KARL DEUTSCH

Sonderdruck 1/45 aus
MATERIALS TESTING MP
MATERIALPRÜFUNG
(c) Carl Hanser Verlag, München
Jahrgang 42 (2000) 6
Seiten 224 - 228

Prüfanlagen mit Mehrfachprüfköpfen

Eine lückenlose Ultraschallprüfung von Rohren

Michael Lach, Michael Platte, Wuppertal, Hans-Jürgen Bäthmann, Duisburg, Stefan Nitsche und Norbert Arzt, Düsseldorf

Bei der industriellen Ultraschallprüfung von Stahlrohren werden oft Prüfanlagen in Segmenttauchtechnik eingesetzt, die mit Mehrfachprüfköpfen ausgestattet sind. Obwohl dabei die Piezoschwinger bereits dicht nebeneinander angeordnet werden, gibt es auf Grund der natürlichen Schallfeldeinschnürung Prüflücken. Diese Lücken werden bei den hier beschriebenen neuen Mehrfachprüfköpfen geschlossen: Eine im Prüfkopfgehäuse untergebrachte elektronische Schaltung sorgt dafür, dass sich die von den Piezoschwingern erzeugten Schallfelder und die daraus resultierenden Prüfspuren im Sende- und Empfangsfall hinreichend überlappen. Das Resultat ist eine höhere Prüfsicherheit bei deutlich gesteigerter Prüfgeschwindigkeit.

Bei der industriellen Ultraschallprüfung von Stahlrohren werden üblicherweise Ultraschallanlagen in „Segmenttauchtechnik" eingesetzt. Beim Rohrtransport durch diese Anlagen wird das Rohr in Rotation versetzt und gleichzeitig in Längsrichtung bewegt. Während das Rohr die Anlage durchläuft, werden von unten Prüfkästen an das Rohr angestellt. Diese enthalten die Ultraschallprüfköpfe und Wasser als Koppelmedium (Bild 1). Eine weitere Möglichkeit, solche Anlagen auszuführen, ist die so genannte „Straßenbahntechnik". Dabei werden die Prüfkästen auf der Rohroberseite angebracht und in Längsrichtung über das rotierende Rohr hinweg bewegt. In beiden Fällen wird das Rohr von den Prüfköpfen in einer schraubenlinienförmigen Umfangsbahn abgetastet.

Um auch kleine Fehlstellen im Rohr noch mit hinreichender Empfindlichkeit anzuzeigen, dürfen die Schwingergrößen der Ultraschallprüfköpfe nicht zu groß sein. Typischerweise wird mit Schwingern von 10 mm bis 20 mm Durchmesser beziehungsweise Kantenabmessungen bei rechteckigen oder quadratischen Ausführungen gearbeitet, wenn Ersatzreflektoren bis 1 mm Kreisscheibe noch sicher nachweisbar sein sollen. Um eine hinreichende Prüfleistung zu erreichen – gemeint ist damit der Durchsatz lückenlos geprüfter Rohre –, müssen mehrere Prüfköpfe gleichzeitig eingesetzt werden, die dicht nebeneinander angeordnet sind und in schneller zeitlicher Folge nacheinander betrieben werden. Aus diesem Grund sind mehrkanalige Prüfelektroniken mit sechs und mehr Kanälen, bei denen für jeden Prüfkopf ein eigenständiger Prüfkanal vorgesehen ist, bei der Rohrprüfung Stand der Technik. Da durch die Abstände zwischen benachbarten Prüfköpfen Prüflücken entstehen, werden üblicherweise Mehrfachprüfköpfe eingesetzt, bei denen mehrere Rechteckschwinger dicht aneinander gereiht in einem gemeinsamen Gehäuse untergebracht sind. Jeder einzelne Rechteckschwinger ist dabei wie ein einzelner Prüfkopf mit jeweils einem eigenen Kanal der mehrkanaligen Prüfelektronik verbunden. Solche Prüfköpfe werden auch als Mehrfachschwingerlineale bezeichnet.

