Zeitgemäße Ultraschallprüfung an längsnahtgeschweißten Großrohren

Dr. (USA) Wolfram A. Karl Deutsch, Dipl.-Ing. Michael Joswig, Dipl.-Ing. Rainer Kattwinkel, Dipl.-Ing. Uwe Heider

KARL DEUTSCH Prüf- und Messgerätebau GmbH + Co KG, Wuppertal

Tel.: (+49-202) 7192-0, Fax: (+49-202) 714-932, info@karldeutsch.de, www.karldeutsch.de

Einführung

In Rohrwerken, wo bei großem Durchsatz Großrohre für den Transport von Gas oder Öl produziert werden, sind die Schweißnähte automatisiert erzeugt. Als Schweißverfahren wird das Unter-Pulver-Schweißen eingesetzt. Auch die zerstörungsfreie Ultraschall-Prüfung dieser Schweißnähte erfolgt automatisiert innerhalb des Produktionsablaufes. Die kürzlichen Veränderungen und Verschärfungen der international üblichen Prüfspezifikationen (Beispiel SHELL) führen zu einer deutlich höheren Anzahl der Ultraschall-Prüfköpfe.

Dieser Beitrag stellt kürzlich gelieferte Prüfanlagen vor, bei denen am ruhenden Rohr geprüft wird. Die sonst häufig auftretenden Vibrationen durch den Rohrtransport mit einem Rohrwagen werden somit vermieden. Zudem ist ein höherer Durchsatz erreichbar.

Nachdem die Schweißnaht in die 12-Uhr-Position gedreht worden ist, fährt ein Prüfwagen mit den Prüfköpfen mit hoher Geschwindigkeit am Rohr entlang. Bedingt durch die Länge des Prüfwagens, der hohen Anzahl der Prüfköpfe (z.B. 30 Prüfköpfe für die Anlage zur Endprüfung) und der Rohrlänge, sind in Wuppertal zwei Prüfanlagen mit einer Länge von je 35 Metern konstruiert und in Betrieb genommen worden. Eine dritte Anlage dient der Prüfung der Rohrenden auf Dopplungen. Hierbei wird das Rohr gedreht. Auf jeder Rohrseite werden Prüfköpfe von innen angestellt und eine Prüfspur von ca. 60 mm am Rohrende erzielt.

Besonders hervorzuheben bei der Schweißnaht-Prüfanlage ist die Art der Ultraschall-Ankopplung. Bei der so genannten Wasserstrahl-Ankopplung (englisch: Squirter Technique) leitet eine Wassersäule mit einer Länge von mehreren Zentimetern den Ultraschall in die Rohrwand ein. Die Technik der Wasserstrahl-Ankopplung minimiert den Verschleiß der Ultraschall-Prüfköpfe und an den Prüfkopfhaltern. Der Einschallwinkel ist durch Verkippen des Prüfkopfhalters bezüglich der Rohrwand frei einstellbar – anders als bei der Wasserspaltankopplung, bei der der Einschallwinkel durch die Bauform des Prüfkopfes fest vorgegeben ist. Bei rauen Rohroberflächen lässt sich mit dieser Ankoppeltechnik sehr zuverlässig prüfen, weil sich die Länge der Wassersäule verändern darf, ohne die Qualität der Ankopplung negativ zu beeinflussen. Zudem bietet die Wasserstrahl-Ankopplung für eine Anordnung der Querfehler-Prüfköpfe direkt auf der Schweißnaht robuste Ankoppelbedingungen. Anders als bei den konventionellen K- oder X-Anordnungen kann mit der Impuls-Echo-Technik gearbeitet werden (jeder Prüfkopf arbeitet autark als Sender und Empfänger). Somit kann jeder Prüfkopf einzeln und optimal für die Testfehler (Quernut oder Durchgangsbohrung) positioniert werden.

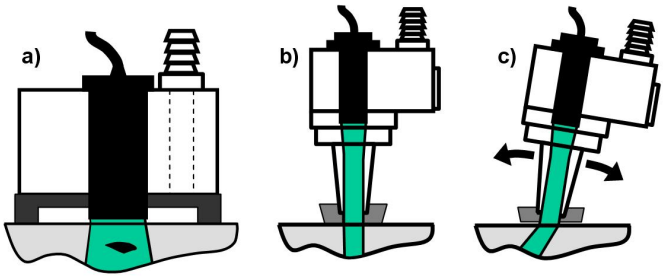

Bild 1: Prinzip der Ultraschall-Ankopplung, a) Wasserspalt-Ankopplung, b) Wasserstrahl-Ankopplung, c) Winkel-Einschallung mit Wasserstrahl.

