OBERFLÄCHENRISSPRÜFUNG AN REAKTORDRUCKBEHÄLTERN

H. FISCHDICK,

AEG-Telefunken, Frankfurt a.M., Germany

ABSTRACT

The importance of nondestructive testing of surface cracks on pressure vessels for atomic power generation in addition to the Ultra sonic inspection will be argued. The various methods of detecting surface cracks are also discussed in comparison to its specified requirements, to measure length and depth of cracks and to the possibility of automatic functioning. The eddy current method appears to be the most suitable.

The influence of distance between test coil and surface, the influence of crack shape was studied, an estimate of the sensitivity, accuracy and speed of the testing is derived.

1. Einleitung

Phillips und Warwick [1] haben Schäden an konventionellen Druckbehältern und Teilen aus Primärkreisläufen von Kernkraftwerken statistisch ausgewertet, s. Tafel I. Wenn sich auch die miteinander verglichenen Betriebsjahre wie 7:1 verhalten und somit bei einem Vergleich der Art der Fehler, ihrer Ursache und der Art der Entdeckung eine gewisse Vorsicht geboten erscheint, so gibt diese Statistik jedoch wertvolle Hinweise über evtl. Schäden an Reaktordruckbehältern und der Möglichkeit ihrer frühzeitigen Entdeckung:
Die meisten Schäden werden durch Ermüdung und Korrosion verursacht werden. Als Art der Fehler werden Risse überwiegen. Die Schäden werden überwiegend auf der Oberfläche erkennbar sein.
Betrachtet man nun Oberflächenrisse in Bezug auf ihr Rißwachstum und auf ihre kritische Größe mit Hilfe der Bruchmechanik und vergleicht die Werte mit denen von Innenrissen, so wird die Wichtigkeit der Überprüfung der Oberfläche auf Anrisse noch deutlicher.
In Abb. 1 sind für die angenommenen Rißkonfigurationen, elliptischer Oberflächenriß mit dem Verhältnis Rißtiefe: Rißlänge von 1:10 und einem flächengleichen, gleich tiefen Innenriß die Zahl der Lastzyklen aufgetragen, nach denen ein Riß der Ausgangsgröße a bis zur kritischen Rißgröße a_{cr} unter einer bestimmten Beanspruchungsamplitude $\Delta\sigma$ gewachsen ist. Man erkennt, daß ein Oberflächenriß wesentlich schneller bis zur kritischen Rißgröße anwächst als ein Innenriß. Auch die kritischen Rißgrößen sind sehr unterschiedlich. Sie betragen in dem Beispiel für den Oberflächenriß 22 x 220 mm und für den Innenriß 51 x 510 mm.

2. Notwendige Fehlererkennbarkeit und bevorzugte Schadensstellen

Über die Größe von Rissen, die durch die Wiederholungsprüfungen gefunden werden müssen, gibt es keine einheitliche Auffassung. Nach der Bruchmechanik ist die hier interessierende kritische Rißgröße neben der anliegenden Spannung in erster Linie von der Bruchzähigkeit des Behälterwerkstoffes und von der Rißkonfiguration abhängig. Abb.2 zeigt kritische Abmessungen für Oberflächenrisse in Abhängigkeit von der Bruchzähigkeit bei einer Nennspannung $\hat{=}$ Streckgrenze.
Unter sehr konservativen Annahmen nehmen z.B. Spähn und Lenz [2] für die Berechnung kritischer Rißgrößen eine Bruchzähigkeit des Stahles ASTM A 508, Cl.2 von 300 $kp/mm^{3/2}$ an. Danach würde die kritische Rißtiefe sehr flacher Oberflächenrisse etwa 11 mm betragen, bei einer zugehörigen Länge von 555 mm. Halbkreisförmige Risse haben dann eine kritische Tiefe von etwa 33 mm. Da man Risse natürlich finden sollte, bevor sie kritisch sind, bedeutet das, daß Risse ab einigen Millimetern Tiefe und einigen Zentimetern Länge sicher gefunden werden sollten.
Bis heute sind Schäden an der festigkeitstragenden Wandung von Reaktordruckbehältern nicht bekannt geworden. Es traten lediglich Risse

in der Schweißplattierung auf, und zwar an den Druckgefässen EBWR, Elk River und JPDR [1,3,4] . Weitere potentielle Gefahrenpunkte dürften, wie die Festigkeitsberechnungen und Erfahrungen an konventionellen Behältern zeigen, die Stutzenkanten sein.

3. Stand der Wiederholungsprüfung

3.1 Allgemeines

Meyer [4] beschreibt den Stand der Technik auf dem Gebiet der Wiederholungsprüfung an Reaktordruckbehältern. Er betont, daß es notwendig sei, alle erfolgversprechenden visuellen und zerstörungsfreien Prüfmethoden intensiv zu verfolgen und auf ihre Einsatzmöglichkeit bei Wiederholungsprüfungen zu untersuchen. Nach der Ultraschallprüfung räumt er der magnetischen Rißprüfung und besonders der Eindringprüfung die größten Zukunftschancen ein.

3.2 Ultraschallprüfung

Die aktive, diskontinuierliche (Prüfung während Betriebsunterbrechungen) Ultraschallprüfung ist die am weitesten entwickelte und neben der noch in den Anfängen der Entwicklung stehenden passiven kontinuierlichen (Prüfung während des Betriebes) Ultraschallprüfung auch einzig anwendbare Methode, wenn die Forderung nach volumetrischer Prüfung erhoben wird. Sie wurde auch schon des öfteren bei Wiederholungsprüfungen mit unterschiedlichem Erfolg eingesetzt. Dabei wurde sie meist manuell oder teilmechanisiert durchgeführt. Leider lassen sich nicht alle Prüfaufgaben mit diesem Verfahren lösen. So bestehen besondere geometrische Schwierigkeiten bei der Prüfung auf Kantenrisse an Stutzen und physikalische Schwierigkeiten bei der Überprüfung der Plattierung, vor allen Dingen, wenn diese von der inneren Behälteroberfläche aus geschehen soll. Letzteres ist besonders bei Siedewasserreaktoren erwünscht, da eine Prüfung von außen aufgrund der zahlreichen vom Behälter abgehenden Rohrleitungen erschwert ist.