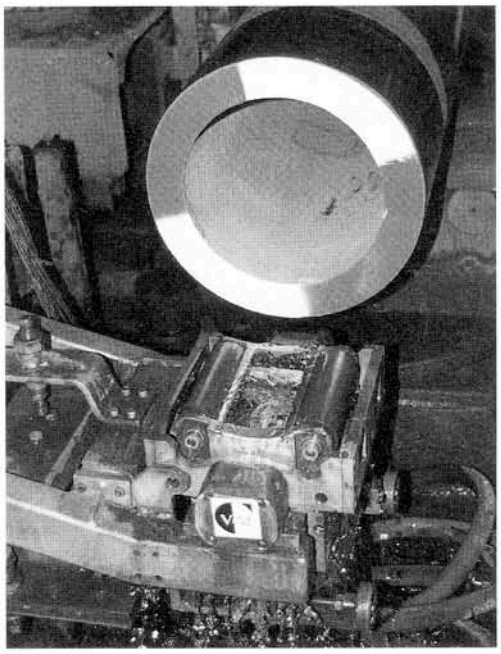
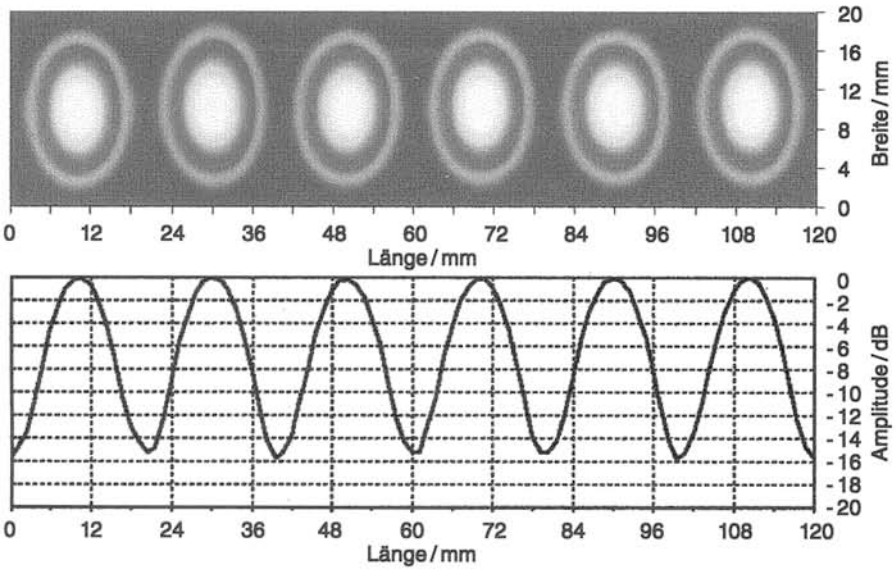


Bild 1. Prüfkasten einer Segmenttauchtechnik-Prüfanlage

Ein häufig eingesetztes Mehrfachschwingerlineal besteht zum Beispiel aus sechs Rechteckschwingern mit den Abmessungen 20 mm x 18 mm. Bild 2 zeigt das mit einem Kugelreflektor von 8 mm Durchmesser in 240 mm Abstand vermessene Schallfeld dieses Mehrfachschwingerlineals in Wasser. Im oberen Teilbild ist die Schallfeldverteilung in Wasser – aufgenommen mit einem Kugelreflektor von 8 mm Durchmesser



Schwinger, 2 MHz, Abmessungen 20 x 18 mm
Reflektor: Stahlkugel Ø 8 mm mit 240 mm Abstand in Wasser

Bild 2. Schallfeld eines herkömmlichen Mehrfachprüfkopfes

in einem Abstand von 240 mm – parallel zur Schwingerfläche farblich codiert dargestellt; im unteren Teilbild ist das vom Kugelreflektor empfangene Echo in dB über der Längsachse des Lineals aufgetragen. Die Einbrüche zwischen den Elementen betragen bis zu 16 dB. Sie sind ausschließlich auf die durch Abmessungen und Frequenz der Einzelschwinger physikalisch bedingte natürliche Schallfeldeinschnürung zurückzuführen.

Derartige Einbrüche zwischen den Einzelelementen haben Prüflücken zur Folge, wie Bild 3 anschaulich zeigt: Innerhalb der weißen Streifen können natürliche Fehler übersehen werden. Das gilt besonders bei der Querfehlerprüfung, aber auch bei der Längsfehlerprüfung für kürzere längs gerichtete Fehler, wenn diese Lücken nicht zusätzlich mit einem zweiten Mehrfachschwingerlineal abgetastet werden. Dies ist aber apparativ aufwendig und scheitert zudem an der erforderlichen hohen mechanischen Präzision.

