmen zusammen mit dem Abbildungsmaßstab β (Messfeld/Sensorenlänge) die Auflösung parallel zum Sensor. Die laterale Auflösung wird durch den Transportvorschub zwischen zwei Zeilenaufnahmen festgelegt. Der Scanweg in Transportrichtung bzw. die Abfolge der Zeilenscans ist unbegrenzt. Beispiele: Produktkontrolle auf dem Fließband, Oberflächen und Texturanalyse bei Metallbändern und Profilen.

Vergrößerungs- und Makroobjektive

Abhängig von der benötigten Vergrößerung (Verhältnis Meßbereich/Sensorenlänge) und der Sensorenlänge wird das verwendete Objektiv aus einer Reihe hochwertiger Vergrößerungs- und Makroobjektive ausgewählt. Diese Objektive bieten eine hohe Abbildungsqualität für Abbildungsmaßstäbe 2- bis 30-fach (Vergrößerungsobjektive) bzw. 0,8- bis 3-fach (Makroobjektive) und Sensorenlängen bis zu 70 mm.

Die optische Auflösung beträgt bis zu 70 lp/mm (7 µm) bei hohem Kontrast und sehr geringer Verzeichnung (<0.05% am Sensorrand).

CCIR-Videokamera 768 x 576 Pixel	CCD-Zeilenkameras
SK 1024 SR	SK 1024 SR
SK 2048 DJR	SK 2048 DJR
	SK 5000 JR
	SK 7926 DJR
	SK 10680 DJR

Optische Auflösung von CCD-Zeilensensoren
 Pixelzahl: 256 bis 10680 • Pixelgröße: 3.5 bis 25 µm
 Zeilenfrequenz: bis 70 kHz

Tabelle 1: Auflösung von CCD-Zeilenkameras

Beleuchtung

Bedingt durch die hohe Messfrequenz und die daraus resultierende Belichtungszeit von wenigen Mikrosekunden wird für die Signalwandlung auf dem Zeilensensor ein Mehrfaches an Licht benötigt gegenüber einer Kamera mit CCD-Matrixsensor und 50 Hz Bildfrequenz.

Randbedingungen wie die Reflexionseigenschaften des Messobjekts und die für die Prüfung zur Verfügung stehende Taktzeit legen die benötigte Beleuchtungsstärke fest. Für eine gleichmäßige Ausleuchtung bei hoher Leuchtdichte ist im Sensorkopf ein faseroptischer Querschnittswandler integriert. Zylinderoptiken kollimieren und homogenisieren das emittierte Licht. Ein vorwiegend vertikaler Lichteinfall auf das Messobjekt gewährleistet einen optimalen Bildkontrast.

Als Primärlichtquellen werden Halogenlampen oder (für Hochgeschwindigkeits-Scansysteme) Metaldampflampen verwendet.

Meßbereich und Auflösung

Meßbereich und Auflösung werden innerhalb gewisser Grenzen anwendungsspezifisch festgelegt.

Verwendet werden Zeilenkameras mit 512 bis 7500 Pixeln. Bei Zeilenkameras mit 512 Pixeln und 40 MHz Pixelfrequenz werden Zeilenfrequenzen bis zu 78 kHz erreicht. Bei 7500 Pixeln und gleicher Pixelfrequenz bis zu 5,3 kHz Zeilenfrequenz.

Meßbereich und optische Auflösung werden bestimmt von der Pixelgröße, der Pixelanzahl und dem Abbildungsmaßstab. Die höchste optische Auflösung beträgt 7 µm. Diese wird mit Zeilenkameras mit 7 µm Pixelgröße und einer 1:1-Abbildung erreicht. Kameras mit größeren Pixeln und/oder größere Abbildungsmaßstäbe bieten eine reduzierte Auflösung (bis ca. 50 µm) bei gleichzeitig vergrößertem Meßbereich. Bei spiegelnden Oberflächen begrenzt die Beleuchtungseinheit die Breite des Meßbereichs auf (z.Zt.) maximal 80 mm.