3.3 Oberflächenrißprüfung

Bei den bisher durchgeführten Wiederholungsprüfungen wurden bis auf eine Ausnahme nur manuelle magnetische Rißprüfungen und Eindringprüfungen eingesetzt. Dabei traten insbesondere Schwierigkeiten bei der Prüfung der Plattierungsoberfläche auf, die hauptsächlich am Druckgefäßdeckel und im Bereich des Behälterflansches durchgeführt wurden. Die Flächen mußten aus Strahlenschutzgründen dekontaminiert und um brauchbare Prüfbedingungen zu schaffen, mittels komplizierter Reinigungsverfahren von Korrosionsprodukten befreit werden.
Die einzige mechanische Oberflächenrißprüfung wurde mittels Potentialsondenverfahren in Japan am Druckgefäß JPDR eingesetzt [5] . Abb.3 zeigt das Meßprinzip und die Eichung des Gerätes an künstlichen Rissen, Abb.4 die Vorrichtung zum punktweisen Prüfen von Stutzenkanten.

4. Anforderungen an die Rißprüfverfahren bei Wiederholungsprüfungen

4.1 Grundsätzliche Anforderung

In Tafel II sind alle in Frage kommenden Prüfverfahren aufgeführt. Außerdem sind die möglichen Meßgrößen, einige Einflußgrößen auf die Fehlererkennbarkeit und die mit diesem Verfahren zu prüfenden Werkstoffe angegeben. Nach Abschnitt 2 ist die wichtigste Anforderung an diese Verfahren die Möglichkeit der Messung der Rißtiefe und -länge und ihre evtl. Veränderungen. Aufgrund dieser Anforderung scheiden die Magnetpulver-Prüfung und Eindringprüfung aus. An Teilen bzw. Stellen des Reaktors, die gut zugänglich sind, ist der Einsatz dieser Verfahren jedoch berechtigt. Die so gefundenen Risse können dann gegebenenfalls mit anderen Verfahren auf ihre Tiefe hin ausgemessen werden.

4.2 Spezielle Anforderungen

Die Prüfverfahren müssen automatisierbar sein und hohe Prüfgeschwindigkeiten zulassen, da große Flächen in möglichst kurzer Zeit geprüft werden sollen, z.B. soweit zugänglich,die gesamte Schweißplattierung. Sie sollen relativ unempfindlich gegen Oberflächenunebenheiten und unempfindlich gegen Oberflächenbeläge sein. Die Prüfgeräte sollten geringe Abmessungen haben, da die Zugänglichkeit der Prüfflächen beschränkt ist. Außerdem müssen sie für die Überprüfung der Plattierung unter Wasser arbeiten können. Nach Tafel II erfüllt die Wirbelstromprüfung die meisten Anforderungen. Auch hier gilt, wie bei der Magnetpulver-Prüfung oder Eindringprüfung, daß die restlichen Verfahren bei der Wiederholungsprüfung durchaus ihre Einsatzgebiete haben können.

5. Stand der Rißprüfung mittels Wirbelstrom

5.1 Allgemeines

Der magnetinduktiven Fehlerprüfung von ferromagnetischen und nicht ferromagnetischen Metallen hat sich aufgrund der möglichen hohen Prüfgeschwindigkeit und der guten Automatisierungsfähigkeiten ein sehr umfangreiches Anwendungsgebiet eröffnet. Eingesetzt wird dieses Verfahren hauptsächlich beim Prüfen von gezogenem und gewalztem Material, wie Rohren, Drähten, Stangen aber auch an Kleinteilen, wie z.B. Kugeln. Es sind zahlreiche Anwendungsbeispiele beschrieben worden, z.B.[6] . Die Wirbelstromverfahren beruhen auf dem Nachweis von Veränderungen physikalischer Eigenschaften eines Prüfkörpers mit Hilfe eines magnetischen Wechselfeldes. Wird ein Prüfkörper in den Wirkungsbereich eines magnetischen Wechselfeldes gebracht, welches mit Hilfe einer von Wechselstrom durchflossenen Prüfspule erzeugt wird, so werden in dem Prüfkörper Wirbelströme erzeugt. Diese Wirbelströme rufen ebenfalls ein magnetisches Wechselfeld hervor, das dem

ursprünglichen Prüfspulenfeld entgegengerichtet ist. Da sich diese beiden Felder überlagern, stellt sich im Bereich der Prüfspule bei Vorhandensein einer Probe ein anderes Magnetfeld ein als ohne Spule. Diese Veränderung des ursprünglichen Prüfspulenfeldes ist außer von der Meßanordnung und der Prüffrequenz entscheidend von den elektrischen und magnetischen Eigenschaften, sowie von den Abmessungen des Probekörpers und vom Vorliegen von Fehlern in diesem abhängig. Abb.5 zeigt die schematische Darstellung der möglichen Verfahren. Theoretische Einzelheiten und technisch durchgeführte Meßanordnungen sind der einschlägigen Literatur zu entnehmen, z.B.[6] .

Im vorliegenden Anwendungsfall interessiert nur das Tastspulenverfahren. Dieses Verfahren eignet sich neben dem manuellen Prüfen von Einzelteilen auch zum Prüfen großer Flächen. Letzteres ist, bis auf einen bekannt gewordenen Fall, s.Abschnitt 5.2, lediglich an rotationssymmetrischen Teilen, wie Rohren und Stangen, eingesetzt worden, wobei die Tastspule um das zu prüfende Teil rotiert oder das rotierende Prüfteil an der feststehenden Sonde vorbeiläuft, wobei die Mantelfläche wendelförmig abgefragt wird. Bei der Prüfung mit der Tastspule treten insbesondere Probleme mit der Abhängigkeit der Prüfempfindlichkeit vom Abstand Sonde/Prüffläche auf sowie bei der Unterscheidung von Oberflächenunregelmäßigkeiten von Rissen. Die Unterscheidung der Oberflächenunregelmäßigkeiten von Rissen ist nur beim Aufsuchen von Rissen mit Tiefen $\approx > 2$ x Rauhtiefe möglich.

5.2 Prüfung großer Flächen

Musil [7] berichtet über den erfolgreichen Einsatz des Wirbelstrom-Prüfverfahrens als Ersatz für die Eindringprüfung an 7,8 x 3 m großen Blechen aus vermutlich hochfestem Stahl. Die Bleche wurden für Tanks der ersten Stufe der Saturn V-Rakete benötigt. Abb.6 zeigt die Prüfanordnung. Die Tastspulen wurden unmittelbar über die Oberfläche gezogen. Die Prüfgeschwindigkeit betrug 36 m/min. Es konnten Fehler ab 0,1 mm Tiefe gefunden werden. Die Prüfzeit der Wirbelstromprüfung betrug nur etwa 50% der Zeit für die Eindringprüfung.

