

GEOMETRIEVERMESSUNG UND NAHTVERFOLGUNG AN TAILORED BLANKS

Heiko Falldorf

Inhalt

1	Zusammenfassung	1
2	Aufgaben	2
3	Meßverfahren	2
4	Meßbedingungen	3
5	Detektorvergleich	3
6	Inspector Sensorsystem	5
7	Einsatz in Produktionslinien	6
8	Ausblick	9

1 Zusammenfassung

Eine Geometrievermessung von Schweißnähten mit dem Lichtschnittverfahren erfaßt unmittelbar qualitätsbestimmende Kenngrößen und eignet sich damit prinzipiell für eine automatisierte Überwachung von Schweißprozessen.

Die möglichst schnelle Abtastung des Höhenverlaufs quer über die Naht, deren Oberflächenbeschaffenheit von glänzend bis verrußt reicht und unterschiedliche Verkippungen aufweist, stellt hohe Anforderungen an ein Meßsystem. Wie diese Anforderungen von verschiedenen Ausführungen des Lichtschnittverfahrens abgedeckt werden, wird diskutiert.

Eine Ausführung, bei der ein Detektor mit hoher Geschwindigkeit und großem Dynamikumfang zusammen mit einer Signalauswertung in Hardware eingesetzt wird, bildet die Grundlage des vorgestellten Inspector Sensorsystems. Eine frei parametrierbare Auswertung des Oberflächenprofils erlaubt es, z.B. einen Nahteinfall oder Kantenversatz mit einer typischen Genauigkeit von 0,02 mm zu ermitteln und eine automatische Ausschleusung von fehlerhaften Teilen durchzuführen.

Eine Sensorpositionierung im Vorlauf der Schweißung ermöglicht die Bestimmung der Kantenlage und damit eine Nahtverfolgung. Nahtverfolgung und Nahtinspektion bei der Produktion von Tailored Blanks werden vorgestellt.

2 Aufgaben

Das Verschweißen von Werkstücken erfordert die Ausrichtung von Werkstücken und Schweißwerkzeug zueinander. Aus wirtschaftlichen oder technologischen Gründen ist eine präzise Einspannung und Führung nicht immer möglich, so daß, auch zum Ausgleich von Werkstücktoleranzen, viele Aufgaben nur mit einer sensorgestützten Nachführung des Werkzeuges, der sog. Nahtverfolgung, zu erfüllen sind.

Die Qualität der geschweißten Naht ist möglichst früh zu erfassen, um eine Aussortierung oder Nachbearbeitung vorzunehmen. Für die Überwachung des Schweißprozesses bietet sich die Erfassung von Einflußgrößen (z. B. Laserleistung), von während des Schweißens auftretenden Effekten (z. B. Schall, Licht, Temperatur) oder von den Eigenschaften der geschweißten Naht (z. B. Geometrie, Festigkeit) an. Einige Signale sind relativ leicht zu erfassen, wie die Lichtemission beim Schweißen, haben allerdings nicht immer einen eindeutigen Bezug zum Schweißergebnis. Eine höhere Aussagekraft hat die Geometrie der geschweißten Naht.

3 Meßverfahren

Das Lichtschnittverfahren, auch als Triangulationsverfahren bezeichnet, erlaubt die Erfassung des Höhenprofils quer über die Schweißnaht oder den Schweißstoß. Dabei wird eine (oder mehrere) Lichtlinie(n) auf das Werkstück projiziert und von einer Kamera aufgenommen (Bild 1a) oder ein Lichtpunkt wird mit einem Scannersystem abgelenkt und über einen ebenfalls abgelenkten Empfangsstrahlengang von einem zeilenförmigen Sensor beobachtet (Bild 1b). Das Ergebnis ist in beiden Fällen identisch: Durch den Unterschied von Projektions- zu Beobachtungsrichtung zeichnet sich das Höhenprofil des abgetasteten Objektes auf dem Sensor ab.