Um genügend Platz für die zu untersuchenden Objekte zu bieten, wird auf einen großen freien Arbeitsabstand Wert gelegt. Dieser beträgt standardmäßig 40 - 65 mm.

Gesamtkonzept

Die Konzeption des zeilenkamerabasierten Sensorkopfes müssen bei der Auswahl sämtlicher Komponenten neben der eigentlichen Messaufgabe Objekteigenschaften wie diffuse und/oder spiegelnde Reflexion und Randbedingungen wie zulässige Taktzeiten und freie Arbeitsabstände berücksichtigt werden.

Das Ineinandergreifen aufeinander angepasster Systemkomponenten sichert optimale Ergebnisse.

Die Systemkonzeption wird von **Schäfter+Kirchhoff** als Ingenieursleistung übernommen. Der intern modulare Aufbau des Sensorkopfes ermöglicht eine schnelle Anpassung an die zu lösende Messaufgabe. Der Sensorkopf wird ab Werk justiert geliefert. Das industrietaugliche Gehäuse schützt empfindliche Komponenten vor Dejustierung und Verschmutzung und erleichtert die Integration des Systems.

CCD-Zeilenkamerasysteme

Die CCD-Zeilenkameras mit integrierter Helffeldbeleuchtung sind alternativ mit LVDS-Schnittstelle oder mit Camera Link-Schnittstelle erhältlich.

PCI Systeme mit LVDS-Schnittstelle verwenden die PC-Interfacekarte SK 9192 D mit PCI-Bus und LVDS-Schnittstelle von **Schäfter+Kirchhoff**. Die speziell auf den Betrieb von Zeilenkameras abgestimmte Funktionalität von Hard- und Software zeichnet diese Systemvariante aus. Die Shading-Korrektur und die Window-Funktion führt die Interfacekarte SK9192D on-board aus. Die Datenerfassung erfolgt über den PCI-Bus im DMA-Busmaster-Betrieb. Die CPU-Belastung liegt dabei unter 1%. Damit sind auch während der kontinuierlichen Datenerfassung anspruchsvolle Bildverarbeitungsalgorithmen in Echtzeit ausführbar.

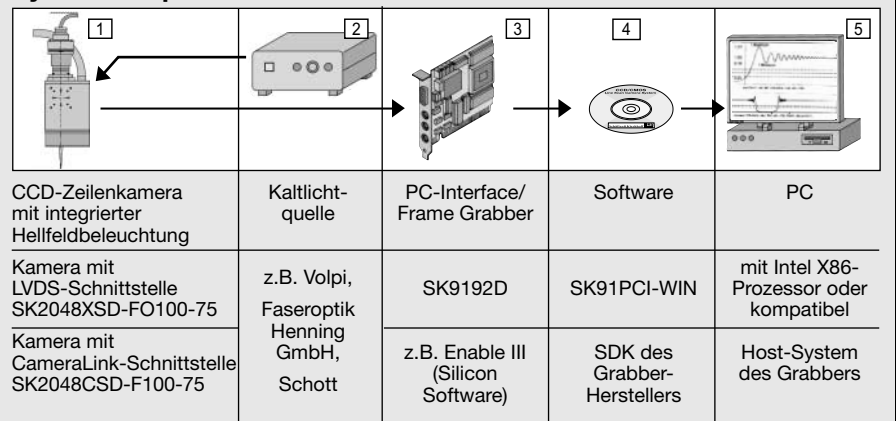
Systeme mit Camera Link-Schnittstelle können an jedem, der Camera Link-Spezifikation entsprechendem Grabber betrieben werden. Durch die Übertragung der Bilddaten von der Kamera zum Grabber mit bis zu 66 MByte/s kann auch bei einer 12-Bit-Auflösung die maximale Zeilenfrequenz erreicht werden.



