



Nachweis von Plattierungsfehlern mit Ultraschall- und Wirbelstromverfahren

H. Waidele, P. Knoch, MPA Universität Stuttgart, Germany
R. Gersinska, BfS Salzgitter, Germany
W. Brenner, T. Seidenkranz, TÜV Süd, Germany
G. Csapo, T. Just, TÜV Nord, Germany
R. Weiß, IzfP Saarbrücken, Germany
W. Rathgeb, IntelligeNDT, Erlangen, Germany



DE021057524

30. MPA-Seminar in Verbindung mit dem 9. Deutsch-Japanischen Seminar Stuttgart, 6. und 7. Oktober 2004

1 Zusammenfassung

Im Rahmen eines vom Bundesamt für Strahlenschutz geförderten Vorhabens wurde die Aussagefähigkeit von Ultraschall- und Wirbelstromprüfungen an austenitischen Plattierungen von Reaktordruckbehältern untersucht. In der ersten Phase des Vorhabens wurden an der MPA Stuttgart Testkörper mit natürlichen Fehlern im Plattierungsbereich gefertigt, in einer zweiten Phase wurden Plattierungsfehler in den MPA-Großbehälter eingebracht. Die Messungen haben gezeigt, dass die meisten Plattierungsfehler mit Ultraschall-Standardprüftechniken nachweisbar sind, wobei die größte Aussagekraft bei einer Kombination von Ultraschall- und Wirbelstromprüfung gegeben ist.

2 Einleitung

Ein Reaktordruckbehälter (RDB) soll hohe mechanische Beanspruchungen aufnehmen und zusätzlich einem korrosionschemischen Angriff standhalten. Durch die Verwendung ferritischer Baustähle mit einer korrosionsbeständigen austenitischen Plattierung können die konstruktiven Betriebsspannungen auf den festigkeitsmäßig günstigeren Baustahl übertragen werden, während ein chemischer Angriff durch die hierfür beständige Plattierung vermieden wird [1].

Im gegenwärtigen Regelwerk (KTA 3201.4, Ausgabe 6/99) ist bei der wiederkehrenden Prüfung für die Plattierung des RDB eine Sichtprüfung vorgesehen. In einigen Anlagen wurden Sonderprüfungen mittels Ultraschall- und auch mit Wirbel-

stromverfahren vorgenommen /2/. Zur Erprobung der Prüftechniken wurden hauptsächlich Testkörper mit künstlichen Fehlern in Form von Nuten verwendet.

Ein an der MPA Stuttgart im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) durchgeführtes Vorhaben hatte das Ziel, die Aussagefähigkeit der Ultraschall- und Wirbelstromprüfung an möglichst natürlichen Plattierungsfehlern zu untersuchen /3/.

3 Herstellung von Testkörpern mit Plattierungsfehlern

Für die Plattierung von Reaktordruckbehältern kamen in deutschen Anlagen die Sigma-Pendeldraht-Plattierung und die Unterpulver-Bandplattierung sowie das Auftragsschweißen von Hand zum Einsatz. Bereits beim Schweißen der Plattierung kann es zu Fehlerbildungen kommen, beispielsweise in Form von Heißrissen, Schweißfehlern oder Unterplattierungsrissen (UPR). Betriebsbedingte Fehlerbildungen in RDB-Plattierungen sind aus deutschen Anlagen nicht bekannt. Unbeschadet dessen sollen Ermüdungsrisse, interkristalline Spannungsrisskorrosion oder eine Erweiterung von Herstellungsfehlern bei wiederkehrenden zerstörungsfreien Prüfungen der Plattierung nachgewiesen werden. Mögliche Fehlerbildungen im Bereich der Plattierung sind in Bild 1 schematisch dargestellt.

Für den Bau der Testkörper waren Fertigungsfehler und betrieblich bedingte Fehler vorgesehen. Die Testkörper sollten sowohl eine Untersuchung der Innenprüfung, wie bei Druckwasserreaktoren (DWR) üblich, als auch eine Beurteilung der bei Siedewasserreaktoren (SWR) praktizierten Außenprüfung erlauben. Die Testkörper wurden daher in der SWR-Wanddicke von rd. 150 mm hergestellt. Eine Übersicht zu den angefertigten Testkörpern mit den jeweiligen Fehlerbildungen zeigt Tabelle 1.

3.1 Testkörper mit Ermüdungsriss und Heißrissen in der Plattierung

Der Testkörper TK3, Bild 2, wurde zweilagig UP-Band plattiert. Er enthält sowohl zur Oberfläche hin offene als auch geschlossene Heißrissbildungen in der Plattierung. Zum Einbringen der Heißrisse wurde ein entsprechender Bereich der Plattierung wieder ausgearbeitet und mit einer speziellen, artgleichen, aber unter den gegebenen Bedingungen heißrissempfindlichen Elektrode wieder aufgefüllt. Den Verlauf der zur Oberfläche hin offenen Heißrissbildung zeigt Bild 3.

Neben Nuten und einer Bohrung enthält der Testkörper TK3 einen rd. 40 mm langen und rd. 6 mm tiefen Schwingungsriß unter der Plattierung. Hiermit soll der Fehlertyp "erweiterter UPR" simuliert werden.

3.2 Testkörper mit Spannungsrissskorrosion in der Plattierung

Bei Vorversuchen zur Erzeugung dieses Fehlertyps zeigte sich, dass außer einem korrosiv wirksamen Medium und einer Sensibilisierung des austenitischen Schweißguts auch Zugspannungen in ausreichender Höhe notwendig sind. Nur bei Erfüllung aller Bedingungen konnten Rissbildungen in der Plattierung erzeugt werden.

Die Herstellung eines Testkörpers mit interkristalliner Spannungsrissskorrosion (ISpRK) in der Plattierung gestaltete sich recht aufwendig. Unter anderem mussten zum Aufbringen der notwendigen Biegespannungen Verlängerungen angeschweißt werden, Bild 4. Tatsächlich ist es gelungen, einen Testkörper (IK1), Bild 5, mit ISpRK-Feldern zu erzeugen, Bild 6. Durch örtlich unterschiedliche Schweißtechnik war es möglich, Rissfelder nur in der äußeren sowie auch in beiden Plattierungslagen verlaufend zu erzeugen, Bild 7 und 8.

Neben den Rissfeldern enthält der Testkörper IK1 auch Nuten und Bohrungen. Eine Hälfte des zweilagig handplattierten Testkörpers wurde wie geschweißt belassen, die andere Hälfte plangeschliffen.

3.3 Testkörper mit Unterplattierungsrisen

Unterplattierungsrisse (UPR) sind interkristallin verlaufende Trennungen, welche in Grobkornzonen plattierter Bauteile aus niedriglegierten Stählen auftreten können. Sie bilden sich unter bestimmten Bedingungen bevorzugt im grobkörnigen Ferrit im Überlappungsbereich der Wärmeeinflusszone (WEZ) benachbarter Raupen von einlagig plattierten Bauteilen. Meist kommen UPR nicht vereinzelt, sondern in Form von Rissfeldern vor. UPR entstehen nicht beim Plattieren selbst, sondern während der anschließenden Wärmebehandlung (550 bis 600 °C) /4/.

Da bei der Bildung von UPR auch die chemische Zusammensetzung des Stahls eine Rolle spielt, wurde ein hierfür geeigneter Werkstoff aus dem seinerzeitigen Komponentensicherheitsprogramm gewählt (KS05, 22 NiMoCr 3 7). Eine an der MPA

vorhandene Bramme von rd. 300 mm Dicke wurde beidseitig mit einer einlagigen UP-Bandplattierung versehen und anschließend mittig geteilt. Nach einer weiteren Zerlegung, Bild 9, wurden zwei Teile einer Spannungsarmglühung unterzogen.