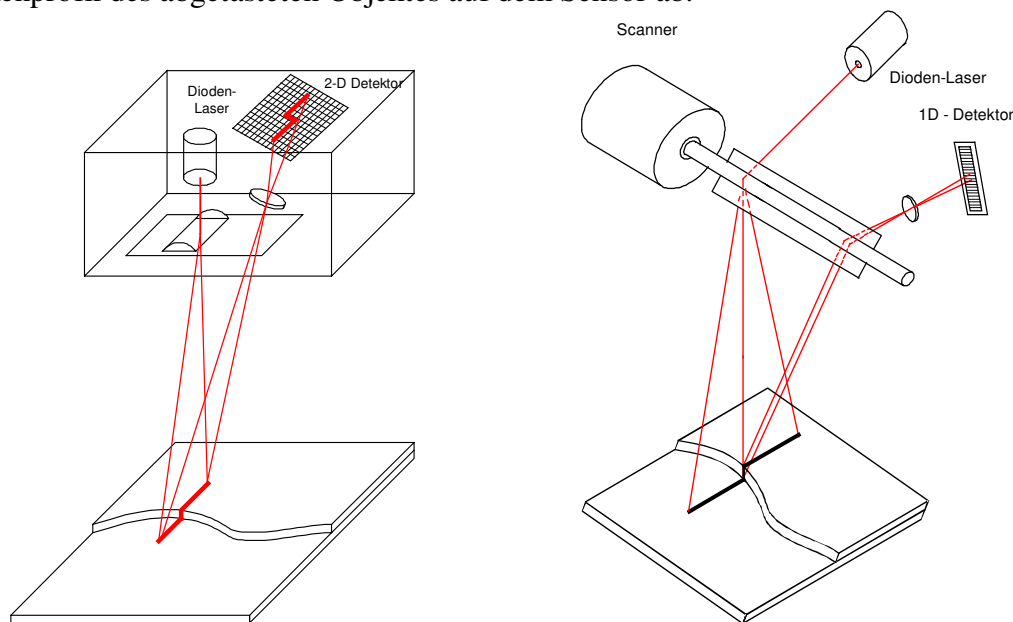


Bild 1: Lichtschnittsensoren mit a.) Detektorfeld oder b.) Detektorzeile

4 Meßbedingungen

Je nach Abstand zum Ort der Schweißung und je nach Schweißverfahren sind störende Lichtemissionen des Schweißprozesses zu unterdrücken. Hierfür wird i. a. zur Projektion von Lichtpunkt oder -linie eine Laserdiode eingesetzt und im Beobachtungsstrahlengang ein auf die Laserwellenlänge abgestimmter, schmalbandiger Filter benutzt.

Die besonderen Anforderungen an ein Nahtinspektionssystem liegen in der starken Variation der zurückgestrahlten Lichtintensität. Diese kann durch ein nahezu spiegelndes Segment auf der Oberfläche, je nach Reflexionswinkel, sehr hoch oder sehr gering sein. Selbst bei einer weitgehend diffusen Rückstrahlung entsteht durch eine beim Schweißen teilweise verrußte oder mit weißem Zinkstaub bedeckte Oberfläche eine sehr große Intensitätsbandbreite, die von einer Standard-CCD-Kamera i. a. nicht wiedergegeben werden kann. Bei einer empfindlichen Einstellung treten in hellen Bildbereichen Übersteuerungen auf, die sich auch in benachbarte Bereiche ausweiten (blooming) und so nur eine eingeschränkte Meßgenauigkeit erlauben. Bei einer unempfindlichen Kameraeinstellung bleiben die schwach reflektierenden Bereiche der Naht unsichtbar.

Die zweite wesentliche Anforderung an ein Nahtinspektionssystem ist eine möglichst hohe Dichte der Abtastlinien zur Erfassung kleiner Fehlstellen.

5 Detektorvergleich

Verschiedene Ausführungen des Lichtschnittverfahrens sind realisiert worden und werden z. T. auf dem Markt angeboten. Im Hinblick auf die für die Nahtinspektion notwendige hohe Dynamik und Geschwindigkeit wird im folgenden eine Einschätzung gegeben:

Mehrlinienprojektion zur Erhöhung der Meßfrequenz

Eine Erhöhung der effektiven Meßfrequenz ist durch eine gleichzeitige Projektion und Auswertung mehrerer Lichtlinien möglich.