Die Camera Link-Grabber haben einen PCI-Bus, so daß im DMA-Busmaster-Betrieb bei vernachlässigbarer CPU-Belastung während der Datenerfassung eine Echtzeitverarbeitung der Bilddaten möglich ist.

Ein Nachteil ist, daß Camera Link Framegrabber im Allgemeinen auf Flächenkameras zugeschnitten sind und keine zeilenkameraspezifische Funktionalität bieten wie z.B. die zur Einrichtung benötigte oszilloskopische Signaldarstellung. Für ausgewählte Camera Link Framegrabber bietet **Schäfter+Kirchhoff** ein auf die Zeilenkamera abgestimmtes Bedienprogramm an.

Systemkomponenten



Für Kameras mit **LVDS-Schnittstelle** liefert **Schäfter+Kirchhoff** PC-Interfacekarten und Software für PCs mit Windows XP/2000/NT. Das Softwarepaket SK91PCI-WIN enthält das Betriebsprogramm SKLineScan für oszilloskopische Signaldarstellung und Kameraparametrierung sowie Treiber, DLLs und Klassenbibliotheken (C++) für die Programmierung eigener Applikationen.

Kameras mit **CameraLink-Schnittstelle** werden an CameraLink-Framegrabber wie z.B. der Enable III der Fa. Silicon Software angeschlossen. Zur Softwareentwicklung wird auf das SDK des Grabber-Herstellers zurückgegriffen. Für die Enable III bietet **Schäfter+Kirchhoff** ein Bedienprogramm mit oszilloskopischer Signaldarstellung an.

Tabelle 2	System I	System II
CCD-Zeilenkamera	SK 2048 XSD	SK 2048 CSD
Kamera-Schnittstelle	LVDS	CameraLink
Pixelanzahl	2048	2048
Pixelgröße	14 x 14 µm	14 x 14 µm
Dynamikbereich	1:1000	1:1000
Auflösung	8/12 Bit	8/12 Bit
Zeilenfrequenz (8 Bit)	14.2 kHz	14.2 kHz
Zeilenfrequenz (12 Bit)	9.5 kHz	14.2 kHz
Pixelfrequenz (8/12Bit)	30/20 MHz	30/30 MHz
PC-Interface	SK 9192 D	CameraLink-Grabber
Datentransfer	PCI-Bus	PCI-Bus
Echtzeitverarbeitung	ja	ja
Extern Sync.	ja	ja
Shading-Korrektur	On-Board	On-Board
Window-Funktion	On-Board	On-Board
Kabellänge (standard)	bis zu 20 m	bis zu 20 m
Mehrkamerabetrieb	bis zu 5 Kameras	bis zu 4 Kameras
Zusatz-Hardware	PCI-Interface SK9192D, Merger-Box SK9195	Repeater für Kabellänge bis 500 m
Software	SK91PCI-WIN	Treiber/SDK (Grabber-Herst.)

Tabelle 2: Leistungsvergleich von CCD-Zeilenkamerasystemen mit LVDS-Schnittstelle oder CameraLink

Applikation:

Lageerfassung und Positionskontrolle

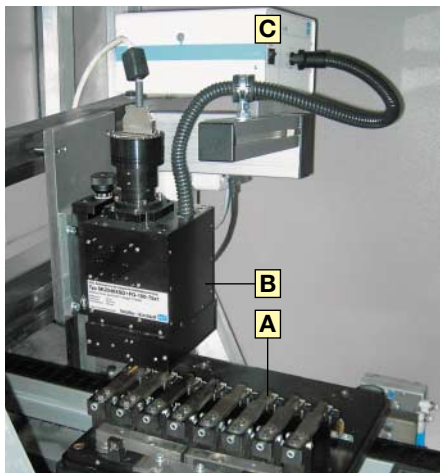


Foto: Fa. Swoboda

Bild 3:

Prüfanlage zur Positionskontrolle und Lageerfassung

- A** Komponententräger und Spannvorrichtung
- B** CCD-Zeilenkamera mit integrierter Hellfeldbeleuchtung
- C** Kaltlichtquelle

Bild 3 zeigt eine Prüfanlage zur Positionskontrolle und Lageerfassung elektronischer Baugruppen.