Deshalb wurde ein neuer Mehrfachprüfkopf für den Betrieb an vorhandenen mehrkanaligen Ultraschallelektroniken entwickelt, bei dem sich die von den Piezoschwingern erzeugten Schallfelder und die daraus resultierenden Prüfspuren im Sende- und Empfangsfall hinreichend überlappen und die bisherigen Prüflücken vollständig geschlossen werden.

Wirkungsweise der neuen Mehrfachprüfköpfe

Eine bereits früher vorgeschlagene und realisierte Methode, mit Mehrfachprüfköpfen überlappende Schallfelder zu erzeugen, besteht darin, zwei Schwingerlineale so übereinander anzubringen, dass die Elemente des einen Lineals gegenüber den Elementen des anderen Lineals gemäß Bild 4 um eine halbe Einzelelementlänge in Längsrichtung versetzt sind. Bei diesem patentierten Verfahren [1] ist bemerkenswert, dass die Elemente des einen Lineals durch die Elemente des anderen Lineals ohne merkliche Empfindlichkeitseinbuße oder Veränderung der Echoform hindurchschallen. Die dazu notwendige Klebe- und Verbindungstechnik ist tatsächlich beherrschbar. Benutzt wurde dieses Prinzip auch zur Vermeidung von Prüflücken bei Dreifach-SE-Prüfköpfen [2, 3] für die Blechprüfung (Bild 5). Wegen der insgesamt großen Längsabmessungen der Einzelelemente war in diesem Fall eine weitaus geringere Überlappung bereits hinreichend, um die bestehenden Prüflücken vollständig zu schließen. Wegen der höheren Kosten, die durch einen hohen fertigungstechnischen Aufwand bei der Herstellung entstehen, haben sich derartige Mehrfachprüfköpfe bei Ultraschallanlagenbetreibern jedoch bis heute nicht durchsetzen können.

Da übereinander angebrachte und überlappende Einzelelemente beziehungsweise Lineale jedoch noch immer

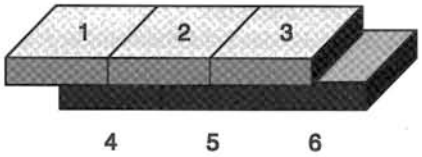


Bild 4. Mehrfachprüfkopf mit übereinander angeordneten Linealen

die wirkungsvollste und anwendungstechnisch günstigste Methode darstellen, um Prüflücken zu vermeiden, wird dieses Prinzip im vorliegenden Fall elektronisch nachgebildet und somit auch wirtschaftlicher realisiert: Um den Aufwand bei der Prüfkopfherstellung zu reduzieren, wird nur ein einzelnes Mehrfachschwingerlineal aus nebeneinander angeordneten Elementen verwendet. In das Gehäuse wird eine miniaturisierte Elektronik integriert, die in jedem Prüftakt jeweils zwei benachbarte Elemente gleichzeitig ansteuert, so dass gemäß Bild 6 eine fortschreitende Verschachtelung erreicht wird.

Ein für sechs Kanäle ausgelegtes Mehrfachschwingerlineal besteht demzufolge aus sieben Einzelelementen. Je-