Mehrlinienprojektion zur Erhöhung des Dynamikbereiches

Über die Projektion verschieden heller Lichtlinien kann jedes Oberflächenelement mehrfach mit verschiedenen Beleuchtungsstärken erfaßt werden, so daß bei stark schwankenden Reflexionsbedingungen mindestens einmal eine geeignete Helligkeit erzielt wird.

Mehrfachaufnahme mit verschiedenen Belichtungszeiten

Analog zum vorgenannten Verfahren kann eine Oberflächenelement mit verschiedenen Belichtungszeiten (= verschiedene Kameraempfindlichkeiten) aufgenommen werden. Bei entsprechender Auslegung des Systems (z. B. mehrere Linien pro Bild und die Bilder werden mit zyklisch wechselnden Empfindlichkeiten aufgenommen) wird bei einer abgestimmten Bildfrequenz das Profil entlang einer bestimmten Abtastlinie mit verschiedenen Empfindlichkeiten aufgenommen.

Nachteilig an den Mehrlinienverfahren ist, daß die Vorschubgeschwindigkeit und der Linienabstand exakt aufeinander abzustimmen sind, falls eine äquidistante Abtastung auch in der Abfolge mehrerer Bilder erzielt werden soll.

Spezialdetektoren

Mit dem Aufkommen von CMOS-Bildsensoren als eine Alternative zu den CCD-Sensoren entstanden Varianten, die eine logarithmische Eingangsempfindlichkeit aufweisen und einen wahlfreien Zugriff auf die Bildpunkte des Sensors erlauben. Ein System mit dieser Art Bildsensor wird im nachfolgendem Kapitel beschrieben.

Nachteilig für diesen Sensor ist der hohe Entwicklungsaufwand der mangels Standard-Kamera-Module erbracht werden muß. Weiterhin bedeutet der hohe Dynamikbereich einen geringem Bildkontrast bei normalen Bildinhalten, wie sie z. B. bei einer flächigen Beleuchtung auftreten; in diesem Fall wird eine Bildauswertung erschwert.

Scanner

Mit Scanner nach Bild 1b kann schnell abgetastet werden und die Intensität ist für jeden einzelnen Punkt entlang einer Scan-Linie nachzuregeln und so der lokalen Reflektivität anzupassen. Die Scan-Bewegung kann u. a. durch oszillierende Spiegel an Galvano- oder Resonanz-Scannern oder durch sich drehende Polygonspiegel erzeugt werden. Als 1-dimensionaler Detektor werden PSDs (Position-Sensitive-Devices) oder CCD-Zeilen eingesetzt.

Ein PSD, welches die Lage des Schwerpunktes der einfallenden Lichtstrahlung in ein Verhältnis zweier Photoströme umsetzt, ist nur einmal pro Scan-Punkt auszulesen und erlaubt so hohe Abtast-Frequenzen. Nachteilig ist, das jegliches zusätzliches Licht auf dem PSD, bedingt u. a. durch Störreflexe an unregelmäßigen Oberflächen, den Schwerpunkt verschiebt und zu ungenauen Messungen führt.

Eine Auswertung der Lichtintensität über die Schwerpunktbestimmung hinaus bedingt eine hohe Anzahl von Einzelsensoren (z. B. CCD-Zeile) und eine numerische Berechnung. CCD-Zeilen müssen pro Abtastpunkt in voller Länge (z. B. 256 Bildpunkte) ausgelesen werden und begrenzen somit die Scan-Frequenz.

Tabelle 1: Einordnung verschiedener Sensorprinzipien für die Nahtinspektion

Type	Dynamik umfang	Geschwindig- keit	Genauigkeit	Mechanik -aufwand
Flächen Kameras				
Eine Linie	-	-	+	+
Mehrere Linien gleicher Intensität	-	+	+	+
Mehrere Linien verschiedener Intensität	+	-	+	+
Mehrfachaufnahme	+	-	+	+
Sonderdetektoren	+	+	+	+
Scanner				
PSD Detektor	+	+	-	-
CCD Zeile	+	+	+	-

In vorstehender Tabelle sind die prinzipiellen Eigenschaften verschiedener Sensorprinzipien zur Profilgewinnung sehr grob klassifiziert. Eine Eignung zur

Nahtverfolgung ist hieraus nur bedingt abzulesen. Zu sehr variieren die Einsatzbedingungen und Sensorausführungen. Testmessungen an Proben und im nächsten Schritt ein vergleichender Testeinsatz kann hier ein geeignetes System ermitteln.