Untersuchungen an Randmaterial der Stücke zeigten, dass es gelungen war, zwei Testkörper (UPR1 und UPR2) mit Unterplattierungsrisen herzustellen, Bild 10. Der interkristalline Verlauf der Risse in der grobkörnigen ferritischen WEZ ist im Querschliff erkennbar, Bild 11.

3.4 Testkörper mit Schweißfehlern in der Plattierung

Es war vorgesehen, einen Testkörper mit zweilagiger UP-Bandplattierung herzustellen, der typische Schweißfehler wie Poren, Schlacken und Bindefehler enthält. Dabei sollten die Schweißfehler möglichst auf natürliche Weise, also beispielsweise infolge ungünstiger Wärmeführung, Verunreinigungen oder Feuchtigkeit entstehen. In Vorversuchen erwies sich der UP-Bandschweißprozess jedoch als so stabil, dass es nicht gelungen ist, die Fehler durch Variation der Schweißparameter oder mittels Verunreinigungen zu erzeugen. Mit Ausnahme der Schlackenzeile wurden die Fehler im Testkörper SF1, Bild 12, durch Einlegen von Keramikugeln oder mit Hilfe von Keramikmasse hergestellt. Metallografische Schliffe durch die so bei den Vorversuchen erzeugten Poren und Bindefehler zeigen die Bilder 13 und 14.

4 Einbringen von Plattierungsfehlern in den MPA-Großbehälter

Der MPA-Großbehälter, Bild 15, enthält in verschiedenen Bereichen Nuten unterschiedlicher Tiefe und Lage im Plattierungsbereich, an denen auch in den vergangenen Jahren Untersuchungen vorgenommen wurden /5, 6/. Allerdings standen bislang keine natürlichen Plattierungsfehler im MPA-Großbehälter zur Verfügung. Im Rahmen des Vorhabens sollten nun solche Fehler eingebracht werden.

Das Erzeugen von Plattierungsfehlern im MPA-Großbehälter konnte, mit Ausnahme von Heißrissen und Schweißfehlern, nicht mit der gleichen Technik erfolgen wie beim Testkörperbau. Zur Anwendung kam eine Implantattechnik, wobei Material aus der Testkörperfertigung eingesetzt wurde. Dabei wurden zunächst Mulden in den Groß-

behälter erodiert und anschließend die Implantate mit möglichst genauer Tiefenposition angeschweißt, Bild 16. Danach wurden die Mulden mit Schweißgut aufgefüllt und schließlich die austenitische Plattierung in Form einer zweilagigen Handplattierung aufgebracht. Die Plattierungsoberfläche wurde kerbarm beschliffen. Es sei angemerkt, dass es leider nicht gelungen ist, die Implantate fehlerfrei einzuschweißen.

Die in den MPA-Großbehälter eingebrachten Plattierungsfehler sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

5 Ultraschall- und Wirbelstromprüfungen im Plattierungsbereich

5.1 Besonderheiten der Plattierungsprüfung mit Ultraschall und Wirbelstrom

Die Ultraschallprüfung von austenitischem Schweißgut stellt aufgrund der grobkörnigen, dendritischen Gefügebildung eine schwierige Aufgabe dar und ist bereits seit den fünfziger Jahren Gegenstand zahlreicher Untersuchungen. Bei der Plattierungsprüfung kommt es an den Korngrenzen und im Bereich des Interface zu Schallrückstreuungen, Reflexionen, Brechungen und Wellenabspaltungen /7/. Hieraus resultiert insbesondere ein vermindertes Fehlernachweisvermögen durch ein ungünstiges Signal-Störverhältnis ("Plattierungsrauschen").

Bei der Wirbelstromprüfung besteht grundsätzlich die Schwierigkeit, dass mehrere Einflussgrößen - auch gleichzeitig - das Messsignal beeinflussen /8/. Mögliche Störeinflüsse bei der Plattierungsprüfung mit Wirbelstrom sind neben Kipp- und Abhebeeffekten der Prüfsonden vor allem Gefügebefehle (Schwankungen im δ -Ferrit-Gehalt, Reparaturstellen) und die Oberflächenbeschaffenheit (Raupeübergänge, beschliffene/nicht beschliffene Bereiche).

5.2 Angewendete Prüftechniken

Die Ultraschallprüfungen wurden von IntelligeNDT mit dem SAPHIR-Prüfsystem /9/ vorgenommen. Die Prüfungen wurden sowohl von der plattierten Seite aus (Innenprüfung, DWR-Situation) als auch von der nicht plattierten Seite aus (Außenprüfung, SWR-Situation) mechanisiert vorgenommen. Eingesetzt wurden Gruppenstrahlerprüfköpfe sowie bei den Testkörpermessungen auch die Standardprüfköpfe 70 SEL 2 f33, 45 ET 1 und 45 SET 1.

Die Wirbelstromprüfungen wurden vom IzfP mit einem Mehrfrequenzsystem /10/ durchgeführt, das Niederfrequenz (NF)- und Hochfrequenz (HF)-Prüfungen erlaubt. Die Verknüpfung der von den verschiedenen Frequenzen erhaltenen Signale erfolgt mit Regressionsanalyse. Dies erlaubt eine Unterdrückung von Störern und eine Auswertung hinsichtlich verschiedener Zielgrößen.

5.3 Ergebnisse der Testkörpermessungen

Die wesentlichen Ergebnisse der Ultraschall- und Wirbelstromprüfungen an den Testkörpern mit natürlichen bzw. quasinatürlichen Fehlerbildungen sind in den Tabellen 3 und 4 zusammengefasst.

5.3.1 Heißrisse

Bei den Ultraschallprüfungen von der plattierten Seite aus konnten die Heißrisse im TK3 mit der bei wiederkehrenden Prüfungen (WKP) üblichen, auf den Interface-Bereich ausgerichteten Prüftechnik (70 SEL 2, f33) nicht aufgefunden werden. Ein Nachweis (oberhalb Rauschen) gelang mit dem Gruppenstrahlerkopf 70 SEL 1,5. Bei den Ultraschallprüfungen von der nicht plattierten Seite aus konnten die Fehler mit der üblichen WKP-Prüftechnik (45 ET1, 45 SET1) nachgewiesen werden.

Bei den Wirbelstromprüfungen waren die Heißrisse erkennbar. Es war auch eine Klassierung in offene/verdeckte Fehler möglich.

5.3.2 Interkristalline Spannungsrisskorrosion

Bei den Ultraschallprüfungen von der plattierten Seite aus konnten zwar alle Rissfelder aufgefunden werden, jedoch lagen die Anzeigen im unbeschiffenen Bereich praktisch im Rauschen. Mit dem WKP-Standardprüfkopf 70 SEL2 f33 konnten die Rissfelder im beschliffenen Bereich der Plattierung erkannt werden. Bei den Ultraschallprüfungen von der unplattierten Seite aus erbrachte das tiefere Rissfeld im beschliffenen Bereich des Testkörpers Anzeigen über dem Rauschen.

Bei den Wirbelstromprüfungen konnten alle Rissfelder mit der HF-Absolutsonde nachgewiesen und als offene Fehler klassiert werden.