6. Eigene Untersuchungen

6.1 Eingesetzte Geräte und Proben

Von zwei eingesetzten Wirbelstromprüfgeräten entsprach nur das Defektometer der Fa. Förster den Erwartungen, s. Abb.7. Es ist ein statisch arbeitendes Wirbelstrom-Prüfgerät mit elektronischer Abhebekompensation. Bei der Prüfung von ferromagnetischen Werkstoffen und austenitischem Stahl beträgt die Prüffrequenz 4 MHz. Es wurden ebene Proben mit künstlichen(Sägeschnitte) und echten Rissen (Dauerschwinganrisse) aus dem Werkstoff ASTM A 508, Cl.2 plattiert und unplattiert untersucht. Bei den Plattierungen handelte es sich um einlagige UP-Bandplattierungen

mit 24/13 Nb-Bändern und um zweilagige Handplattierungen mit 21/10 Nb- und 24/13 Nb-Elektroden. Die Plattierungsdicke betrug im allgemeinen ≈ 6 mm. Da es sich um ein statisches Meßgerät handelt, konnten die Proben nur mit geringer Geschwindigkeit abgefahren werden.

6.2 Abstandsempfindlichkeit

Da es nicht angebracht erschien, zum Teil auch nicht möglich war, wie z.B. bei der Schweißplattierung, die Meßsonde über die Oberfläche gleiten zu lassen, war es in erster Linie wichtig festzustellen, wie sich die Meßempfindlichkeit in Abhängigkeit vom Abstand der Sonden von der Prüfoberfläche verhielt. Es wurde festgestellt, daß diese Abhängigkeit sehr stark vom Durchmesser- bzw. vom Wirkungsquerschnitt der Sonden beeinflußt wird, s. Abb.8. Sie ist relativ unabhängig von der Rißtiefe und Rißbreite und vom Oberflächenzustand und Werkstoff.
Die weiteren mitgeteilten Untersuchungen wurden mit der 10 mm-Sonde durchgeführt.

6.3 Eichkurven und Ergebnisse an Dauerschwinganrissen

Abb.9 zeigt mittels künstlicher Risse gewonnene Eichkurven und Meßergebnisse an Dauerschwinganrissen. Während die Meßergebnisse an echten Rissen im ASTM A 508, Cl.2 gut mit den Eichkurven übereinstimmen, ist dieses bei der Plattierung nicht der Fall. Das liegt vermutlich an den untersuchten Rißformen, s. als Beispiel Abb.10. Durch Meßergebnisse an künstlichen Rissen mit unterschiedlichem Längen/Tiefenverhältnis, s. Abb.11, konnten die Ergebnisse an Dauerschwinganrissen korrigiert werden. Nach dieser Korrektur nähern sich die Meßwerte der Eichkurve. Zur genauen Rißtiefenbestimmung muß also in etwa die Rißform bekannt sein. Es müssen noch umfangreiche Untersuchungen durchgeführt werden, um diesen Einfluß besser erfassen zu können.
Einen weiteren starken Einfluß auf die Tiefenmessung an Rissen in Plattierungen hat die Plattierungsdicke, s.Abb. 12. Sie muß also ebenfalls bei genauer Rißtiefenbestimmung bekannt sein.

6.4 Oberflächenunebenheiten

Um den Einfluß von Oberflächenunebenheiten zu ermitteln, wurden Plattierungen vor und nach dem Abarbeiten der Raupenoberfläche abgefahren. Abb.13 zeigt ein Ergebnis. Man kann feststellen, daß weniger ein Oberflächeneinfluß als ein Werkstoffeinfluß vorliegt. Dieser kann mit örtlich unterschiedlichen Ferritgehalten der Plattierung und dadurch bedingten Permeabilitätsunterschieden zusammenhängen. Der Anzeigenverlauf nach dem Abarbeiten des Ferrits läßt jedoch die Vermutung zu, daß hier auch Eigenspannungen einen Einfluß ausüben. Trotz dieser Anzeigenschwankung an rißfreien Plattierungen kann man mit Sicherheit Risse ab 2 mm Tiefe feststellen. Zur Ermittlung ihrer min.Länge müssen noch weitere Versuche durchgeführt werden.

6.5 Weitere Einflüsse

Es soll nicht unerwähnt bleiben, daß die Meßergebnisse an echten Rissen verfälscht werden, wenn die Rißflächen unter einer Flächenpressung stehen. Es werden dann zu geringe Tiefen bestimmt. Das Ergebnis wird sofort besser, wenn bei der Rißentstehung sich Korrosionsprodukte auf den Rißflächen ablagern. Auch hier müssen geplante Versuche weitere Erkenntnisse bringen. Eine Prüfung unter Wasser wurde mit Erfolg durchgeführt. Eine Beeinflussung der Meßergebnisse trat nicht ein, wenn dafür Sorge getragen wurde, daß kein Wasser in die Sonde eindrang.

6.6 Schlußfolgerungen

Die mitgeteilten Ergebnisse lassen erkennen, daß mit dem Wirbelstromverfahren ein gut automatisierbares, berührungslos arbeitendes Oberflächenrißprüfverfahren für die Wiederholungsprüfung von Reaktordruckbehältern zur Verfügung steht. Es läßt sich sowohl bei ferritischen als auch bei austenitischen Werkstoffen einsetzen. Aufgrund der sehr kleinen Sondenabmessungen sind auch schwer zugängliche Stellen prüfbar. Die Versuche haben aber auch erkennen lassen, daß noch umfangreiche weitere Versuche notwendig sind, um alle Einflußfaktoren auf die Meßergebnisse zu ermitteln und um das Verfahren einsatzfähig zu machen. Eine vorläufige Abschätzung der Prüfgenauigkeit und -empfindlichkeit sowie der möglichen Prüfgeschwindigkeiten ergibt folgendes: Die min. Fehlererkennbarkeit dürfte beim Prüfen unbearbeiteter Flächen etwa bei 2 mm tiefen und 10 mm langen Rissen liegen. Die Genauigkeit wird mit etwa $\pm$ 20% abgeschätzt. Beim Einsatz mehrerer dicht nebeneinander angebrachter Sonden wird als mögliche Prüfgeschwindigkeit etwa 40 m/min angenommen.