6 Inspector Sensorsystem

Ein Vertreter der Gruppe „Spezialdetektor“ ist das Inspector Sensorsystems. Es wurde 1996 mit dem ersten Aufkommen von schnellen CMOS-Sensoren mit logarithmischer Empfindlichkeit für den Einsatz in der Bandverbindungstechnik entwickelt. Von Feststellung der theoretischen Eignung zu einem Sensorsystem war eine Reihe von Entwicklungsschritten notwendig.

Neben der Entwicklung von Optik und Mechanik mußte mangels der Verfügbarkeit von geeigneten Kameramodulen eine Elektronik entwickelt werden, welche folgende Aufgaben erfüllt: Bedingt durch die Technologie des Bildsensors besitzt jeder Bildpunkt eine eigene Grundhelligkeit, die als Störmuster (auch FPN, Fixed Pattern Noise) über dem Bild liegt. Während des Auslesens der Bildinformation ist dieser Helligkeitsversatz für jeden Bildpunkt einzeln zu korrigieren, was bei hoher Bildfrequenz einen hohen Rechenaufwand bedeutet. Ein noch höherer Aufwand entsteht bei der Ermittlung des Oberflächenprofils aus den Grauwertbildern. Für Bildfrequenzen von 200 Hz wurde der Auswertalgorithmus in FPGAs (Field Programmable Gate Arrays) hoher Dichte implementiert. Ein weiter Schritt war die Entwicklung einer digitalen Hochgeschwindigkeitsschnittstelle, um digitale Bildsignale ohne eine qualitätsmindernde analoge Zwischenform über weite Wege zu einem Auswerterechner zu übertragen.

Der Sensorkopf mit Linienprojektor, Abbildungsoptik, Detektor ist hermetisch dicht und mit einem schnell auswechselbaren Schutzglas ausgestattet (Bild 2). Bei Bedarf kann ein passender Kühlwinkel, der auch einen Luft-Querstrom für den Schutz der Optik enthält, montiert werden.



Bild 2: Sensorkopf

Die Empfangsschnittstelle und Datenauswertung ist als PC-Karte ausgeführt. Die Auswertung und Interpretation der Profildaten erfolgt in Software (Bild 3) unter dem Betriebssystem Windows NT. Neben den Profildaten kann das Grauwertbild dargestellt werden.