Bei der Wasserspalt-Ankopplung ist der Prüfkopf in eine Halterung eingebaut, die über eine Schleifkufe auf dem Rohr läuft. Die meist gekrümmte Kufe muss bei Wechsel des Rohrdurchmessers getauscht werden. Der Wasserspalt muss dabei auf ca 0,3 mm eingestellt werden. Bei der Wasserstrahl-Ankopplung hingegen beträgt der Abstand von Prüfkopf zur Rohroberfläche einige Zentimeter. Kleine Variationen der Länge der Wassersäule beeinflussen die Qualität der Ankopplung nicht. Der Prüfkopf ist gut vor Verschleiß geschützt (z.B. bei Zunder auf der Rohroberfläche). Es sind keine mechanischen Teile zu tauschen bei Umrüstung der Anlage auf eine andere Rohrgeometrie. Zur Schweißnahtprüfung ist eine Winkeleinschallung erforderlich. Der erforderliche Winkel wird durch Verkippen des Prüfkopfhalters bzgl. der Rohroberfläche eingestellt.

Überblick über die Komponenten der Schweißnaht-Prüfanlage

Die Schweißnahtprüfanlage vom Typ SNUL-ECHOGRAPH enthält eine mehrkanalige digitale Ultraschallelektronik, eine Prüfmechanik und die elektrische Steuerung. Mehrere höhenverstellbare Prüfwagen dienen der Aufhängung der Prüfköpfe oberhalb des Rohres. Die Prüfwagen sind an einer Laufbahn angebracht, die in ihrer Länge den zu prüfenden Rohren zuzüglich der doppelten Länge der Prüfwagen entspricht, um das Rohr in seiner vollen Länge überfahren zu können.

Vor der Prüfung der Schweißnaht wird diese mit Hilfe von Drehrollen in die 12-Uhr-Position gebracht. Elektrische Geber (Lichtschranken, Weggeber) bestimmen die präzisen Absenk-Positionen der einzelnen Prüfkopfpaare. Wenn ein Prüfwagen das Rohr erreicht, werden die Prüfkopfpaare einzeln pneumatisch auf das Rohr abgesenkt und die Prüfköpfe elektronisch schnellstmöglich freigegeben. Wenn das hintere Rohrende erreicht ist, erfolgt das pneumatische Anheben der Prüfköpfe. An beiden Rohrenden verbleiben nur sehr kurze ungeprüfte Enden in der Größenordnung von 50 – 100 mm.

Ein Nahtnachführsystem ermöglicht die zentrische Positionierung der Prüfkopfpaare bezüglich der Schweißnaht. Zwei induktive Sensoren in Brückenschaltung sind symmetrisch zur Naht montiert und messen die Position der Schweißnaht-Überhöhung. Das Ausgangssignal des Systems steuert die Stellmotoren der einzelnen Prüfwagen zur zentrischen Positionierung der Prüfkopfpaare. Der Stellbereich beträgt (in Abhängigkeit des Rohrdurchmessers) ungefähr ± 150 mm. Alternativ können optische Systeme zur Schweißnahtnachführung verwendet werden.

Die Prüfwagen dienen der Aufnahme der Prüfkopfhalterungen. Je nachdem wie viele Prüfköpfe zum Einsatz kommen, werden die Prüfkopfhalterungen in einem oder in mehreren Prüfwagen montiert. Um die Nahtnachführung ausreichend präzise zu gestalten, wird bei hohen Prüfkopfzahlen mit mehreren Prüfwagen gearbeitet, wobei jeder Wagen über einen separaten Motor zur Nahtnachführung verfügt. Die beiden vorgestellten Prüfanlagen verfügen über zwei bzw. drei Prüfwagen. Sowohl die Prüfwagen als auch die Prüfkopfhalterungen stützen sich über Laufrollen auf der Rohroberfläche ab und sorgen für einen verschleißarmen Betrieb der Prüfanlage

Ein laseroptischer Zeiger an jedem Prüfwagen erzeugt einen Lichtstreifen auf der Rohroberfläche und macht ggf. mechanische Abweichungen zwischen Prüfwagenposition und Schweißnahtmitte deutlich. Videokameras an den Prüfwagen übertragen das Bild vom Lichtstreifen in die Prüfkabine, wo der Bediener kontinuierlich die Nahtnachführung auf korrekte Funktion überprüfen kann.