Schrifttum

1 Phillips, C.A.G., Warwick, R.G., "A Surveg of Defects in Pressure Vessels built to high Standards of Construction and its Relevance to Nuclear Primary Circuit Envelopes", UKAEA Authority Health and Safety Branch Report AHSB (S) R 162 (1968)

2 Spähn, H., Lenz, H.W., "Der heutige Stand der Bruchmechanik und ihre Anwendungsmöglichkeit für Reaktordruckbehälter", 6. IRS-Fachgespräch "Die Sicherheit von Rohrleitungen und Druckbehältern in Kernkraftwerken", Bonn (1970)

3 Norris, E.B., Ireland, D.R., Lautzenheiser, C.E. "The second Inspection of the Elk River Reactor Pressure Vessel after Operation", Southwest Research Institute Report SwRJ 1228 P9-13, 21.7.1967

4 Meyer, H.J., "Entwicklung von zerstörungsfreien Prüfverfahren zur Fehlersuche in dickwandigen Behältern", Bericht Nr. III, Entwicklungsvertrag RS 27 des BMwF, 2. 1970

5 Yamaguchi, T. u.a. "Inspection Technique by Electrici-Resistance Probe Method on a Nuclear Reactor Vessel", First International Conference on Pressure Vessel Technology, Part II - 75, United Engineering Center 1969

6 Müller, E.A.W., "Handbuch der zerstörungsfreien Materialprüfung", Verlag R.Oldenburg, München 1970

7 Musil, F.J., "Eddy Current and Ultrasonic Techniques for Inspection of Large Parts", Journal of Materials, Bd.2 (1967) H.1, S. 65/80

T a f e l I

Schadensanalyse nach Phillips und Warwick 1

Konventionelle Behälter (100300 Betriebsjahre)

Art der Fehler in %		Ursache der Risse in %		Art der Fehlerentdeckung in %	
Risse	89,3	Ermüdung 1)	40	visuell	56,9
Korrosion	1,5	Korrosion 2)	20,3	Leckage	28,8
Bedienungsfehler	6,1	Fertigungsfehler	8,4	Zerstörungsfreie Prüfung	7,5
Fertigungsfehler	2,3	nicht geklärt	26,5	Druckprobe	1,5
Zeitstandbrüche	0,8	Verschiedenes	1,5	Durch Bersten	5,3
Verschiedenes	-				

Primärkreisläufe Kernreaktoren (1352 Betriebsjahre)

Art der Fehler in %		Ursache der Risse in %		Art der Fehlerentdeckung in %	
Risse	70,5	Ermüdung 1)	41,7	visuell	41,1
Korrosion	17,7	Korrosion 2)	33,3	Leckage	35,3
Bedienungsfehler	-	Fertigungsfehler	16,7	Zerstörungsfreie Prüfung	11,8
Fertigungsfehler	5,9	nicht geklärt	-	Druckprobe	11,8
Zeitstandbrüche	-	Verschiedenes	8,3	Durch Bersten	-
Verschiedenes	5,9				

1) mechanische und thermische Ermüdung
2) Spannungsriß- und Schwingungsrißkorrosion

T a f e l II

Mögliche Verfahren (ohne Ultraschall) zur Oberflächenrißprüfung von Reaktordruckbehältern

	Verfahren	Verfahren mit Kraftlinienwirkung			Wirbelstromverfahren	Potentialsondenverfahren		Eindringverfahren
		Magnetpulver-Prüfung	Sondenverfahren	Magnetographie		Gleichstrom	Wechselstrom	
Meßgrößen	≈ min/max. Tiefe in mm	-	5 µm - >10	0,1 - >10	5 µm - >15	0,1 - >100	<1 - >100	-
	≈ min/max. Länge in mm	1 - ∞	<1 - ∞	<1 - ∞	<1 - ∞	>1 - ∞	>1 - ∞	1 - ∞
Einflüsse auf die Erkennbarkeit 1)	Rißrichtung 2)	3	3	3	-	1	1	-
	Rißbreite	2	1	1	1	1	1	2
	Rißfüllung	1	1	1	1	1	1	3
	Oberflächenbelag	3	1	1	1	2	2	3
	Oberflächenrauhigkeit	2	3	3	3	1	1	2
	Werkstoff	1	3	3	3	1	2	1
Prüfbare Werkstoffe	Ferrit	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
	Austenit	nein	nein	nein	ja	ja	ja	ja
	Prüfgeschwindigkeit 1)	1	3	1	3	1	1	1
	Platzbedarf	groß	groß	groß	sehr klein	klein	klein	groß
	Prüfmöglichkeit unter H_2O	nein	i.Prinzip ja	i.Prinzip ja	ja	ja	ja	nein
	Besondere Vorteile		Feststellg.v. Rissen unter Oberfl.	Feststellg.v.Rissen unter Oberfläche	berührungslos	Messung des ⊥ Oberfl.		
	Automatisierungsfähigkeit 1)	1	3	2	3	2	2	1

1) 1 = gering 3=groß
2 = vorhanden

2) bezogen auf die Meßsonden bzw. Magnetisierungsrichtung

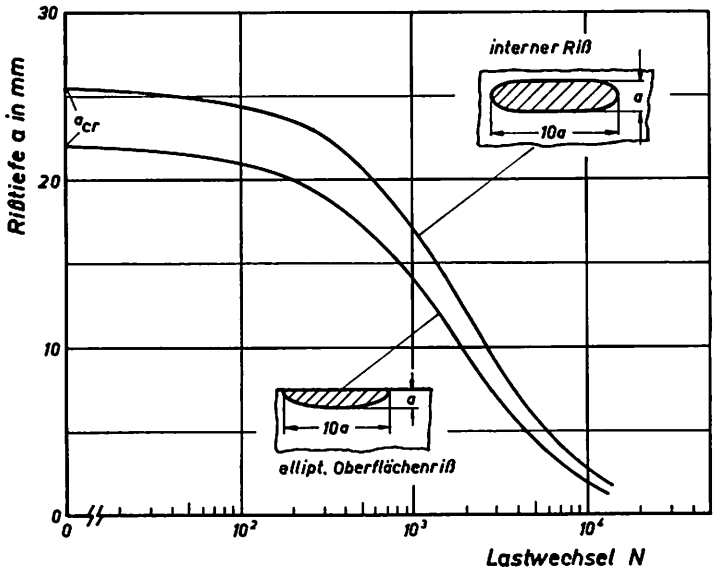


Abb. 1 Zahl der Lastwechsel, nach denen ein Riß der Anfangsgröße a bis zur kritischen Rißtiefe a_{cr} gewachsen ist. Berechnet für K_{Ic} = 400 kp/mm$^{3/2}$, $\Delta\sigma$ = 40 kp/mm^2 und da/dN des Werkstoffes ASTM A 508, Cl. 2 = $10^{-4}\,\Delta K^{3,1}$