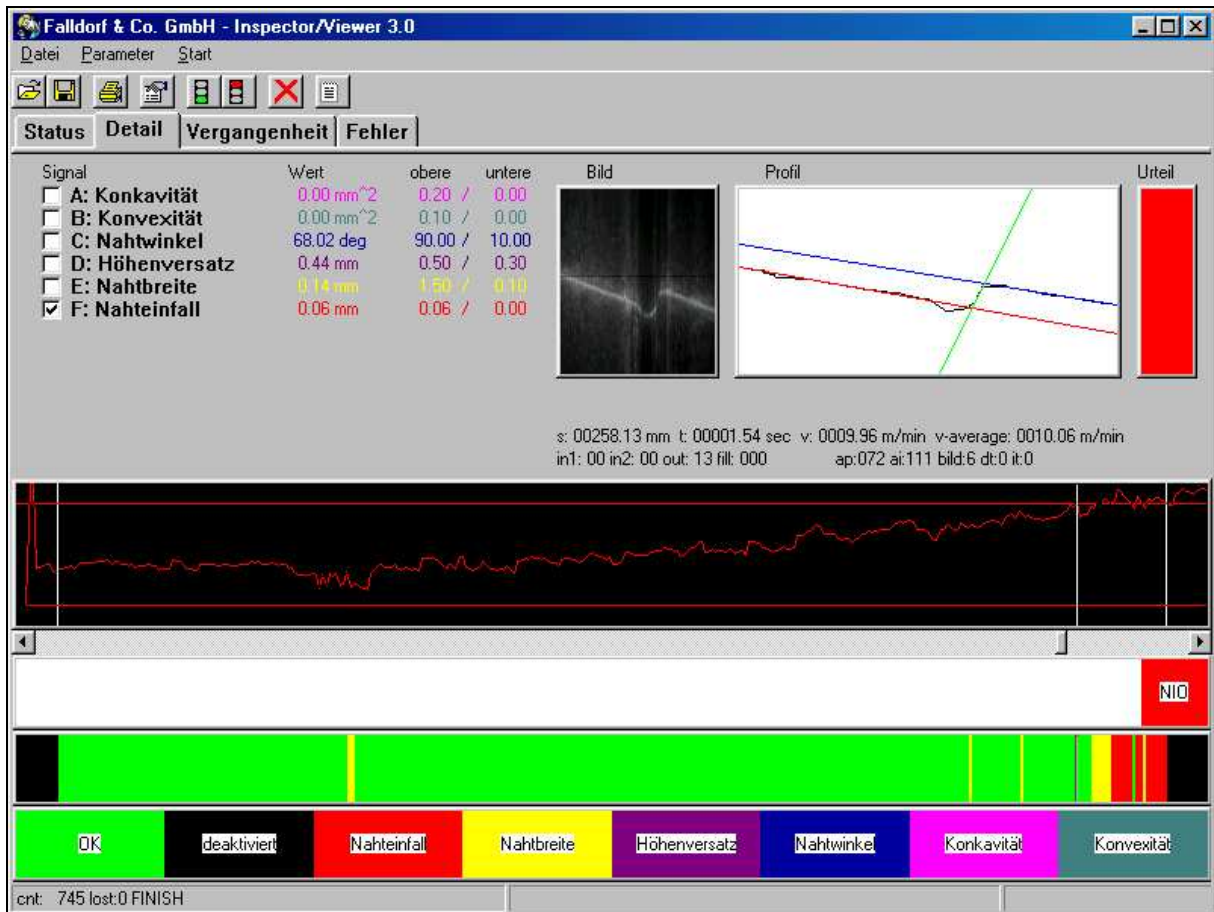


Bild 3: Bildschirm des Detailmodus der Inspector Software: Das Grauwertbild ist gestaucht, das Profildbild zeigt das Profil in einem gespeicherten Datensatz an der aktuellen Cursorposition. Der Meßbereiches beträgt hier ca. 6 mm x 3 mm. Die Naht weist an der dargestellten Nahtposition einen Einfall von 0,06 mm auf. Der Signalverlauf zeigt einem zunehmenden Einfall im Verlauf der Schweißung.

7 Einsatz in Produktionslinien

Aufgaben der Nahtverfolgung und -inspektion treten bei einer Vielzahl von Schweißanwendungen auf. Hier wird der Sensoreinsatz bei der Produktion von Tailored Blanks (Blechplatten, die aus mehreren Teilstücken verschiedener Dicke und Art „maßgeschneidert“ werden) dargestellt. Das hierbei übliche Laserstrahlschweißen erfordert durch eine kleine Schmelzbadgröße eine genaue Positionierung, gleichzeitig werden an die Schweißnahtqualität, bedingt durch die Belastungen beim späteren Umformen, hohe Anforderungen gestellt. Eine Sensorintegration in verschiedenen Anlagentypen ist in den Bildern 4 bis 6 dargestellt.