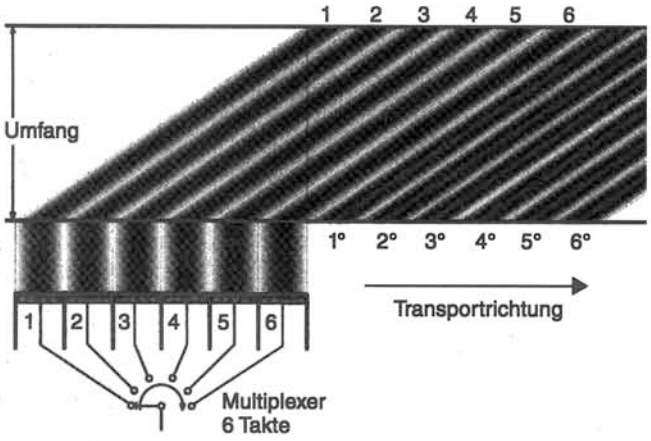


Bild 3. Prüflücken bei herkömmlicher Prüfanordnung

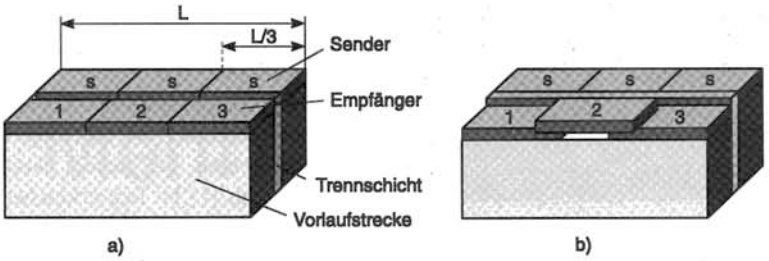


Bild 5. Prinzip der Mehrfach-SE-Prüfköpfe in herkömmlicher Bauform (a) und mit überlappenden Empfängern (b)

der der sechs Prüfkanäle der Ultraschallelektronik wird mit einer separaten druck- und wasserdichten Ein- und Ausgangsbuchse an der Oberseite des Prüfkopfes verbunden. Separate Steuerleitungen sind nicht erforderlich. Für die paarweise Verschachtelung der Elemente sorgt die eingebaute Elektronik, wobei die von der vorhandenen mehrkanaligen Ultraschallelektronik in jedem Kanal erzeugten Sendeimpulse als Triggersignal dienen und die Verschachtelung auslösen. Für den Betrieb der im Prüfkopf eingebauten Elektronik ist lediglich noch eine Niederspannungs-Stromversorgung notwendig. Dafür ist an der Oberseite des Prüfkopfes eine weitere druck- und wasserfeste Buchse vorgesehen. Bild 7 zeigt einen solchen Prüfkopf vor seiner Endmontage beim Hersteller. Dort ist auch die in das Prüfkopfgehäuse einzubringende Elektronik erkennbar. Sie ist in zuverlässiger SMD-Bauweise ausgeführt.

Bild 8 zeigt das Schallfeld eines neuen für sechs Kanäle ausgelegten Mehrfachprüfkopfes mit Einzelschwingern mit den Abmessungen 12 mm x 18 mm, das wiederum mit einem Kugelreflektor von 8 mm Durchmesser in 240 mm Abstand in Wasser aufgenommen wurde. Zu erkennen sind hier die überlappenden, jedoch typischen Schallfelder von Schwingerelementen der doppelten Abmessung, nämlich 24 mm x 18 mm. Jeweils zwei benachbarte Einzelschwinger verhalten sich durch die Wirkung der eingebauten Elektronik jetzt wie ein einzelner zusammenhängender Schwinger. Durch die Überlappung benachbarter Kanäle um je eine halbe Schwingerbreite sind die Amplitudeneinbrüche zwischen den Kanälen im Vergleich zu einem herkömmlichen Mehrfachprüfkopf (Bild 2) wirkungsvoll von 16 dB auf nur noch circa 6 dB verringert.

In der Praxis können die bisher verwendeten herkömmlichen Mehrfachprüfköpfe einfach durch die einbaukompatiblen neuen Prüfköpfe mit integrierter Elektronik ersetzt und an die vorhandene mehrkanalige Prüfelektronik angeschlossen werden. An ihr sind keinerlei Änderungen erforderlich.