KARL DEUTSCH Prüf- und Messgerätebau GmbH+Co KG · Otto-Hausmann-Ring 101 · D-42115 Wuppertal · Tel (+49-202) 71 92 - 0 · Fax (+49-202) 714 932 · info@karldeutsch.de

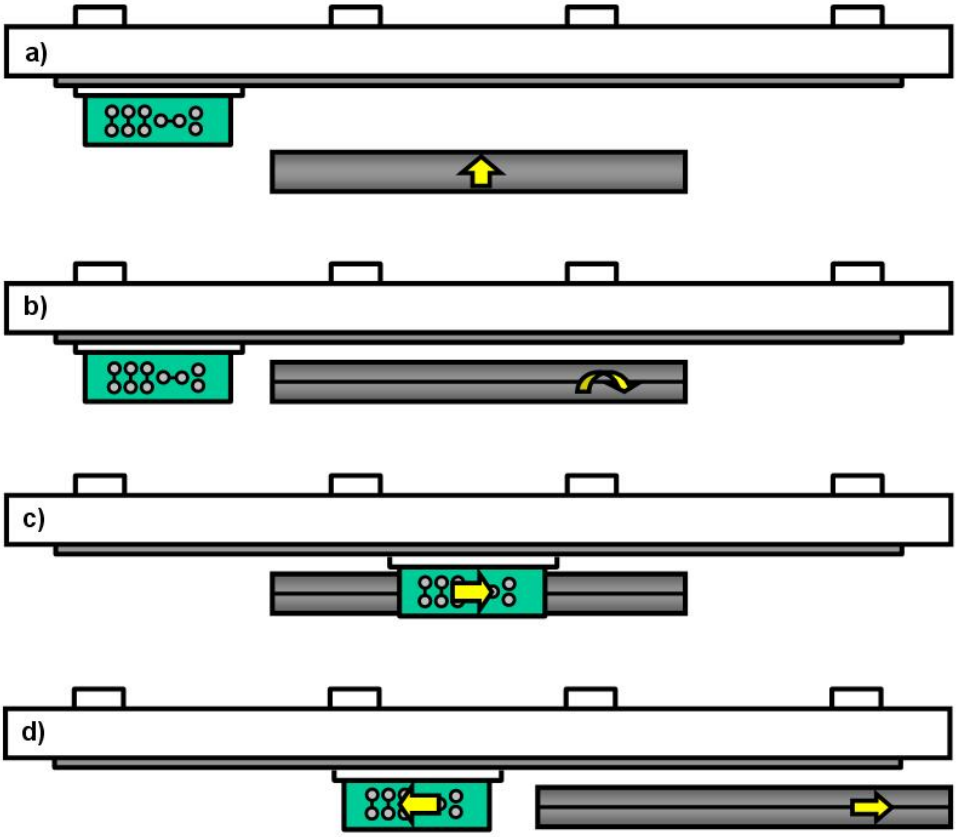

Bild 2: Prinzip der Schweißnahtprüfanlage (als Portal ausgeführt), a) Einbringung der zu prüfenden Rohre, b) Ausrichten der Schweißnaht auf die 12-Uhr-Position, c) Prüfung des Rohres mit bis zu 1m/s Prüfgeschwindigkeit und d) lineares Ausfördern des Rohres bei gleichzeitigem Zurückfahren der Prüfmechanik, um Taktzeit zu sparen.

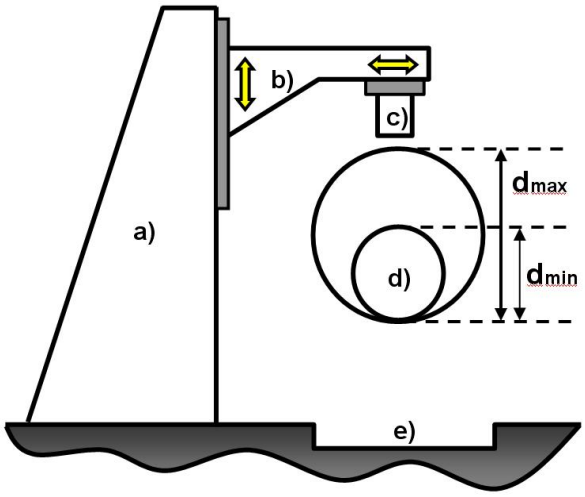

Bild 3: Prinzip der Prüfmechanik, a) höhenverstellbarer Maschinenständer (als Portal mit Laufbahn ausgeführt), b) horizontaler Ausleger mit Stellmotoren zur vertikalen und horizontalen Positionierung der Prüfkopfhalterungen, c) Prüfkopfhalterungen, d) zu prüfendes Rohr mit Schweißnaht in 12-Uhr-Position und e) Sumpf zur Ableitung des Koppelwassers.