5.3.3 Unterplattierungsrisse (UPR)

Die Ultraschallprüfungen von der plattierten Seite aus ergaben an beiden Testkörpern (UPR1, UPR2) und bei allen verwendeten Prüfköpfen einen eindeutigen Fehlernachweis im Überlappungsbereich der Plattierungsraupen im Interface. Auch bei den Ultraschallprüfungen von der unplattierten Seite aus wurden die UPR nachgewiesen.

Bei den Wirbelstromprüfungen wurden in Teilbereichen Anzeigen aufgefunden, die auf UPR zurückgeführt werden könnten. Eine sichere Zuordnung war jedoch nicht möglich.

Der erweiterte UPR von rd. 40 mm Länge und rd. 6 mm Tiefe im TK3 konnte sowohl bei der Ultraschallprüfung von der plattierten Seite als auch von der unplattierten Seite aus eindeutig nachgewiesen werden. Die Anzeighöhen lagen deutlich über der Bewertungsgrenze nach KTA 3201.4.

Bei der Wirbelstromprüfung war dieser Fehler mit der zugehörigen Justierung auf verdeckte flächige Fehler nachweisbar.

5.3.4 Schweißfehler in der Plattierung

Die drei Bindefehler im SF1 haben Längen von rd. 35 bis 50 mm und Tiefen von jeweils rd. 3,5 mm. Die Schräglage beträgt rd. 30°. Bei der Ultraschallprüfung von der plattierten und auch von der unplattierten Seite aus waren die Bindefehler nachweisbar.

Die Schlackenzeilen im SF1 sind rd. 67 bzw. 77 mm lang und haben einen Durchmesser von etwa 3,5 mm. Bei den Ultraschallprüfungen von der plattierten Seite aus konnten diese Fehler zwar nachgewiesen werden, allerdings mit nur geringem Signal-Rauschabstand. Der Nachweis gelang bei der Ultraschallprüfung von der unplattierten Seite aus mit 45 SET1.

Die verschiedenen Porenbildungen im Testkörper SF1 konnten weder mit der Ultraschallprüfung von der plattierten noch von der unplattierten Seite aus aufgefunden werden.

Bei den Wirbelstromprüfungen konnte keiner der Schweißfehler nachgewiesen werden.

5.3.5 Nuten im Plattierungsbereich

Bei den Ultraschallprüfungen wurde entsprechend KTA 3201.4 eine Registriergrenze von Nut 3 mm -6 dB festgelegt und somit bereits ein Bezug zu diesem Reflektor geschaffen. Die Vorgehensweise bei der Justierung (KTA) ist so, dass eine 3 mm tiefe Nut in einem ferritischen, unplattierten Testkörper angeschallt und der Einfluss der Plattierung durch einen Empfindlichkeitszuschlag berücksichtigt wird. Insofern ist es auch von Interesse, wie die in den Testkörpern vorhandenen Nuten bei den Ultraschallprüfungen angezeigt werden. Für die WKP-Standardprüfköpfe 70 SEL2 f33, 45 ET1 und 45 SET1 sowie für den Gruppenstrahlerkopf sind in Tabelle 5 die erreichten Echohöhen für verschiedene Nuten in den Testkörpern zusammengestellt. Die Anzeigen der natürlichen Fehler in dem Testkörper, die eine ähnliche Lage und Fehlertiefe aufweisen, sind für die jeweils gleiche Prüffunktion auch mit aufgeführt. Es wird das unterschiedliche Anzeigenverhalten von Nuten und natürlichen Fehlern deutlich.

6 Ergebnisse der zerstörungsfreien Prüfungen am MPA-Großbehälter

Die Prüfungen am MPA-Großbehälter wurden als Blindversuche vorgenommen, wobei den Prüfteams die Art der Fehlerbildungen bekannt war, aber nicht die Lage im Prüfbereich. Nicht bekannt war auch, ob die Fehler (Heißrisse, Schwingungsrisse) offen zur Oberfläche sind oder nicht. Durch die zur Fehlereinbringung verwendete Implantatstechnik ergaben sich einige Einschränkungen. Zum einen ist es nicht gelungen, die Implantate fehlerfrei einzubringen, was Prüfung und Auswertung insgesamt beeinträchtigte. Zum anderen stellen die Implantate, insbesondere für die Wirbelstromprüfung, besondere Bereiche dar, die relativ leicht zu detektieren sind.

Für die Ultraschallprüfungen wurde ein Gruppenstrahlerprüfkopf eingesetzt, da dieser bei den vorangegangenen Testkörpermessungen insgesamt die besten Ergebnisse geliefert hat.

Bei der Ultraschallprüfung von der plattierten Seite (Innenseite) aus konnten alle eingebrachten Fehlerbildungen aufgefunden werden. Die Anzeighöhe der Fehler war relativ hoch (über der Bewertungsgrenze nach KTA 3201.4). Darüber hinaus wurde eine Vielzahl von Anzeigen aus den Einschweißbereichen detektiert.

Die Ultraschallprüfung von der nicht plattierten Seite (Außenseite) aus wurde mit erhöhter Prüfempfindlichkeit (+5 dB) vorgenommen. Dennoch konnten die Bereiche mit Unterplattierungsrissen nicht gefunden werden. Es lagen allerdings auch hier Anzeigen aus der Implantatseinschweißung vor, wodurch eine Beeinträchtigung der Prüfung möglich ist. Die übrigen Fehler wurden über der Registriergrenze nach KTA 3201.4 detektiert. Heißrisse und interkristalline Spannungsrisskorrosion wurden nur mit der 45°-Funktion gefunden, wobei sich die Anzeigen des Rissfeldes mit interkristalliner Spannungsrisskorrosion nur wenig aus dem Rauschen abhoben.

Bei den Wirbelstromprüfungen konnten die Bereiche mit Unterplattierungsrissen und die Schlackenzeile nicht aufgefunden werden. Wie auch schon bei den Testkörpermessungen gelang eine korrekte Klassierung der eingebrachten Fehler (offen-/geschlossen zur Oberfläche).

7 Schlussfolgerungen

Es ist gelungen, verschiedene größere Testkörper mit der SWR-Wanddicke von 150 mm zu fertigen, in die Plattierungsfehler quasi auf natürliche Weise eingebracht wurden. Diese Testkörper sind daher ausgezeichnet zur Erprobung oder Qualifizierung von zerstörungsfreien Prüftechniken geeignet. Eine Implantatstechnik, wie sie am MPA-Großbehälter angewendet werden musste, sollte soweit irgend möglich beim Testkörperbau vermieden werden.

Die Untersuchungen an den Testkörpern und am MPA-Großbehälter haben gezeigt, dass bei der Prüfung von der plattierten Seite aus (Innenprüfung, DWR-Situation) eine Kombination von Ultraschall- und Wirbelstromprüfung die besten Ergebnisse liefert. Neben einer erhöhten Nachweissicherheit ist hierdurch auch eine Unterscheidung möglich, ob Fehler zur Oberfläche hin offen sind oder nicht. Bei der Prüfung von der nicht plattierten Seite aus (Außenprüfung, SWR-Situation), die nach gängiger Praxis nur mit Ultraschall durchgeführt werden kann, waren die meisten Plattierungsfehler nachweisbar.

Es scheint daher sinnvoll, die derzeit im Regelwerk vorgesehene Sichtprüfung der RDB-Plattierung durch Ultraschall- und gegebenenfalls Wirbelstromprüfungen zu ergänzen.