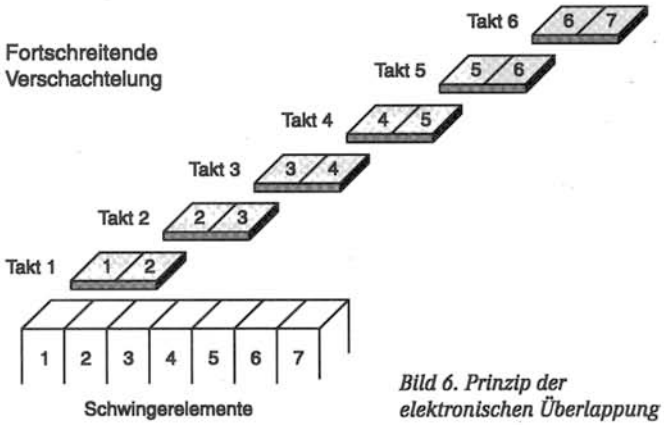


Bild 6. Prinzip der elektronischen Überlappung

Erfahrung und Ausblick

Die zunächst zur Fehlerprüfung ausgelegten neuen Mehrfachprüfköpfe mit integrierter Elektronik und überlappenden Schallfeldern werden seit bereits nunmehr zwei Jahren erfolgreich in Ultraschallprüfanlagen bei der Rohrprüfung eingesetzt. Sie zeichnen sich durch hohe Empfindlichkeit und Zuverlässigkeit sowie lange Standzeiten in rauer Umgebung aus. Die vorgestellte Lösung lässt sich auch flexibel auf andere Aufgabenstellungen anpassen. Elementzahl, Einzelschwingerabmessungen und Prüffrequenz der neuen Mehrfachprüfköpfe können in weitem Rahmen auf den jeweiligen Anwendungsfall adaptiert werden.

In einer Weiterentwicklung wurden die Mehrfachprüfköpfe mit integrierter Elektronik jetzt erstmals auch mit extremer Bandbreite und stoßwellenähnlicher Pulsform für die Wanddickenmessung hergestellt. Dies stellt insofern eine besondere fertigungstechnische Herausforderung dar, als mit der Frequenz und Bandbreite die ohnehin schon hohen Anforderungen an die mechanische Präzision und die Gleichmäßigkeit der piezoelektrischen Einzelelemente steigen. Kleinste Abweichungen in Ausrichtung, Parallelität und Ebenheit benachbarter und elektronisch zusammengeschalteter Einzelelemente würden durch die damit verbundenen Phasenverzögerungen wie in einem „phased array" zum Schwenken der Hauptabstrahlrichtung, aber gegebenenfalls auch zu Schallfeldverzerrungen oder neuen Schallfeldlücken führen.

Als Beispiel dafür, wie gut diese neue Technik beherrscht wird, zeigt Bild 9 die Impulsform des ersten und sechsten Kanals eines als Stoßwellenprüfkopf aus-

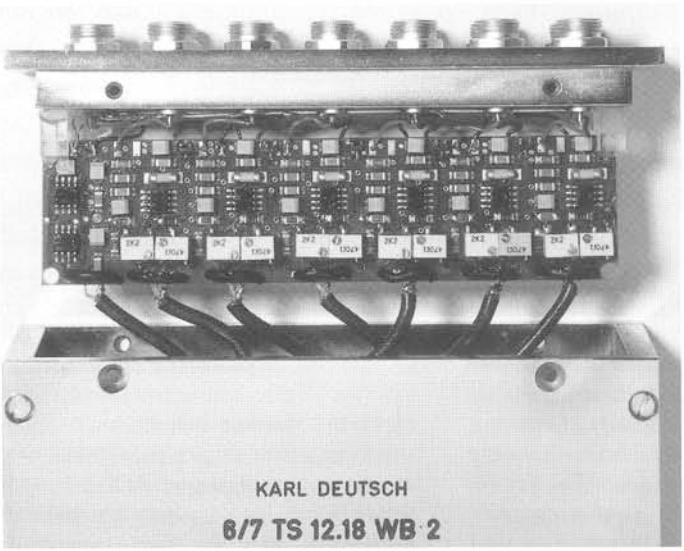
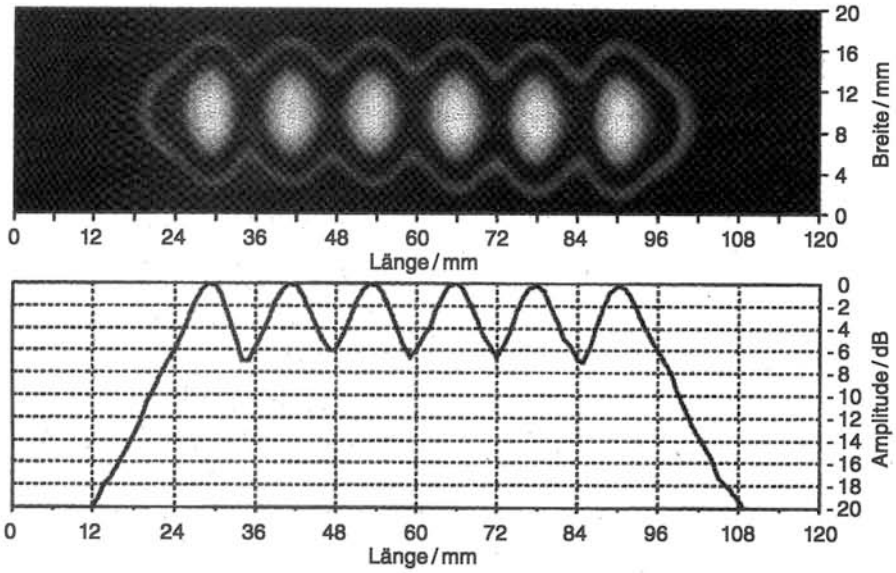