KARL DEUTSCH Prüf- und Messgerätebau GmbH+Co KG · Otto-Hausmann-Ring 101 · D-42115 Wuppertal · Tel (+49-202) 71 92 - 0 · Fax (+49-202) 714 932 · info@karldeutsch.de

Automatisierte Schweißnahtprüfung mit Ultraschall

Die Schweißnaht wird in der 12-Uhr-Position geprüft. Um Flankenbindefehler sicher zur Anzeige zu bringen und um eine ständige Koppelkontrolle zu ermöglichen, wird immer mit Prüfkopfpaaren und Winkeleinschallung gearbeitet. Die Prüfkopfpaare werden zentrisch zur Schweißnaht positioniert. Jeder Prüfkopf arbeitet im Impuls-Echo-Verfahren (Prüfkopf agiert als Schall-Sender und -Empfänger) zur Auffindung von Schweißnaht-Fehlern. Zusätzlich wird das Durchschallungssignal zweier Prüfköpfe (V-Reflexion, ein Kopf sendet, der zweite Kopf empfängt den Ultraschall) zur kontinuierlichen Koppelkontrolle verwendet.

Zur Auffindung von Längsfehlern sind die Prüfköpfe unter 90° zur Rohrachse positioniert. Der Einschallwinkel wird in Abhängigkeit von Rohrdurchmesser und Wandstärke gewählt. Die Anzahl der benötigten Prüfkopfpaare hängt von der Wanddicke ab. Als typische Konfiguration für die Längsfehler-Prüfung benutzt man:

- ein Prüfkopfpaar bei Wanddicken von bis zu 12,5 mm
- zwei Prüfkopfpaare für Wanddicken bis zu 25 mm (ein Paar für Innenfehler, ein Paar für Außenfehler)
- drei Prüfkopfpaare für Wanddicken oberhalb 25 mm (ein Paar für Innenfehler, ein Paar für Außenfehler, ein Paar für die Schweißnahtmitte)

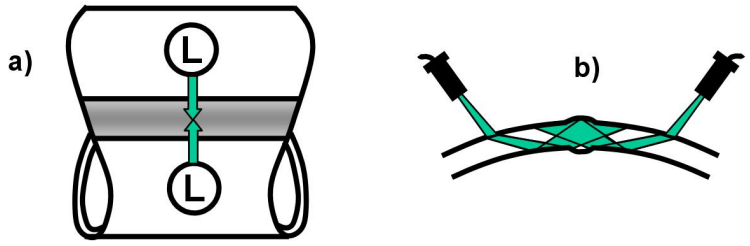

Bild 4: Prinzip der Längsfehler-Prüfung, a) ein Prüfkopfpaar senkrecht zur Rohrachse angeordnet und b) Winkeleinschallung von beiden Seiten der Schweißnaht (hier gezeigt für Außenfehler).

Neue Prüfspezifikationen, z.B. die SHELL-Spezifikation, erfordern die Prüfung der Schweißnahtmitte auf Längsfehler mit dem Tandem-Verfahren. Jeweils zwei Prüfköpfe sind auf jeder Seite der Schweißnaht angeordnet. Ein Prüfkopf arbeitet dabei als Sender und der zweite als Empfänger. Eine solche Anordnung erlaubt die sichere Auffindung von Rissen, welche senkrecht zur Schweißnaht und zur Rohroberfläche liegen. Bei Wandstärken oberhalb 24 mm sind laut SHELL-Spezifikation drei Tandem-Prüfebenen für die Schweißnahtmitte erforderlich.