Literatur

- /1/ Zerstörungsfreie Prüfung von Plattierungen.
Erarbeitung von Unterlagen im Hinblick auf die Ergänzung und Weiterentwicklung des Kerntechnischen Regelwerks.
6. Technischer Bericht,
MPA Stuttgart, Bericht BMU SR 2024, Oktober 1994
- /2/ Just, T.:
Fehlerauffindbarkeit an plattierten Oberflächen von Reaktordruckbehältern mittels zerstörungsfreier Prüfmethode.
18. MPA-Seminar, Stuttgart 1992
- /3/ Bewertung der Aussagefähigkeit von Ultraschall- und Wirbelstromprüfung austenitischer Plattierung von Reaktordruckbehältern.
MPA Stuttgart, Berichte BMU SR 2318,
1. Technischer Bericht vom Dezember 2002,
2. Technischer Bericht vom September 2003
- /4/ Schellhammer, W.:
Über die Ursachen von Relaxations- und Heißrissbildungen in der Wärmeeinflusszone der Feinkornbaustähle 22 NiMoCr 3 7 und 20 MnMoNi 5 5.
Technisch-wissenschaftlicher Bericht der MPA Stuttgart Nr. 78-01
- /5/ Tessaro, U.; Erhard, A.; Schmitz, V.; Müller, W.; Waas, A.; Eser, B.; Just, T.; Mletzko, U.:
Nachweis und Charakterisierung von rissartigen Fehlern im Plattierungsbereich.
BAM-Bericht-Nr. BAM-VIII.41-02-12/1, Abschlussbericht zum Vorhaben SR 2351, Dezember 2002
- /6/ Schmitz, V.; Müller, W.:
Nachweis und Charakterisierung von rissartigen Fehlern im Plattierungsbereich.
IzFP-Bericht 020138TW zum Vorhaben SR 2351, Oktober 2002
- /7/ Neumann, E.; u. a.:
Ultraschallprüfung von austenitischen Plattierungen, Mischnähten und austenitischen Schweißnähten.
Kontakt & Studium, Band 377, expert verlag, 1995
- /8/ Waidele, H.:
Ein Beitrag zur computerunterstützten Wirbelstromprüfung.
Techn.-wiss. Bericht MPA Stuttgart, 1988
- /9/ Engl, G.; Rathgeb, W.; Fischer, E.:
Reduzierte Prüfzeiten und gesteigerte Aussagefähigkeit bei Wiederkehrenden Prüfungen durch den Einsatz innovativer Prüftechniken.
27. MPA-Seminar, Stuttgart 2001

- /10/ Weiß, R.; Becker, R.; Lucht, B.; Mohr, F.; Hartwig, K.:
Qualifizierung der Niederfrequenzwirbelstromtechnik für die
Plattierungsprüfung und ihre Anwendung bei der RDB-Prüfung.
25. MPA-Seminar, Stuttgart 1999

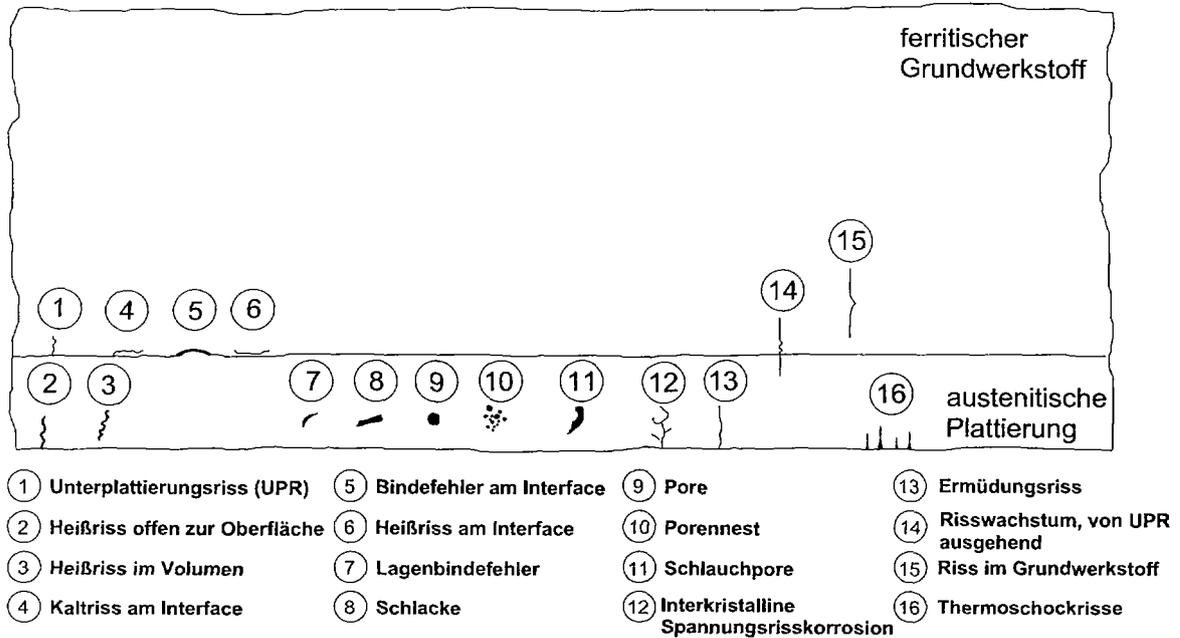


Bild 1: Schematische Darstellung möglicher Fehlerbildungen im Bereich einer austenitischen Schweißplattierung

Testkörper	Abmessungen (mm)	Plattierungsart	Fehlerbildungen		Sonstiges
			Fehlertyp	ca. Abmessungen, Länge x Tiefe, mm	
TK3	682 x 303 x 148	UP-Band 2-lagig	1 Heißrisse, offen, 2 Heißrisse, geschlossen, Schwingrisse unter der Plattierung	56 x 6 56 x 3 40 x 6	Nuten, Bohrung
IK1	900 x 760 x 150	Handplattierung 2-lagig	4 ISpRK Felder	50/50 x 3 - 6	Nuten, Bohrungen
UPR1 UPR2	560 x 290 x 150	UP-Band 1-lagig	Unterplattierungsrisse	8 x 2,5 (max. rd. 15 x 4)	---
UPR1'	560 x 200 x 150	UP-Band 1-lagig	---	---	Nuten, Bohrung
SF1	900 x 800 x 150	UP-Band 2-lagig	3 Bindefehler, 2 Schlackenzeilen, Pore, Porennest, Porenfeld	35 - 40/3,5 67 - 77/3,5 Ø rd. 2	Bohrungen