Bild 7. Mehrfachprüfkopf mit integrierter Elektronik



Schwinger, 2 MHz, Abmessung 12 x 18 mm
Reflektor: Stahlkugel Ø 8 mm mit 240 mm Abstand in Wasser

Bild 8. Schallfeld des neuen Mehrfachprüfkopfes mit integrierter Elektronik

gelegten Mehrfachprüfkopfes mit Einzelelementen mit den Abmessungen 12 mm x 14 mm. Dargestellt ist hier das Echo eines ebenen Reflektors in circa 15 mm Abstand in Wasser. Die Impulsformen sind in beiden Kanälen praktisch nicht zu unterscheiden. Die Empfindlichkeiten sind identisch. Gegebenenfalls vorhandene Empfindlichkeitsunterschiede zwischen den Kanälen können im Übrigen hier wie auch bei den neuen Mehrfachprüfköpfen zur Fehlerprüfung werkseitig durch Einstellmöglichkeiten an der eingebauten Elektronik kompensiert werden.

Mehrfachprüfköpfe mit derart gleichmäßiger Charakteristik der Einzelkanäle sind für den Anwender auch aus praktischer Sicht ideal: Das mühsame Abgleichen der Kanäle der Ultraschallelektronik, welches erforderlich ist, wenn die Kanäle beziehungsweise Elemente des verwendeten Mehrfachprüfkopfes ungleichmäßige Empfindlichkeiten haben, entfällt und wird auf gelegentliche Kontrollmessungen mit Hilfe eines Rohres mit Referenzreflektoren begrenzt, die zur Überprüfung der Gesamtanlage ohnehin notwendig sind.

Fazit

Eine für alle Betreiber bestehender Ultraschallprüfanlagen, die mit Mehrfachprüfköpfen ausgestattet sind, praktikable Lösung zur Vermeidung von Schallfeld- und Prüflücken besteht in der Verwendung neuer Mehrfachprüfköpfe mit integrierter Elektronik: Die im Prüfkopfgehäuse untergebrachte elektronische Schaltung sorgt dafür, dass sich die von den Piezoschwingern erzeugten Schallfelder beziehungsweise die daraus resultierenden Prüfspuren im Sende- und Empfangsfall hinreichend überlappen und die bisherigen Prüflücken geschlossen werden.

Bisher verwendete herkömmliche Mehrfachprüfköpfe können einfach durch die einbaukompatiblen neuen Prüfköpfe mit integrierter Elektronik ersetzt und an die vorhandene und bisher benutzte mehrkanalige Ultraschallelektronik angeschlossen werden. An ihr sind keinerlei Änderungen erforderlich. In einer Ultraschallprüfanlage für Rohre haben die neuen Mehrfachprüfköpfe ihre Praxistauglichkeit und Zuverlässigkeit über einen längeren Zeitraum bereits hinreichend unter Beweis gestellt. Darüber hinaus ist das hier beschriebene Prinzip der elektronischen Überlappung auch für viele andere Prüfaufgaben, bei denen unter Verwendung mehrerer Prüfköpfe oder piezoelektrischer Einzelelemente eine möglichst gleichmäßige Fehlernachweisbarkeit angestrebt wird, interessant.