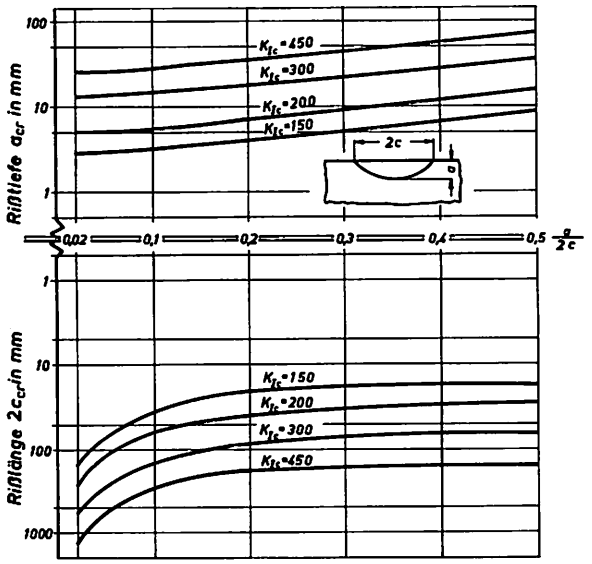
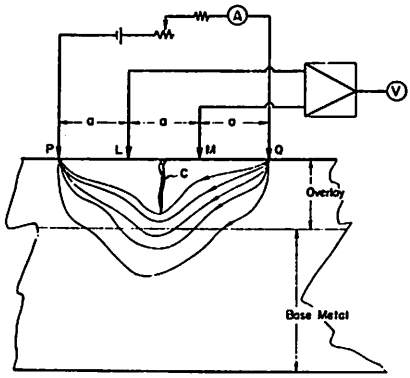
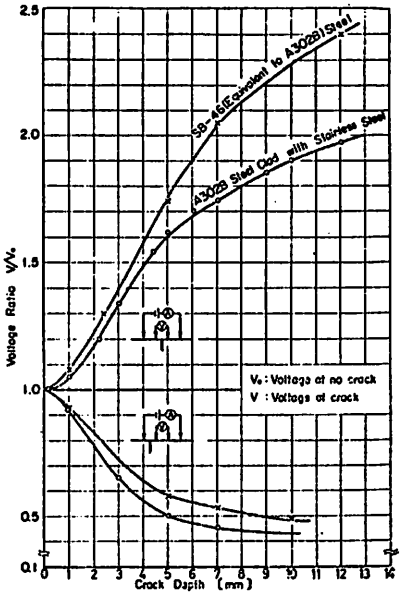


Abb. 2 Kritische Abmessungen für Oberflächenrisse (Nennspannung $\sigma \approx \sigma_s$ = 40 kp/mm^2) [2]



a. Meßprinzip



b. Eichkurven

Abb. 3 Gleichstrom-Potentialsonden-Verfahren [6]

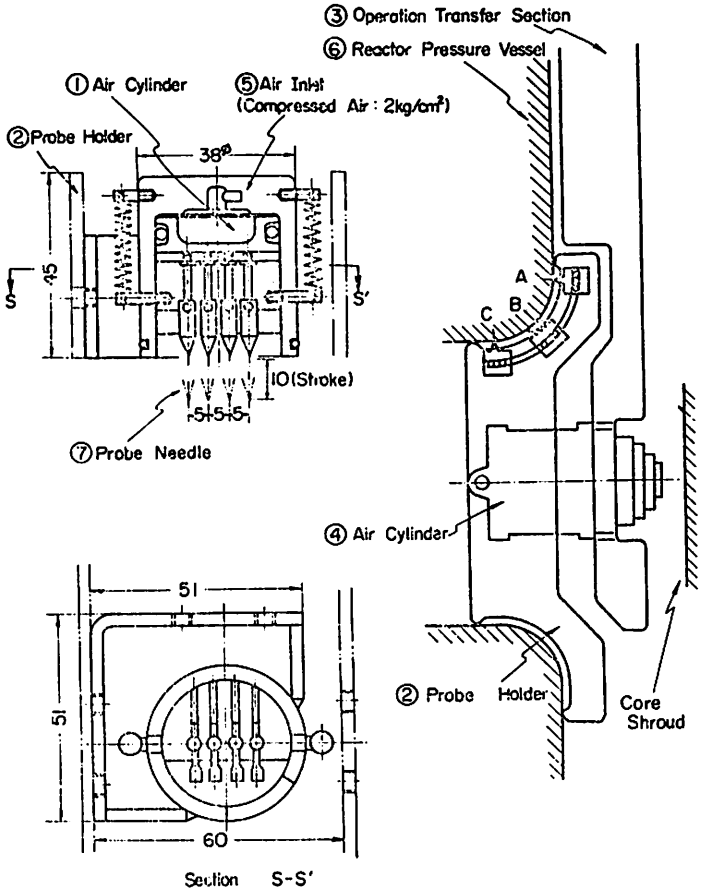
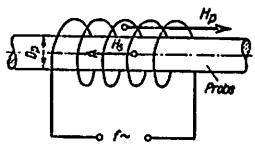
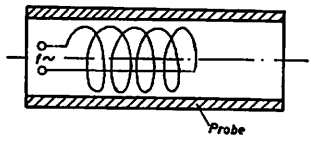


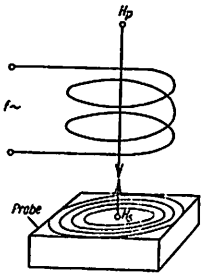
Abb. 4 Prüfvorrichtung für Stutzenkanten mittels Potentialsonden-Verfahren [6]