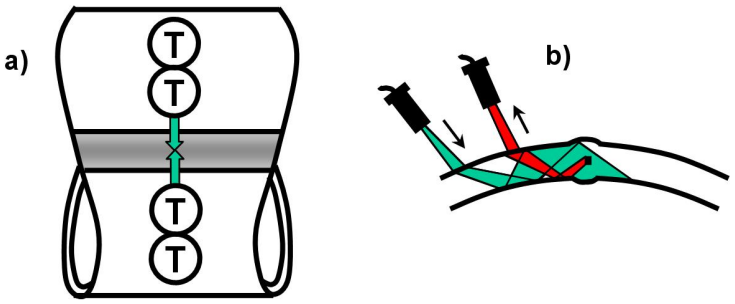

Bild 5: Prinzip der Tandem Prüfung, a) Draufsicht auf die Schweißnaht und die vier Prüfköpfe, b) bei jedem Prüfkopfpaar arbeitet ein Prüfkopf als Sender und der zweite als Empfänger.

KARL DEUTSCH Prüf- und Messgerätebau GmbH+Co KG · Otto-Hausmann-Ring 101 · D-42115 Wuppertal · Tel (+49-202) 71 92 - 0 · Fax (+49-202) 714 932 · info@karldeutsch.de

Für die Querfehler-Prüfung wird ein Prüfkopfpaar direkt auf der Schweißnaht verwendet. Als Einschallwinkel im Material wird typischerweise 45 Grad gewählt; eine stufenlose Änderung ist aber problemlos möglich. Die Prüfköpfe schallen einander an und die V-Durchschallung wird zur ständigen Koppelkontrolle verwendet.

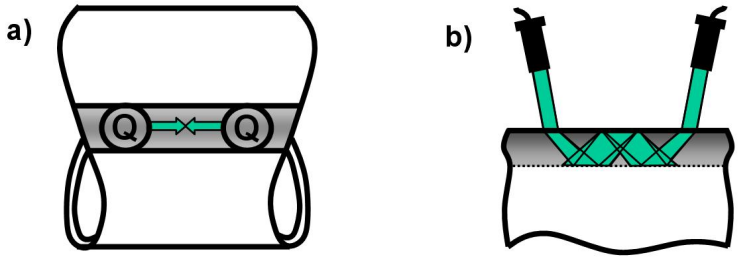

Bild 6: Prinzip der Querfehler-Prüfung, a) Prüfkopfpaar für die Querfehler-Prüfung direkt auf der Schweißnaht, und b) Seitenansicht mit Schnitt durch die Schweißnaht mit Winkeleinschallung zweier Prüfköpfe.

Einige Prüfanweisungen erfordern die so genannte X-Anordnung mit vier Prüfköpfen. Diese Anordnung erlaubt die Auffindung von Längs- und Querfehlern unter Benutzung der V-Reflexion und die Auffindung von Schrägfehlern im Impuls-Echo-Verfahren. Bei höheren Wandstärken werden zwei X-Anordnungen eingesetzt, um eine separate Optimierung auf Innen- bzw. auf Außenfehler zu ermöglichen.

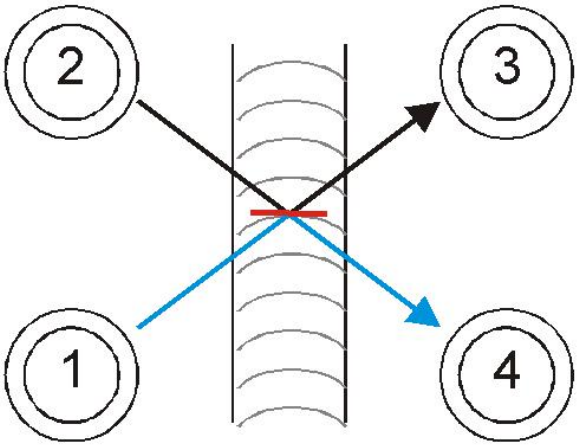

Bild 7: Prinzip der X-Anordnung, Prüfköpfe 1 und 4 (bzw. 2 und 3) nutzen die V-Reflexion zur Auffindung von Querfehlern. Zur Koppelkontrolle wird das Durchschallungssignal zwischen Prüfkopf 1 und 3 (bzw. 2 und 4) verwendet.

KARL DEUTSCH Prüf- und Messgerätebau GmbH+Co KG · Otto-Hausmann-Ring 101 · D-42115 Wuppertal · Tel (+49-202) 71 92 - 0 · Fax (+49-202) 714 932 · info@karldeutsch.de

Zur Auffindung von Dopplungen (D) in der Wärmeeinflusszone (WEZ) neben der Schweißnaht wurden vier Prüfköpfe eingesetzt (obwohl eine Prüfung der Blechkanten in der Regel bereits am Grobblech durchgeführt wird). Die Prüfköpfe werden so nah wie möglich neben die Schweißnaht gesetzt. Wenn mit der Wasserstrahl-Ankopplung gearbeitet wird, kann pro Prüfkopf mit einer Spurbreite von ca. 15 mm gerechnet werden. Somit wird mit je zwei Prüfköpfen auf jeder Seite der WEZ eine Spurbreite > 25 mm realisiert.