Tabelle 1: Testkörper mit natürlichen bzw. quasinatürlichen Fehlerbildungen

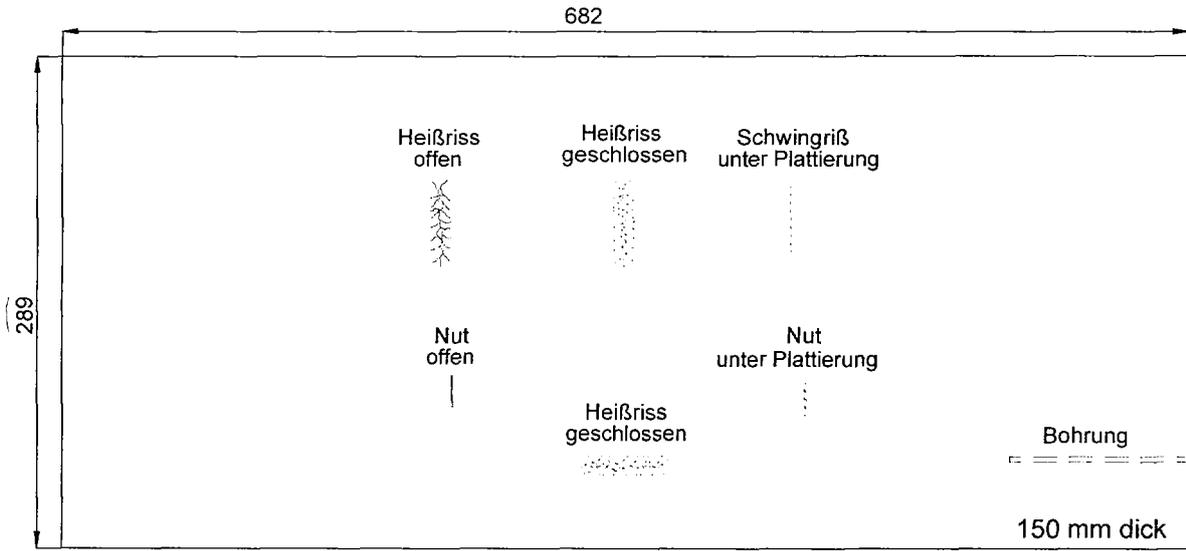


Bild 2: Testkörper TK3

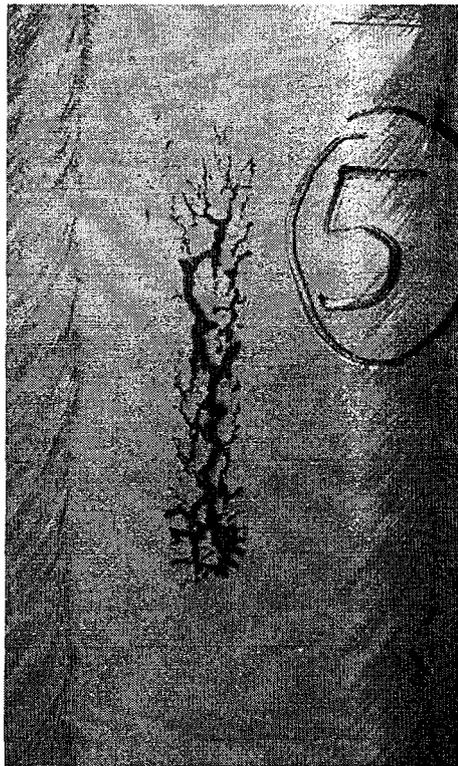


Bild 3: TK3, Heißriss

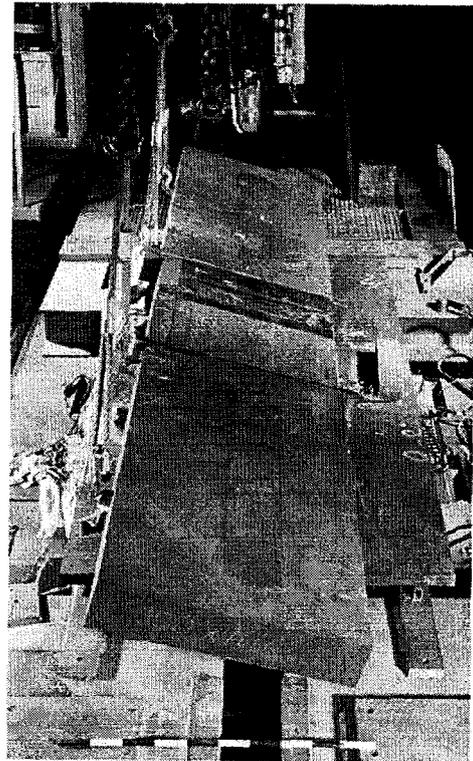


Bild 4: IK1 mit angeschweißten Biegeenden

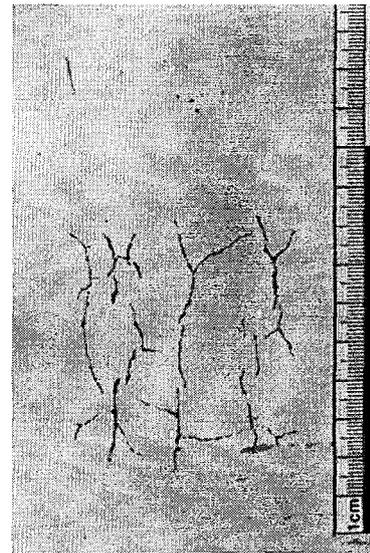
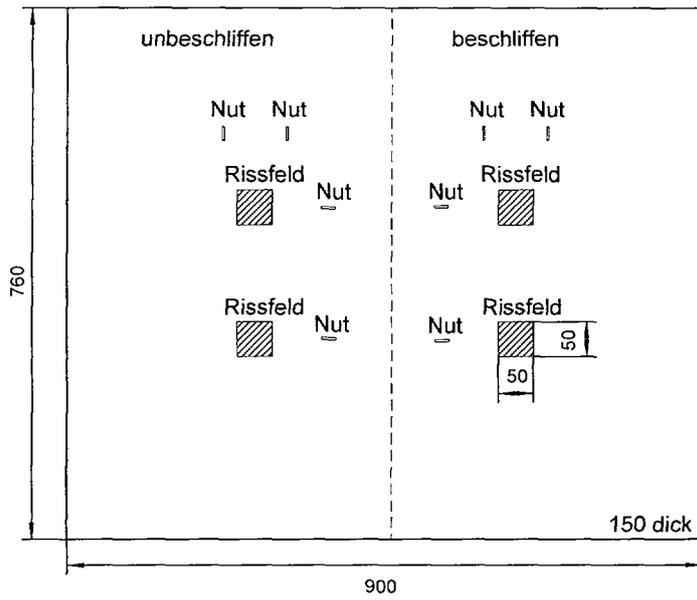