Elektronische Leistungsschalter und Steuerungen, wie sie in Automatik-Getrieben eingesetzt werden, haben eine Schlüsselfunktion in der KFZ-Technik. Ein Ausfall dieser Baugruppe führt zur Inmobilität und Funktionsunfähigkeit des Fahrzeugs. Da sich die Baugruppe in der Ölwanne des Automatikgetriebes befindet, ist eine Reparatur Zeit- und Kostenaufwändig.

Qualitätssicherung für eine Baugruppenfertigung mit "Nullfehler-Merkmalen" ist daher unabdingbar.

Ein Fertigungsschritt ist die Kontaktierung der Leistungs-ICs auf dem Baugruppenträger. Hierzu werden die Einzelteile in den Komponententräger (Bild 3, Sektion A) eingelegt und mit einer Spannvorrichtung fixiert. Das CCD-Zeilenkamera-System ermittelt während des Transportes zur nachgeschalteten Laser-Schweißanlage Position und Koordinaten der Kontaktstellen.

Die integrierte Hellfeldbeleuchtung im CCD-Zeilenkamera-System bewirkt eine kontrastreiche Darstellung der Kontaktstellen und somit eine schnelle und präzise Positionserfassung mit einfachen und schnellen Bildverarbeitungsalgorithmen. Das Ergebnis ist eine präzise und fehlerfreie Kontaktierung der bis zu 96 und mehr Kontaktstellen pro Baugruppe.

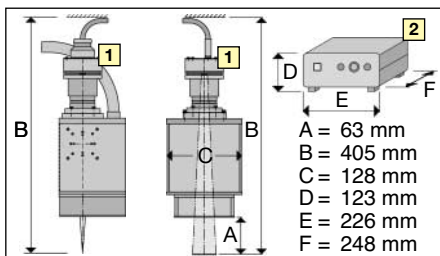


Bild 4: Maßbild der Basiskomponenten

- 1** CCD-Zeilenkamera
- 2** Kaltlichtquelle

Applikation: Qualitätskontrolle

Scherblatt für Rasierapparate, Überprüfung auf Fertigungsfehler

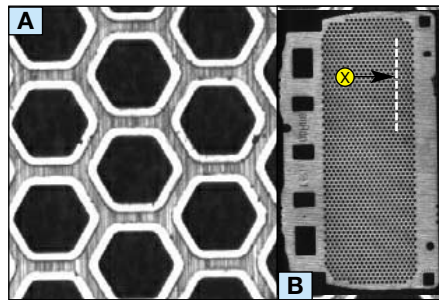


Bild 5: Scherblatt für Rasierapparate

- B** Scherblatt aufgenommen mit Hellfeldbeleuchtung
- A** Detailvergrößerung

Unten: oszilloskopische Darstellung des CCD-Zeilensignals bei Hellfeldbeleuchtung.

Applikation: Oberflächenkontrolle

Bremsklotz mit Sinterbelag, Fehlstellen-ermittlung im Bereich der Führungsbahn

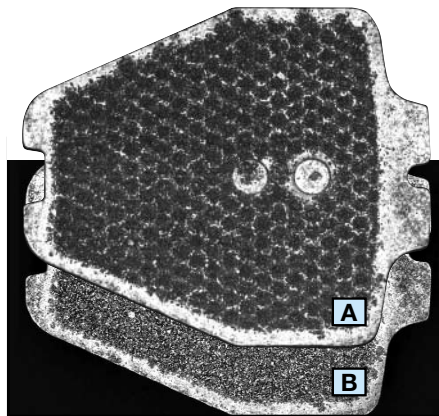


Bild 6: Bremsklotz mit Sinterbelag

- A** Hellfeldbeleuchtung
- B** Diffuse Beleuchtung

Bild **A** und **B** wurden mit der gleichen Kamera und identischer Abbildungsgeometrie aufgenommen. Sie unterscheiden sich lediglich in der verwendeten Beleuchtungstechnik. In Bild **B** sind die aufgesinterten Partikel-Cluster und Fehlerstellen im Prüfbereich deutlich zu erkennen.