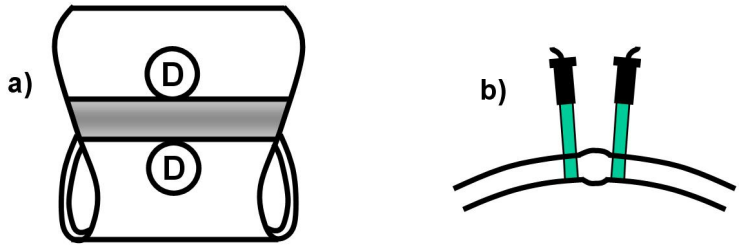

Bild 8: Prinzip der Dopplungsprüfung in der Wärmeeinflusszone, a) Draufsicht auf Prüfköpfe und Schweißnaht, und b) Seitenansicht mit Darstellung des senkrechten Schalleintritts.

Die beiden Schweißnahtprüfanlagen wurden mit folgenden Prüfkopfkonfigurationen realisiert:

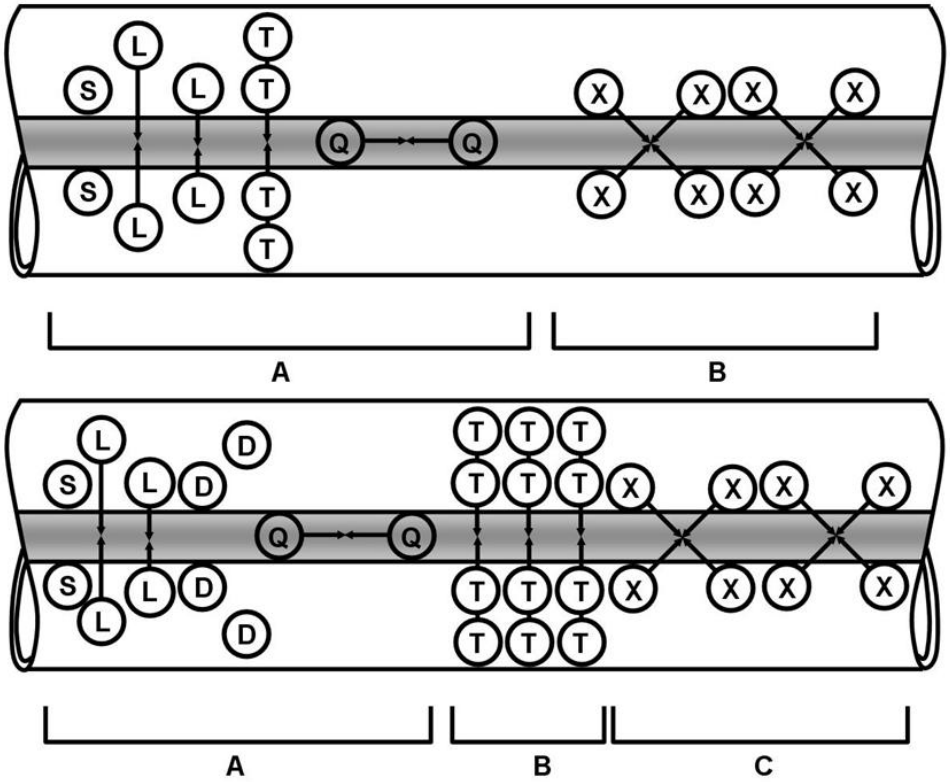

Bild 9: Prüfkopfkonfigurationen für die Vorprüfung und die Abschlussprüfung, S = automatische Nahtnachführung, L = Längsfehler-Prüfung, T = Tandem-Prüfung auf Längsfehler in der Schweißnahtmitte, Q = Querfehler-Prüfung mit Prüfkopfpaar auf der Naht, X = Querfehler-Prüfung mit 4 Prüfköpfen, D = Dopplungsprüfung in der Wärmeeinflusszone neben der Schweißnaht.