Bild 5: Testkörper IK1

Bild 6: ISpRK-Feld

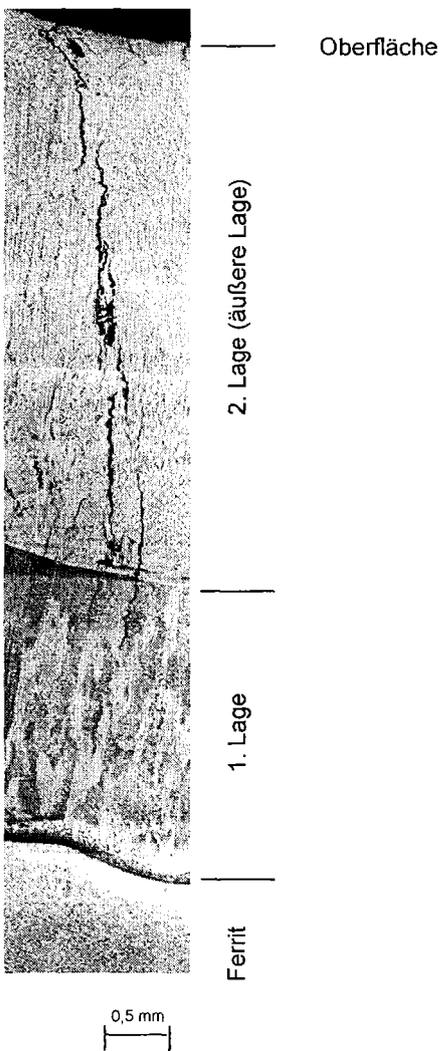


Bild 7: TK1,
Riss in der äußeren Lage

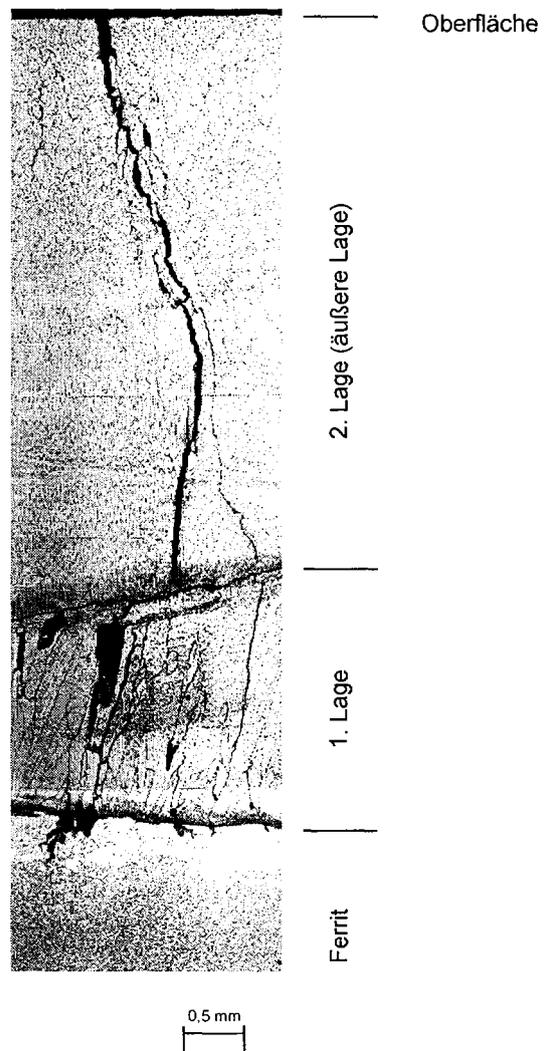


Bild 8: TK1,
Riss in beiden Lagen

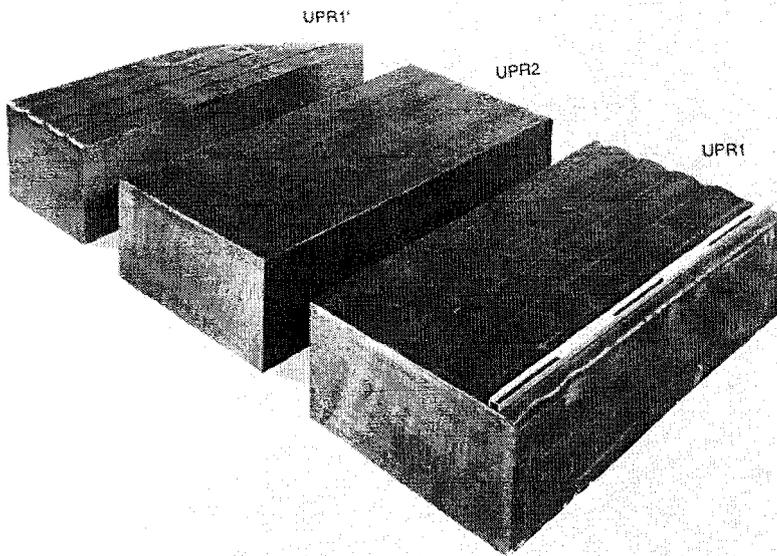


Bild 9: Testkörper UPR1, UPR2 und UPR1'