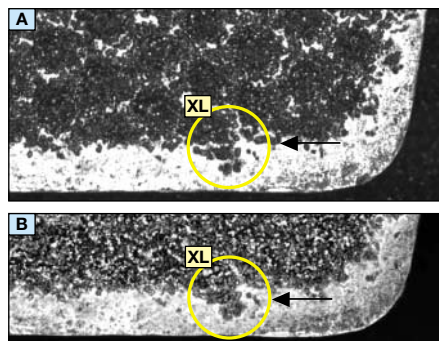


Bild 7: Makrodarstellungen eines Bremsklotzes

Ein Wechsel der Beleuchtungsrichtung verändert die Darstellung des Bildinhaltes.

- A** Hellfeldbeleuchtung
- B** Diffuse Beleuchtung
- XL** Beispiel für Fehler im Prüfbereich

Applikation: Lackschäden

Filiformkorrosion bei lackiertem Aluminium, fadenförmige Lackunterwanderungen

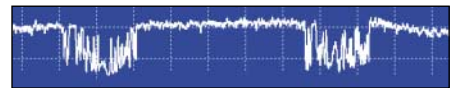
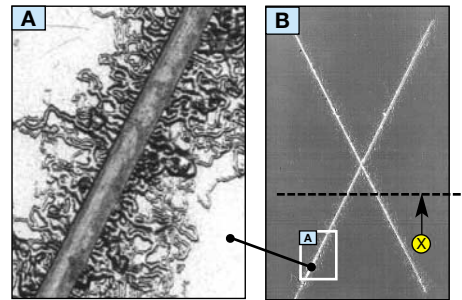


Bild 8: Prüflatte aus lackiertem Aluminium mit Filiform-Korrosion

- B** Prüflatte, konventionelle diffuse Beleuchtung
- A** Detaildarstellung mit Hellfeldbeleuchtung

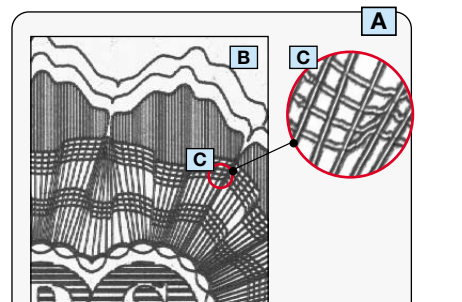
Unten: oszilloskopische Darstellung des CCD-Zeilensignals bei Hellfeldbeleuchtung.

Die im Automobilbau verwendeten Karosseriebleche sind empfindlich gegen Filiform-Korrosion, von Kratzern ausgehenden fadenförmigen (engl. filiform) Lackunterwanderungen. Bild 8 zeigt eine zur Untersuchung der Filiform-Korrosion verwendete lackierte Prüflatte, die definiert zerkratzt und bewittert wurde. Mit diffuser Beleuchtung (Bild 8 **B**) sind die Lackunterwanderungen nicht sichtbar. Die gerichtete Hellfeldbeleuchtung läßt die Konturen der Fäden kontrastreich hervortreten (Bild 8 **A**). Die automatische, auf digitale Bildverarbeitung beruhende Bewertung der Prüflatten findet optimale Bedingungen vor.