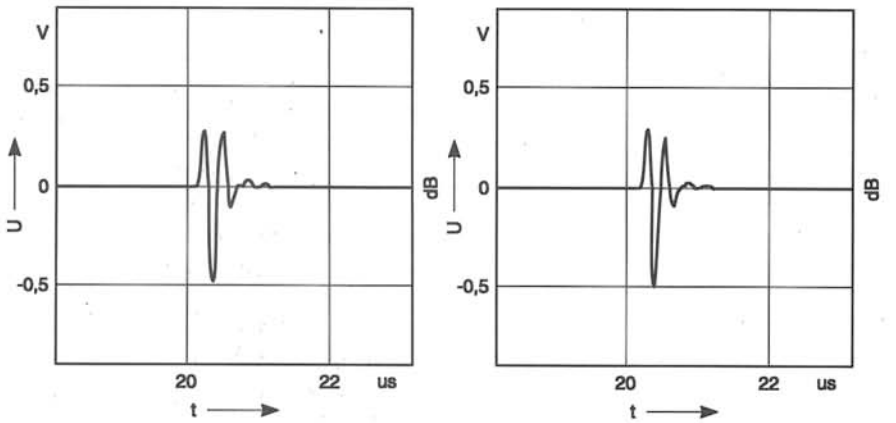


Bild 9. Gleichmäßige Impulsformen am Beispiel von Kanal 1 (links) und Kanal 2 (rechts) des neuen Mehrfachsprühkopfes

Literatur

1 DE 3720 574 C2 „Ultraschall-Mehrfachprüfkopf"
2 Deutsch, V.; Platte, M.; Möller, P.: Ultraschallprüfköpfe aus piezolektrischen Hochpolymeren. Materialprüfung 32 (1990), S. 333-337
3 Platte, M.; Möller, P.: Automatisches Ultraschallprüfen von Blechen und Rohren. Bänder Bleche Rohre 3 (1993), S. 25 - 32

Die Autoren des Beitrags

Dr.-Ing. Michael Lach, Jahrgang 1960, studierte Elektrotechnik an der Universität Erlangen-Nürnberg und promovierte am Institut für Hochfrequenztechnik der Ruhr-Universität Bochum. Seit 1991 ist er für die Firma Karl Deutsch, Wuppertal, im Produktbereich Prüfköpfe tätig, den er seit 1994 allein verantwortlich leitet.

Dr. rer. nat. Michael Platte, Jahrgang 1953, studierte Physik an der RWTH Aachen und promovierte dort am Institut für Technische Akustik. Zunächst mit dem Schwerpunkt Prüfköpfe, danach auch elektronische Seriengeräte ist er seit 1985 in der Firma Karl Deutsch, Wuppertal, beschäftigt. Seit 1994 gehört er der Geschäftsleitung als weiterer technischer Geschäftsführer an.

Dipl.-Ing. Hans-Jürgen Bäthmann, Jahrgang 1946, absolvierte nach Abschluss einer Physiklaborantenlehre die Ingenieurschule Iserlohn, Fachrichtung Physikalische Technik. Er trat 1968 bei den Thyssen-Röhrenwerken ein und ist seit 1976 wissenschaftlicher Mitarbeiter im Mannesmann-Forschungsinstitut, Duisburg, Abteilung Automatisierungs- und Prüftechnik.

Dipl.-Ing. Stefan Nitsche, Jahrgang 1962, absolvierte die Fachhochschule Bochum, Abteilung Elektrotechnik. Er trat 1989 bei den Mannesmann-Röhrenwerken, Düsseldorf, ein, wo er seit 1998 als Betriebsleiter in der Qualitätsstelle tätig ist.

Dipl.-Ing. Norbert Arzt, Jahrgang 1962, absolvierte nach einer Lehre die Fachhochschule Aachen, Fachrichtung Physikalische Technik. Er trat 1989 bei den Mannesmann-Röhrenwerken, Düsseldorf, ein, wo er seit 1995 als Betriebsleiter für die Qualitätsstelle und später für die Produktion tätig ist.

Summary

Multi-element ultrasonic probes with overlapping beam profiles for automated inspection of steel tubes. A most common method of automated inspection of steel tubes uses multi-element immersion probes, which are capable of scanning a large surface area, while the tube is moved along a water filled test chamber in a helical motion. However, the sound field of a conventional multi-element probe lacks uniformity: In the scan region between adjacent elements, a steep sensitivity drop occurs with the risk of flaws remaining undetected. A new type of multi-element probes with overlapping beam profiles and entirely uniform sensitivity along its scan axis is presented in this paper. Overlapping of adjacent elements is achieved by means of a miniature electronic circuit, which is integrated in the probe housing. As a result of the uniform sound field, the pitch of the scan helix and, consequently, the through-put can be consider bly increased. Already installed conventional multi-element probes can simply be replaced by the new ones, since no additional modification of the existing ultrasonic equipment is necessary.