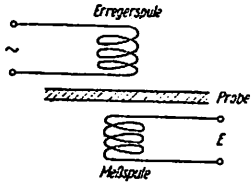
a. Durchlaufspule



b. Innenspule



c. Tastspule



d. Gabelspule

H_p = primäres Spulenfeld ohne Probe

H_s = sekundäres, von der Probe herrührendes Feld

Abb. 5 Schematische Darstellung der Wirbelstromverfahren

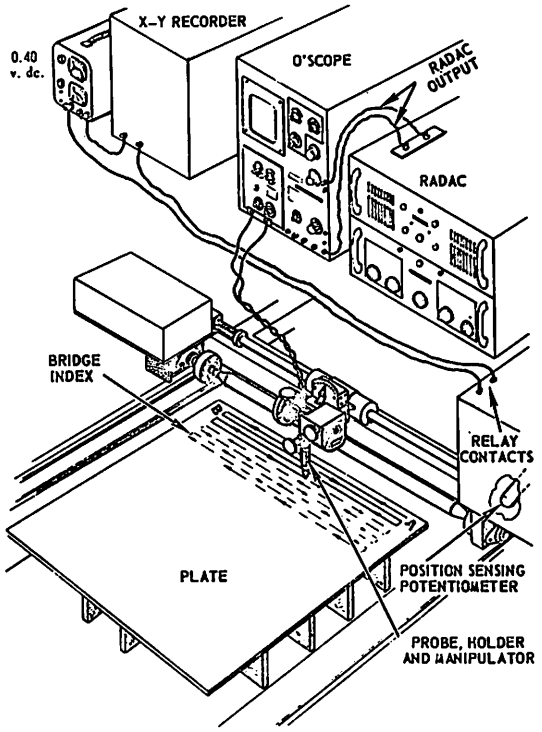
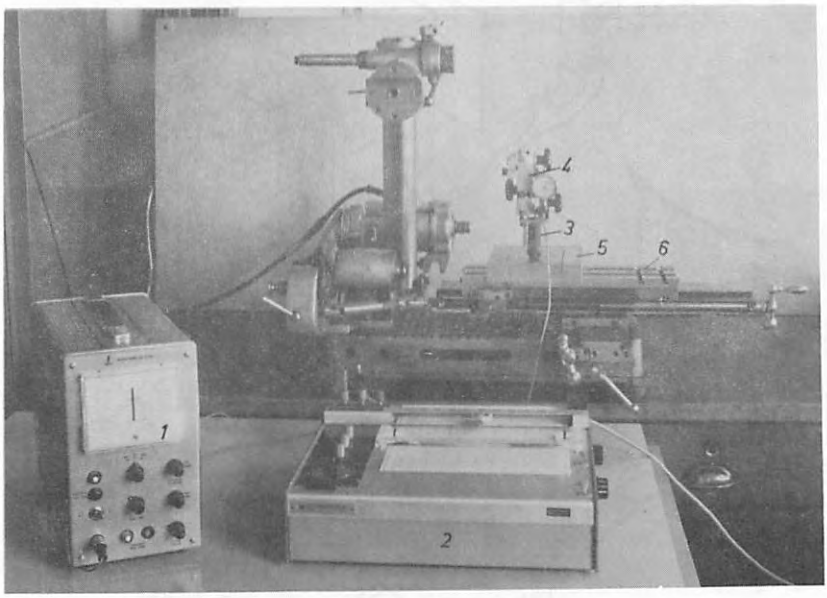


Abb. 6 Wirbelstromprüfung großer Blechtafeln [13]



1. Defektometer
2. Schreiber
3. Sonde
4. Abstandseinstellung
5. Probe
6. Schlitten

Abb.7 Versuchsanordnung

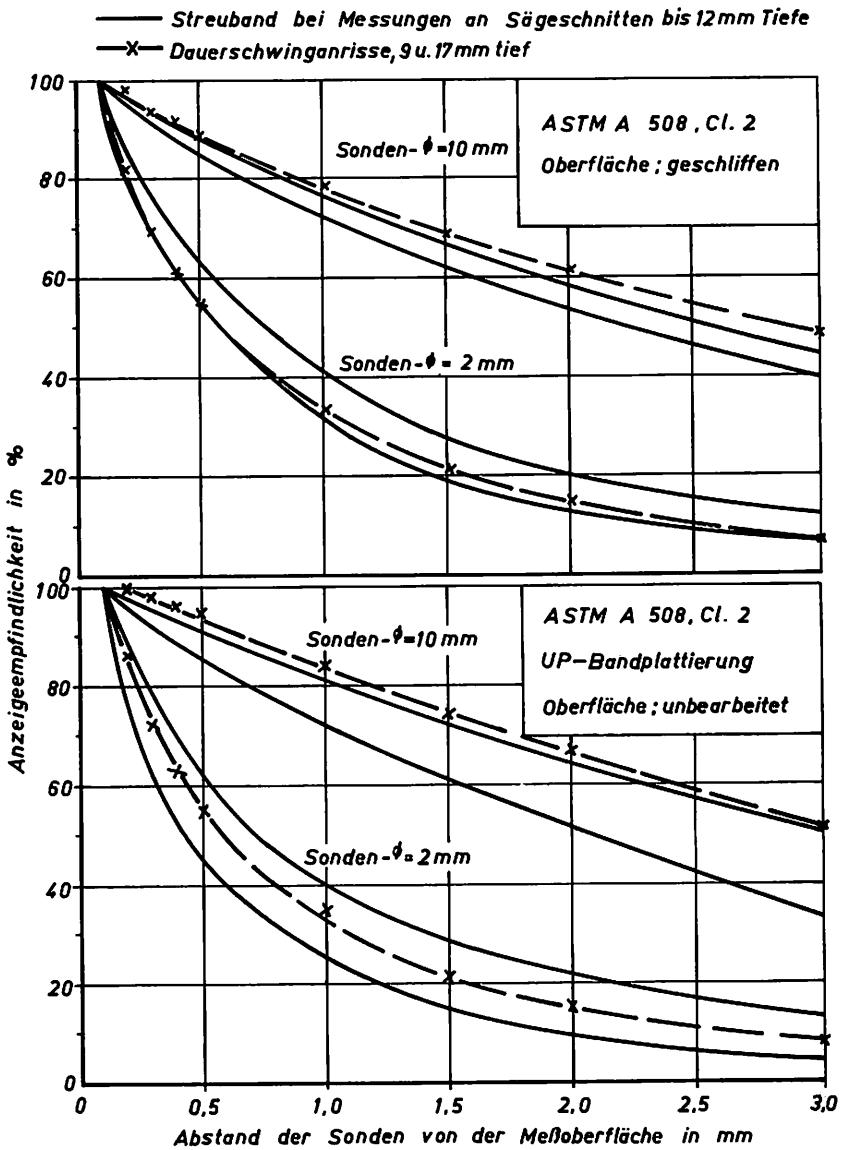


Abb. 8 Abhängigkeit der Anzeigeempfindlichkeit vom Abstand der Tastspulen von der Oberfläche bei der Wirbelstromprüfung