KARL DEUTSCH Prüf- und Messgerätebau GmbH+Co KG · Otto-Hausmann-Ring 101 · D-42115 Wuppertal · Tel (+49-202) 71 92 - 0 · Fax (+49-202) 714 932 · info@karldeutsch.de

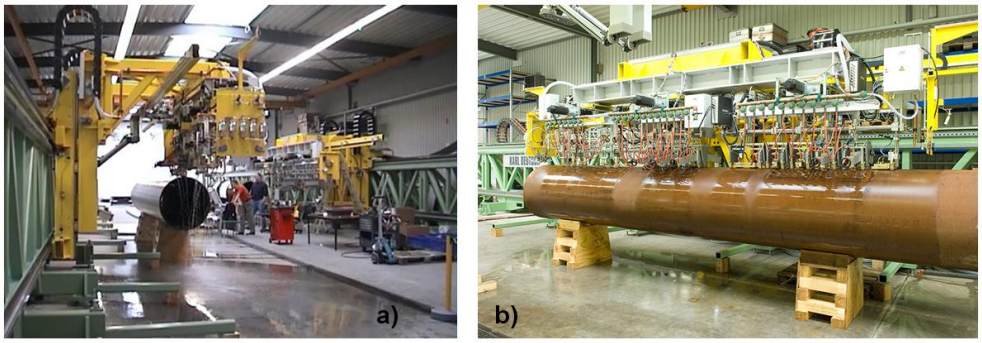

Bild 10: Inbetriebnahme der beiden Schweißnahtprüfanlagen, a) links im Bild die Prüfanlage zur Vorprüfung mit zwei Prüfwagen und b) Prüfanlage zur Abschlussprüfung mit drei Prüfwagen und 30 Prüfköpfen.

Prüfung der Rohrenden

Aus Taktzeitgründen werden die Rohrenden mit einer separaten Anlage vom Typ REPI-ECHOGRAPH geprüft (ausgeführt als Doppelstation). Die Rohre werden über einen Quertransport in die Prüfposition gebracht. Die beiden Prüfanlagen fahren an das jeweilige Rohrende heran. Das Rohr wird in Rotation versetzt und die Prüfkopfträger werden pneumatisch auf die Rohrinnnenwand aufgesetzt. Dadurch werden besonders kurze Enden erreicht, weil auch der Bereich der von außen angebrachten Phase geprüft werden kann. Eine Nachführung am Rohrende erfolgt über Laufrollen-Pakete.

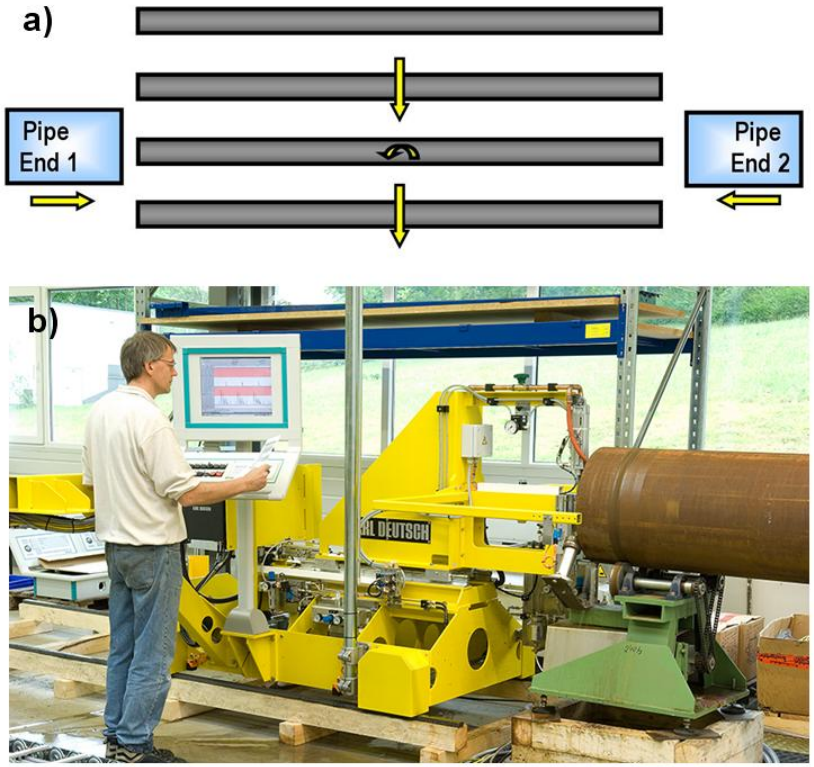

Bild 11: Rohrendenprüfung, a) Prinzip des Rohrtransports und b) eine der beiden baugleichen Prüfanlagen zur Rohrendenprüfung.