Applikation: Sicherheitsprägung

Unsichtbares wird sichtbar

Die in Bild 9 abgebildete Identitätskarte hat eine für das Auge unsichtbare reliefartige Blindprägung. Die Mikrostruktur der Blindprägung wird durch die gerichtete Hellfeldbeleuchtung sichtbar gemacht. Feinste Details des Werkzeugs werden erkannt, Fälschungen entlarvt.



- A** Identitätskarte diffus beleuchtet
- B** Details einer Aufnahme mit Hellfeldbeleuchtung
- C** Detailvergrößerung aus Sektion **B**

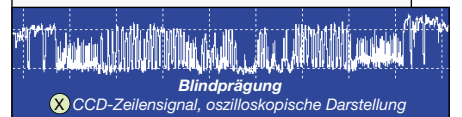


Bild 9: Identitätskarte mit Blindprägung

Blindprägung
X CCD-Zeilensignal, oszilloskopische Darstellung

Applikation:

Rißprüfung an einem Kalt-Fließpreßteil

- 100%-Kontrolle der systemkritischen Funktionsflächen im Dreischichtbetrieb.
- Kundenspezifische Sonderentwicklung.
- CCD-Zeilenkamera mit integrierter Hellfeldbeleuchtung.
- Bauform und Gehäusegröße angepaßt an das vorhandene Einbauvolumen.
- Robustes Kameragehäuse, kratzfest und gegen Verschmutzung resistente Saphir-optik.

Alle Komponenten sind für den rauen Industrieinsatz ausgelegt.

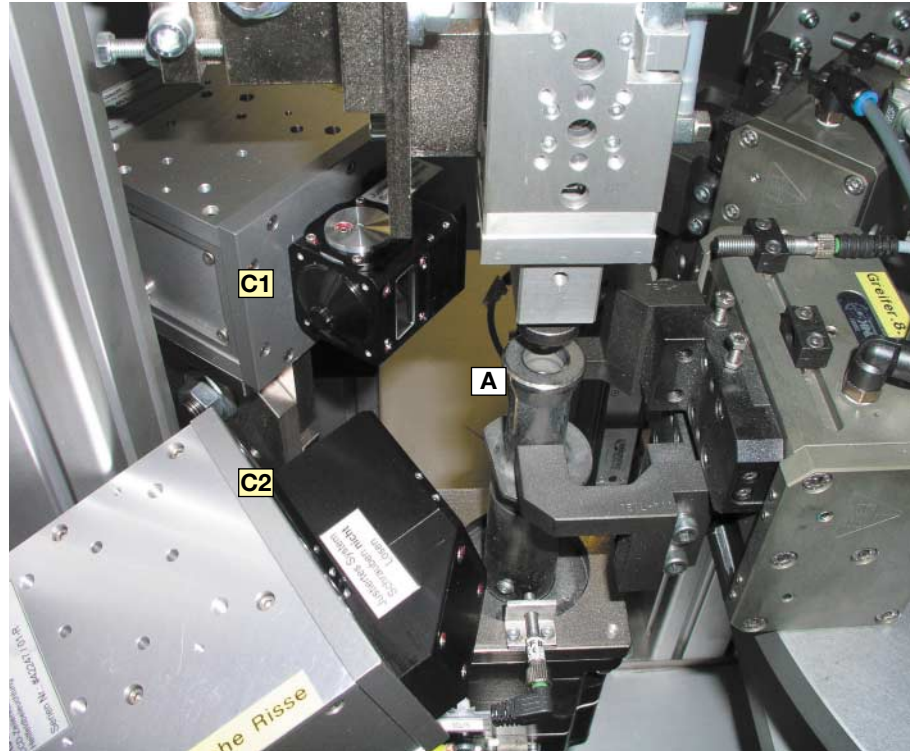
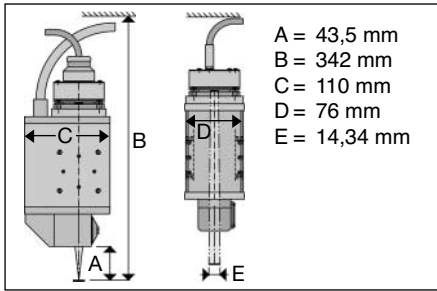


Foto: Fa. Dold

Bild 10: Maßbild der Kamera

Kamera **C1** und **C2** sind in der Bauform und den Anschlußmaßen gleich. Die Kamera **C2** wurde aus Platzgründen (Bild 3) um 180° gedreht montiert.