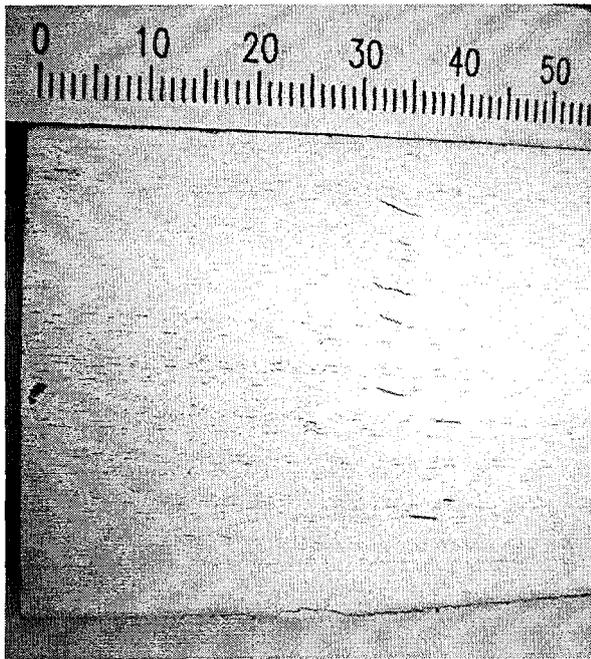


Bild 10: UPR, MP-Prüfung nach Abarbeiten der Plattierung

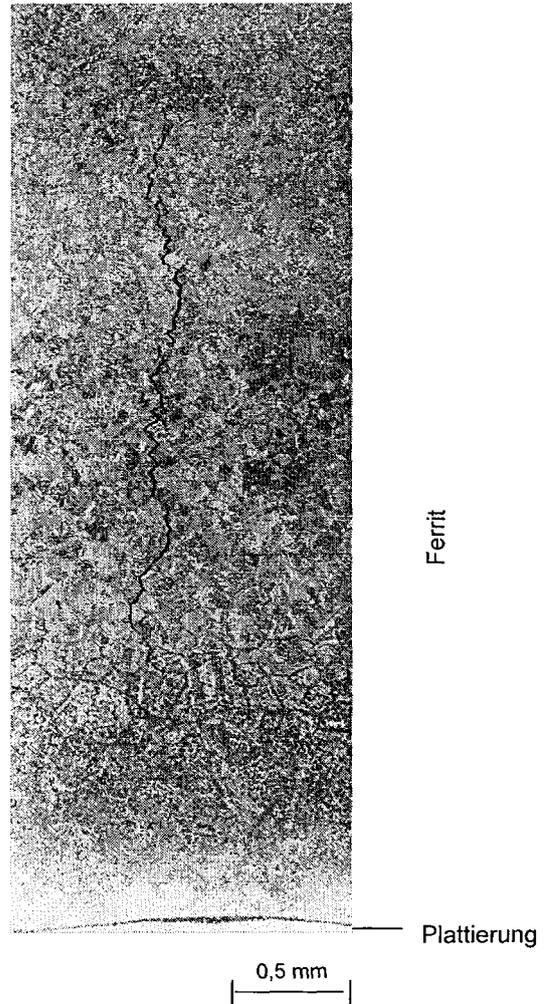


Bild 11: UPR, metallografischer Schliff

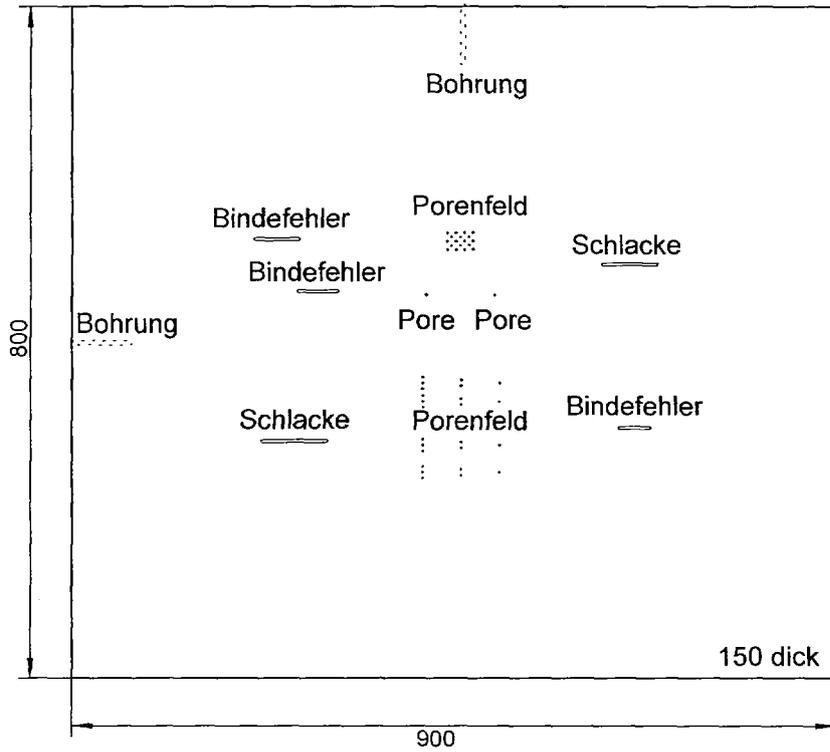


Bild 12: Testkörper SF1

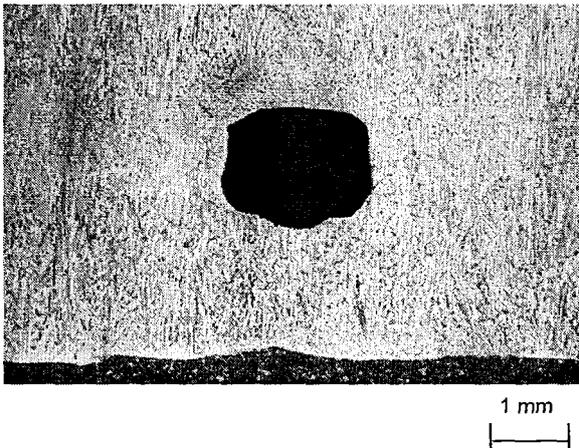


Bild 13: SF1, Pore

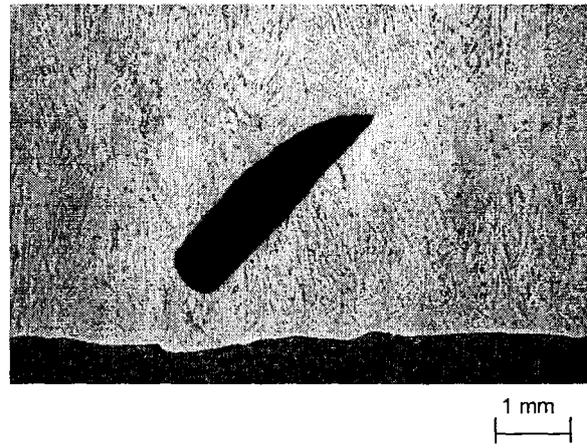


Bild 14: SF1, Bindefehler

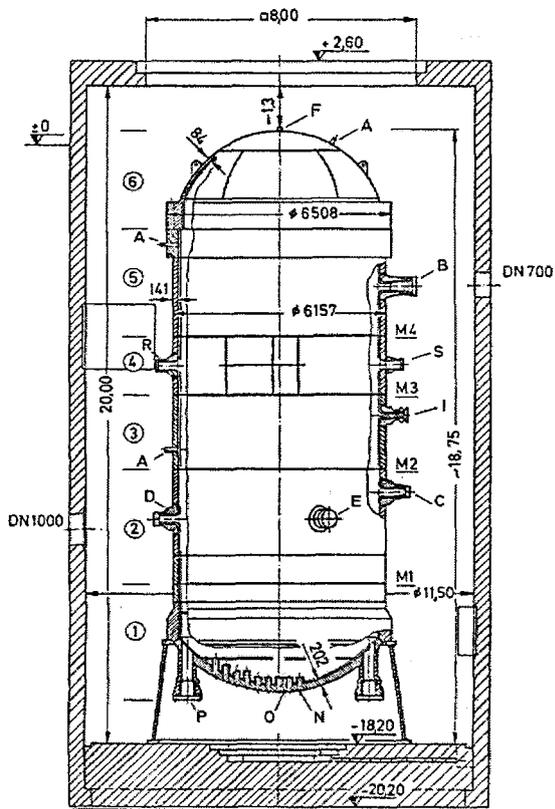


Bild 15: MPA-Großbehälter

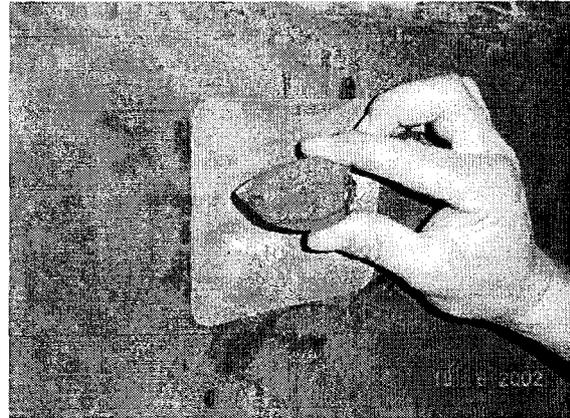


Bild 16: Erodiermulde und Implantat (ISpRK)

Fehlertyp	ca. Abmessungen mm (Länge x Tiefenerstreckung)	Tiefenlage mm
Unterplattierungsrisse (2 Bereiche)	10 - 15 x 2,5 - 4 ¹⁾	7 - 11
Heißriss, offen	60 x 7	0 - 7
Heißriss, geschlossen	60 x 3	4 - 7
Interkristalline Spannungsrisskorrosion (Rissfeld 40 x 90 mm)	90 x 5	0 - 5
Ermüdungsrisse (geschlossen, "erweiterter UPR")	45 x 18	2 - 20
Schlackenzeile	100 x 2	3 - 5