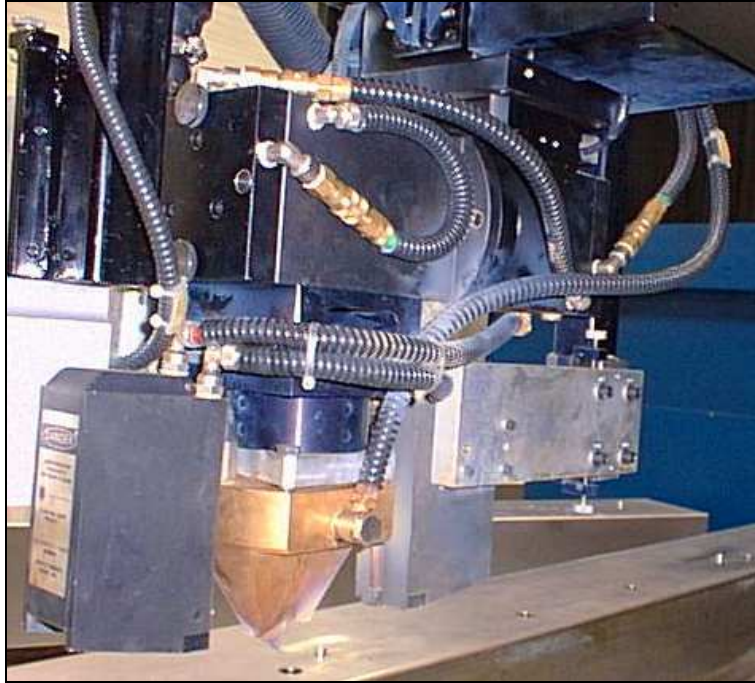


Bild 4: Schweißkopf mit Inspector Sensoren für die Nahtverfolgung und Nahtinspektion (mit freundlicher Genehmigung der Tailor Steel Deutschland GmbH & Co. KG und der Schuler Held Lasertechnik GmbH)



Bild 5: Inspector Sensoren zur Nahtverfolgung und Nahtinspektion integriert in die Arbeitsköpfe einer Thyssen Nothelfer Paletten-Conti-Laserschweißanlage zum Schweißen von nichtlinearen Nähten (mit freundlicher Genehmigung der Thyssen Krupp Stahl AG, der Thyssen Fügetechnik GmbH und der Thyssen Nothelfer GmbH)

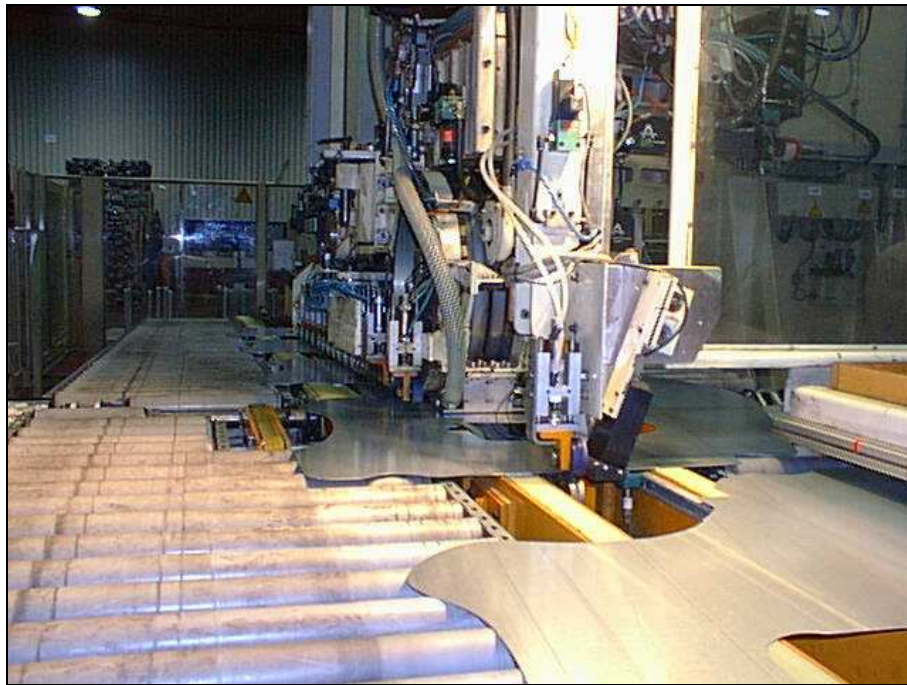


Bild 6: Inspector Sensor zur Nahtinspektion an Thyssen Nothelfer Conti - Laserschweißanlagen (mit freundlicher Genehmigung der Thyssen Fügechnik GmbH und der Thyssen Nothelfer GmbH)

In bestimmten Anlagentypen ist eine Nahtverfolgung notwendig. Ein typisches Profilverlauf mit eingblendeten Auswertelinien ist in Bild 7 dargestellt.