Bild 11: Prüfanlage mit Kameras und handling-System,

- A** Meßobjekt (Kaltfließpreßteil)
- C1** Kamera, horizontal montiert, kontrolliert die obere Mantelfläche **A1**
- C2** Kamera, in Winkellage montiert, kontrolliert den konischen Ansatz **A2**

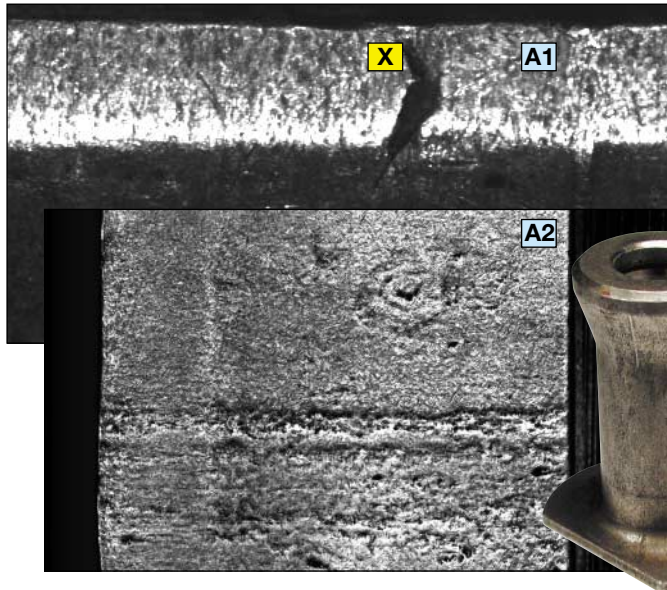


Bild 12: Meßobjekt und Prüfflächen

- A** Kaltfließ-Preßteil
- A1** Oberflächen-Scan der oberen Mantelfläche (Kamera **C1**)
- X** Riß in der Mantelfläche.
- A2** Oberflächen-Scan und Textur des konischen Ansatzes (Kamera **C2**)

Das oben dargestellte Prüfsystem zeigt die Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit der personenfreien Qualitätskontrolle mit industriellen Bildverarbeitungs-Systemen. Das gesetzte Ziel der Auslieferung von Massenprodukten mit "Nullfehler" wurde erreicht.

CCD-Zeilenkameras, PC-Interface und Basissoftware: Schäfter+Kirchhoff


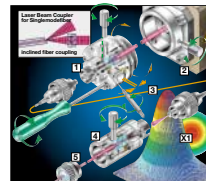


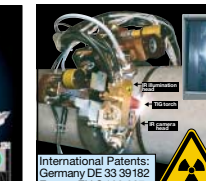

Bildverarbeitungs-Software, Fehleranalyse und Konzeption: FhG-IPA Stuttgart
email: mkh@ipa.fraunhofer.de

Handling-System, Integration und Generalunternehmer: Fa. Hörmlle
email: info@hoermle.de

OPTICS, METROLOGY AND PHOTONICS BY



40 years of experience and a lot of production know-how are the base of many advanced optical products and optoelectronic systems designed by Schäfter + Kirchhoff

<p>Laser Diode Systems in space</p> 	<p>Laser Beam Coppler</p> 	<p>CCD Line Scan Camera System</p> 	<p>Laser Line generators</p> 	<p>Orbital Tube Welding Head 160-VIS</p> 	<p>Optical Design Service</p> 
--	--	---	---	---	--