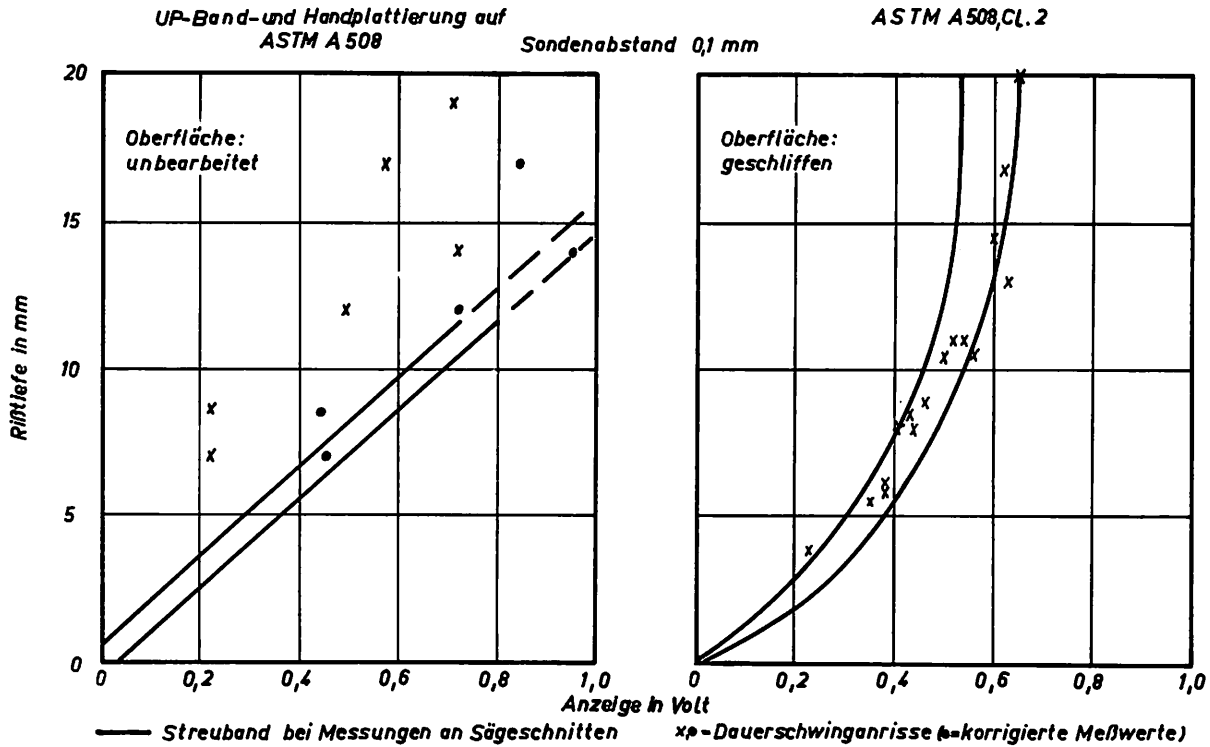


Abb. 9 Eichkurven und Ergebnisse der Tiefenmessung an Dauerschwinganrissen mittels Wirbelstromsonde

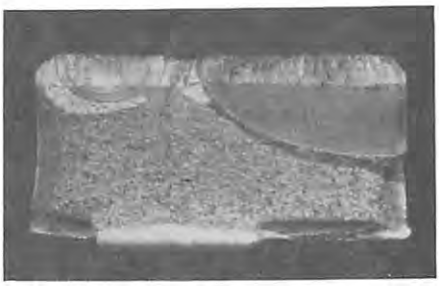


Abb. 10 Bruchfläche einer Dauerschwingprobe

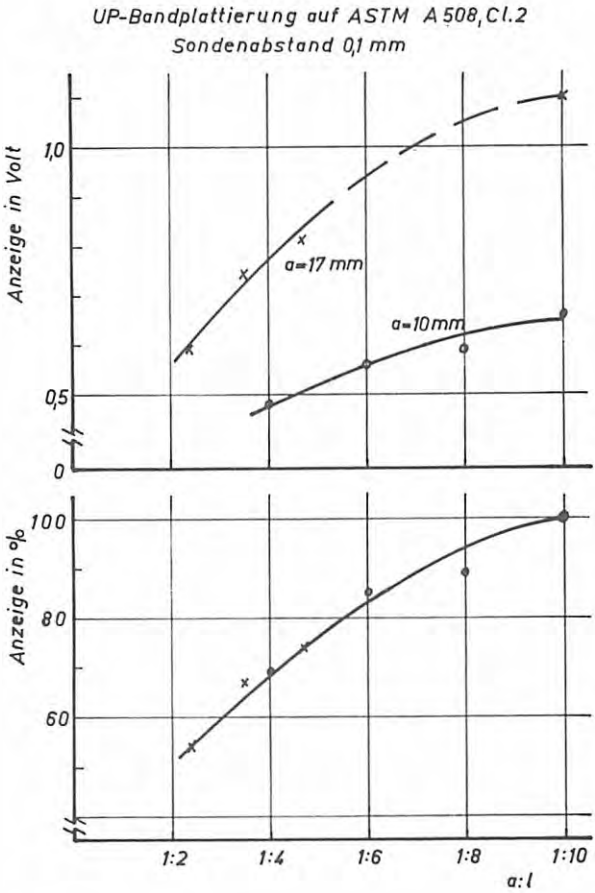


Abb. 11 Abhängigkeit der Anzeige von dem Verhältnis Schnittiefe a zu Schnittlänge l

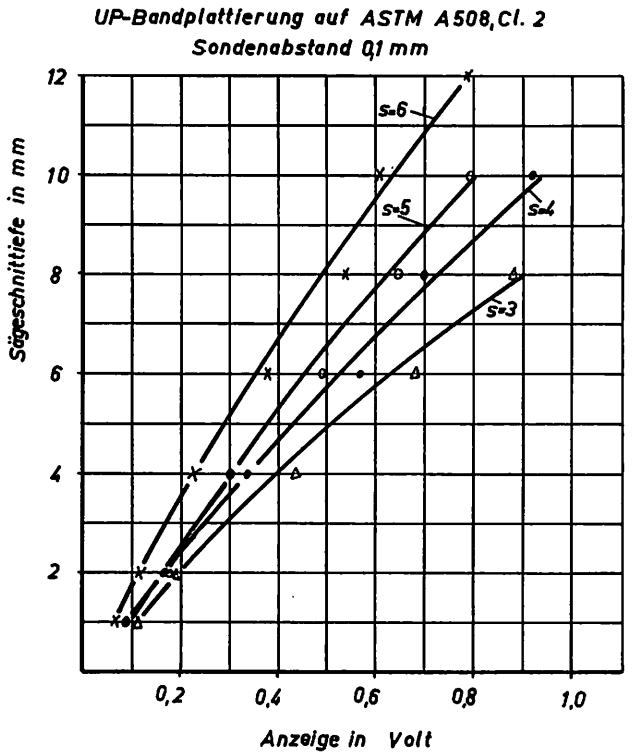


Abb. 12 Abhängigkeit der Anzeige von der Plattierungsdicke s (mm) und von der Schnitttiefe a bei der Wirbelstromprüfung