KARL DEUTSCH Prüf- und Messgerätebau GmbH+Co KG · Otto-Hausmann-Ring 101 · D-42115 Wuppertal · Tel (+49-202) 71 92 - 0 · Fax (+49-202) 714 932 · info@karldeutsch.de

ECHOGRAPH-Prüfelektronik

Die Auswertung der Ultraschalldaten erfolgt mit der digitalen Ultraschall-Elektronik ECHOGRAPH 1155. Die echtzeitfähige, mehrkanalige Elektronik wurde speziell für die automatische Ultraschall-Prüfung entwickelt. Vier Blenden, drei Auswerteschwellen, ein programmierbarer Tiefenausgleich (TCG – Time Corrected Gain) und eine Vielzahl von Auswertemöglichkeiten sind implementiert. Die Elektronik wird in einen robusten und ggf. klimatisierten Industrieschrank eingebaut. Ein Bedienpult ist an der Prüfmechanik montiert, um eine komfortable Bedienung zu gewährleisten. Es enthält einen TFT-Monitor sowie eine PC-Tastatur und dient dem Einstellen der Prüfparameter und der Ultraschall-Signaldarstellung. Ein Ultraschall-Vorverstärker in der Nähe der Prüfköpfe sorgt für ein gutes Signal-Rausch-Verhältnis auch in rauer Industrieumgebung. Alle gefundenen Fehlstellen werden mit einer Farbmarkierung ortsgetreu auf der Rohrwand aufgetragen und mit einer Signal-Einheit akustisch und/oder visuell dem Bediener mitgeteilt.

Die erforderliche Kanalzahl der Ultraschall-Elektronik ergibt sich aus der Zahl der benötigten Prüfköpfe und den erforderlichen Takten zur Koppelkontrolle. Drei elektronische Prüfkanäle werden für jedes Prüfkopfpaar zur Schweißnahtprüfung benötigt (Impuls-Echo-Fehlerprüfung mit beiden Prüfköpfen, dritter Kanal zur Ankoppelkontrolle mit V-Durchschallung). Jeweils ein Prüfkanal wird pro Prüfkopf zur Dopplungsprüfung benutzt. Hierbei wird das Rückwandecho überwacht, um die Qualität der Ankopplung kontinuierlich zu überwachen.

Ein Datenverwaltungssystem dient der Aufbereitung von Prüfparametern und Prüfdaten auf einem Industrie-PC. Das KARL DEUTSCH-Software-Paket (optimiert für ein Windows-Betriebssystem) bereitet die Prüfparameter und Prüfergebnisse kundenspezifisch auf. Eine Kommunikation mit dem übergeordneten Leitrechner ist problemlos möglich.

Literatur

[1] V. Deutsch, M. Platte, M. Vogt: Ultraschallprüfung – Grundlagen und industrielle Anwendungen, Springer-Verlag, 1997

[2] V. Deutsch, M. Platte, M. Vogt, W.A.K. Deutsch, V. Schuster: Die Ultraschallprüfung, Band 1 aus der Reihe *ZfP kompakt und verständlich*, Castell-Verlag Wuppertal, 77 Seiten, 2002

[3] W. Deutsch, P. Schulte, M. Joswig, R. Kattwinkel: Automated Inspection of Welded Pipes with Ultrasound, ECNDT September 2006, Berlin

[4] W. Deutsch: Automated Ultrasonic Pipe Weld Inspection, Keynote Lecture bei der WTIA-IIW-Conference, Sydney Australia, März 2007

[5] SHELL DEP.40.20.37-Gen.: Linepipe for critical service (Amendment/Supplement to ISO 3183-3, December 2000)

Bild 12: Die populäre ***Rote Reihe*** über die zerstörungsfreie Prüfung ist nun komplett in deutscher und englischer Sprache verfügbar. In 13 Bänden werden alle wichtigen ZfP-Verfahren - kompakt und verständlich - erläutert. Acht der 13 Bücher stammen aus der Feder von Prof. Dr.-Ing. Volker Deutsch unter Mithilfe von Fachleuten aus dem Hause KARL DEUTSCH. Die restlichen Bände wurden von namhaften Co-Autoren geschrieben.

KARL DEUTSCH Prüf- und Messgerätebau GmbH+Co KG · Otto-Hausmann-Ring 101 · D-42115 Wuppertal · Tel (+49-202) 71 92 - 0 · Fax (+49-202) 714 932 · info@karldeutsch.de