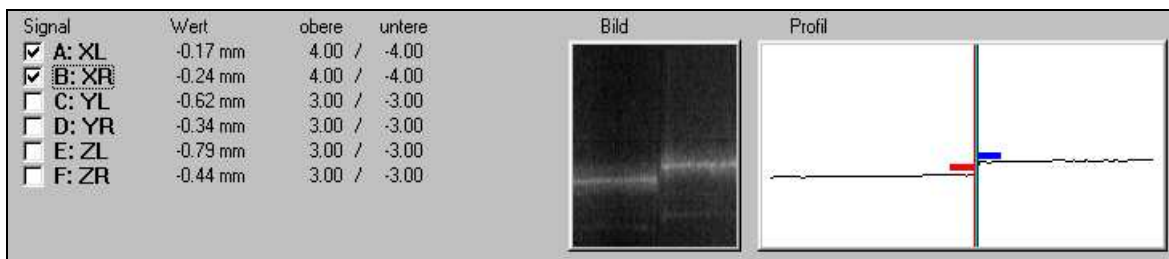


Bild 7: Profilbild bei der Nahtverfolgung bei einem Höhenversatz der zu verschweißenden Bleche von 0,28 mm.

Die ermittelten Raumkoordinaten im Sensorbezugssystem werden im 200 Hz Takt an eine CNC-Steuerung weitergegeben oder alternativ an (Sensorsystem-)eigene Achsen zum Nachführen des Schweißkopfes.

Die on-line Auswertung der Nahtgeometrie wird in den dargestellten Anlagen zur automatischen Ausschleusung fehlerhafter Platinen genutzt. Während eine Ermittlung des Höhenversatzes beider Teilbleche zueinander relativ einfach ist, da hier klare Oberflächen mit relativ konstanten optischen Eigenschaften vorliegen, ist für die Abtastung des aufgeschmolzenen Bereiches der hohe Dynamikumfang des Inspector

Sensoren notwendig. In diesen Bereich ist, für Qualitätsüberwachung zwingend, ein Nahtfall zu ermitteln (bereits in Bild 4 dargestellt). Eine weitergehende mögliche Auswertung der Nahtform zur Ermittlung der Konvexität oder Konkavität ist in Bild 8 und 9 dargestellt.



Bild: 8: Profil einer aufgewölbten Schweißnaht (Konvexität)

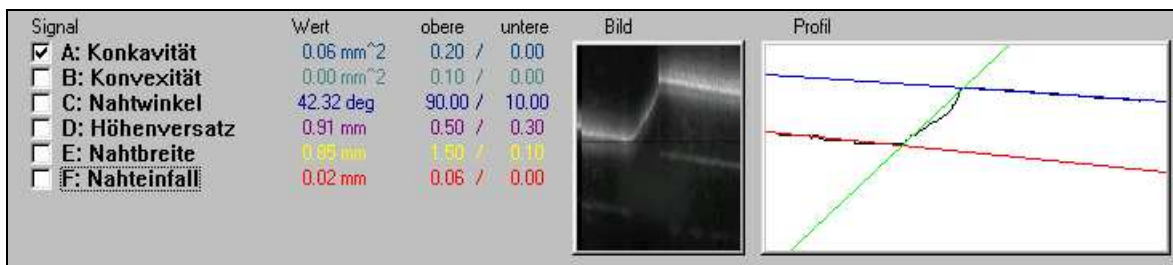


Bild 9: Profil einer eingezogenen Schweißnaht (Konkavität)

8 Ausblick

Die automatische Überwachung der Nahtgeometrie ist Realität geworden. Laufende Entwicklungen liegen in der Erhöhung der Meßfrequenz. Hier sollte eine Bildfrequenz von 2000 Hz demnächst verfügbar sein.