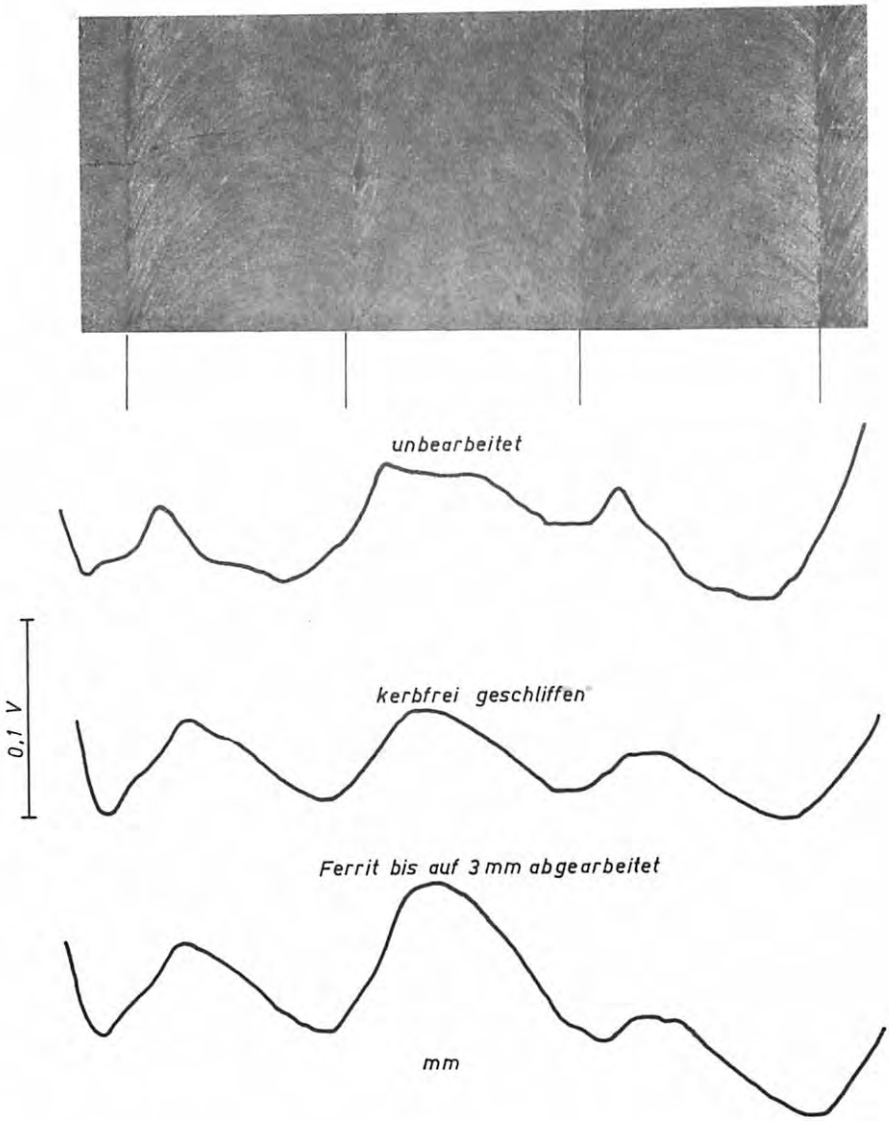


Abb. 13 Wirbelstromanzeigen in Abhängigkeit vom Oberflächenzustand und von der Ferritdicke einer UP-Bandplattierung

DISCUSSION

Q H. BASCHEK, Switzerland

1. Bis zu welcher Tiefe ist das Verfahren wirksam ?
2. Wieweit können Oberflächenablagerungen (speziell ferritische) sich auf die Messergebnisse auswirken ?

A H. FISCHDICK, Germany

1. Wir haben in unseren Versuchen an austenitischen und ferritischen Oberflächen Risstiefen bis ca. 20 mm gemessen.
2. Wir haben darüber noch keine Untersuchungen angestellt. Aber wahrscheinlich werden ferritische Ablagerungen nur wenig Einfluss auf die Messanzeige haben. Nichtmetallische Ablagerungen naturgemäss überhaupt nicht.

Q E. KLAUSNITZER, Germany

1. Wie hoch ist die verwendete Prüffrequenz ?
2. Wenn Sie Ermüdungsanrisse verschiedener Tiefe verwenden, so ist es möglich, dass die Risse an der Oberfläche verschieden weit geöffnet sind. Ist es nicht möglich, dass Sie somit diese Rissöffnung messen und nicht die Tiefe ?

A H. FISCHDICK, Germany

1. Die Prüffrequenz betrug 4 MHz. Die Eindringtiefe beträgt 0,1-0,2 µm. Auf das Messverfahren (Risstiefenmessung) hat diese Eindringtiefe wenig Einfluss, wenn die Risse bis zur Oberfläche gehen. Risse, die nicht bis zur Oberfläche gehen, können natürlich nicht gefunden werden.
2. Da die Wirbelströme um die Rissflächen herum laufen, hat die Rissöffnung keinen Einfluss auf das Messergebnis. Das wurde auch durch die Messergebnisse bestätigt, da Messergebnis und echte Risstiefe gut übereinstimmten (s. Abb. 9).

Q H. AHLBORN, Germany

Haben Sie genauere Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen Ihren Ergebnissen an der Schweissnaht und den dort herrschenden Eigenspannungen gemacht ? Wurden Abhängigkeiten zwischen Messergebnis und Eigenspannungen im Stahl bestimmt ?

A H. FISCHDICK, Germany

Untersuchungen über den absoluten Einfluss von Eigenspannungen auf das Messverfahren wurden bisher nicht durchgeführt.
Da aber durch Spannungen die Permeabilität verändert wird, ist ein Einfluss zu erwarten.