¹⁾ Maximalwerte

Tabelle 2: MPA-Großbehälter, Plattierungsfehler

TK	Fehlertyp	US-Standard 70 SEL2 f33	US-Gruppen- strahler (GSK) 70 SEL 1,5	WS	Bemerkungen
IK1	IGSCC-Feld äußere Lage as welded	keine Anzeige erkennbar	RG +3 dB	Nut 4 mm	US örtlich über Rauschen, im C/B-Bild noch erkennbar WS im C-Bild gut zu erkennen
	IGSCC-Feld beide Lagen as welded	RG +2 dB	RG +0 dB	Nut 3 mm	US praktisch im Rauschen, im C/B-Bild nicht zu erkennen WS im C-Bild gut zu erkennen
	IGSCC-Feld äußere Lage beschiffen	RG -4 dB	RG -1 dB	Nut 1 mm	US im C/B-Bild noch erkennbar WS im C-Bild gut zu erkennen
	IGSCC-Feld beide Lagen beschiffen	RG -2 dB	RG +6 dB	Nut 3 mm	US im C/B-Bild erkennbar (70 SEL 1,5) WS im C-Bild gut zu erkennen
TK3	Heissrisse 1. Lage, l (geschlossen)	keine Anzeige erkennbar	RG -3 dB	Keine Anzeige	US- Anzeige im C/B-Bild noch erkennbar (GSK)
	Heissrisse 1. Lage, q (geschlossen)	keine Anzeige erkennbar	RG +1 dB	Ligament 7 mm	US- Anzeige im C/B-Bild noch erkennbar (GSK) WS-Anzeige im C-Bild gut erkennbar, aber auch örtl. Störungen in ähnlicher Höhe
	Heissrisse beide Lage, l (offen)	keine Anzeige erkennbar	RG -1 dB	Nut 3 mm	US- Anz. im C/B-Bild erkennbar WS-Anzeige im C-Bild gut erkennbar, verdeckte Fehler unterdrückt (+)
	Schwingriss 40x6, l (erweit. UPR)	RG +19 dB	RG +19 dB	Anzeige vorhanden	US- Anzeige im C/B-Bild deutlich erkennbar WS-Anzeige im C-Bild gut erkennbar, aber auch örtl. Störungen in ähnlicher Höhe
UPR1 UPR2	natürliche UPR	max.RG +10 dB	max. RG +11 dB	Anzeigen vorhanden	US-Anzeigen im C/B-Bild deutlich erkennbar, WS-Anzeige im C-Bild erkennbar, aber auch örtl. Störungen in ähnlicher Höhe
SF1	Bindefehler 50x3,5 30°	RG +6 dB	RG +13 dB	Keine Anzeige	US-Anzeige im C/B-Bild deutlich erkennbar
	Bindefehler 45x3,5 30°	RG +6 dB	RG +10 dB	Keine Anzeige	US-Anzeige im C/B-Bild deutlich erkennbar
	Bindefehler 35x3,5 30°	RG + 6 dB	RG +9 dB	Keine Anzeige	US-Anzeige im C/B-Bild deutlich erkennbar
	Schlackenzeile 67x3,5	RG -6 dB	RG -1 dB	Keine Anzeige	US-Anzeige im C/B-Bild praktisch nicht erkennbar
	Schlackenzeile 77x3,5	RG -4 dB	RG -2 dB	Keine Anzeige	US-Anzeige im C/B-Bild praktisch nicht erkennbar
	Porennest 30x20, 1.Lage	keine Anzeige erkennbar	keine Anzeige erkennbar	Keine Anzeige	Keine Anzeige erkennbar
	Porenanhäufung 90x120, 1.Lage	RG -6 dB	RG +1 dB	Keine Anzeige	US-Anzeige im C/B-Bild praktisch nicht erkennbar

US: RG = Nut 3 mm -6 dB (KTA)

WS (offene Fehler): RG = Nut 2 mm

WS (verdeckte Fehler): RG = Ligament 4 mm

Tabelle 3: US- und WS-Prüfungen an Plattierungsfehlern in den verschiedenen Testkörpern, Prüfung von der plattierten Seite aus

TK	Fehlertyp	45 ET1	45 SET1	GSK1,5 (max)	Bemerkungen
IK1	IGSCC-Feld äußere Lage as welded	RG -13 dB	RG +6dB	keine Anzeige erkennbar	US im Rauschen, im C/B-Bild nicht zu erkennen
	IGSCC-Feld äußere Lage as welded	RG -1 dB	RG +7 dB	RG +5 dB	US im Rauschen, im C/B-Bild praktisch nicht zu erkennen
	IGSCC-Feld äußere Lage beschiffen	RG -7 dB	keine Anzeige erkennbar	keine Anzeige erkennbar	US im Rauschen, im C/B-Bild nicht zu erkennen
	IGSCC-Feld äußere Lage beschiffen	RG -6 dB	RG -1 dB	RG -1 dB	US- Anzeige im C/B-Bild noch zu erkennen (GSK)
TK3	Heissrisse 1. Lage, l (geschlossen)	RG +1 dB	RG +5 dB	RG -4 dB	US- Anzeige im C/B-Bild erkennbar
	Heissrisse 1. Lage, q (geschlossen)	RG +1 dB	RG +6 dB	RG -4 dB	US- Anzeige im C/B-Bild noch erkennbar
	Heissrisse beide Lage, l (offen)	RG -3 dB	RG +2 dB	RG -7 dB	US- Anzeige im C/B-Bild kaum erkennbar
	Schwingriss 40x6, l (erweit. UPR)	RG +13 dB	RG +16 dB	RG +13 dB	US- Anzeige im C/B-Bild deutlich erkennbar
UPR1 UPR2	natürliche UPR	max. RG -2 dB	max. RG +5 dB	max. RG +1 dB	US-Anzeigen im C/B-Bild erkennbar
SF1	Bindefehler 50x3,5 30°	RG -6 dB	RG +2 dB	RG +1 dB	US-Anzeige im C/B-Bild noch erkennbar (45 SET1)
	Bindefehler 45x3,5 30°	RG -4 dB	RG +2 dB	RG -1 dB	US-Anzeige im C/B-Bild noch erkennbar (45 SET1)
	Bindefehler 35x3,5 30°	RG -8 dB	RG +1 dB	keine Anzeige erkennbar	US-Anzeige im C/B-Bild noch erkennbar (45 SET1)
	Schlackenzeile 67X3,5	RG -3 dB	RG +3 dB	RG -5 dB	US-Anzeige im C/B-Bild erkennbar (45 SET1)
	Schlackenzeile 77X3,5	RG -3 dB	RG +5 dB	RG -5 dB	US-Anzeige im C/B-Bild erkennbar (45 SET1)
	Porennest 30x20, 1.Lage	keine Anzeige erkennbar	keine Anzeige erkennbar	keine Anzeige erkennbar	US-Anzeige im C/B-Bild nicht erkennbar
	Porenanhäufung 90x120, 1.Lage	keine Anzeige erkennbar	keine Anzeige erkennbar	keine Anzeige erkennbar	US-Anzeige im C/B-Bild nicht erkennbar

RG = Nut 3 mm -6 dB (KTA)

Tabelle 4: US-Prüfungen an Plattierungsfehlern in den verschiedenen Testkörpern,
Prüfung von der unplattierten Seite aus

Testkörper	Plattierung	Fehler	Lage	Prüffunktion				
				Innenprüfung			Außenprüfung	
				70 SEL2 f33	70 SEL 1,5 (GSK)	WS HF-Sonde	45 ET1	45 SET1
IK1	Hand, 2-lagig, beschliffen	Rissfeld offen, 5 mm tief	(l +) q	RG -4 dB	RG +3 dB	Nut 3 mm	RG -6 dB	RG -1 dB
		Rissfeld offen, 3 mm tief	(l +) q	RG -4 dB	RG -1 dB	Nut 1 mm	kein Nachweis	kein Nachweis
		Nut 20 x 3 mm, offen	q	RG -1 dB	RG ±0 dB	Nut 4 mm	RG -5 dB	RG -1 dB
TK3	UP-Band, 2-lagig, unbearbeitet	Heißriss 56 x 6 mm, offen	l	kein Nachweis	RG -1 dB	Nut 3 mm	RG -3 dB	RG +2 dB
		Nut 20 x 3 mm, offen	l	kein Nachweis	RG -2 dB	Nut 3 mm	RG ±0 dB	RG +4 dB
		Schwingriss unter der Plattierung, 40 x 6 mm	l	RG +16 dB	RG +13 dB	erkennbar	RG +10 dB	RG +16 dB
		Nut unter der Plattierung, 20 x 3 mm	l	RG +16 dB	RG +8 dB	erkennbar	RG +4 dB	RG +7 dB
UPR1	UP-Band, 1-lagig, unbearbeitet	UPR-Felder max. 15 x 4 mm	q	max. RG +9 dB	max. RG +11 dB	Anzeigen vorhanden	max. RG -2 dB	max. RG +6 dB
UPR1'		Nut unter der Plattierung, 20 x 3,5 mm	q	RG +4 dB	RG +3 dB	keine Angabe	keine Angabe	keine Angabe

RG = Nut 3 mm -6 dB (KTA)

Tabelle 5: Ultraschall- und Wirbelstromprüfungen an Nuten und natürlichen Plattierungsfehlern, gleiche Prüffunktionen