

Inhalt:

- 1 Einleitung
 - 2 Zweck des Merkblatts
 - 3 Geltungsbereich
 - 4 Stand der Technik
 - 4.1 Löttrissigkeit
 - 4.2 Poren, Lunker, Hohlräume
 - 4.3 Risse
 - 4.4 Einschlüsse
 - 4.5 Schweißspritzer
 - 5 Einteilung und Lagebeschreibung von Unregelmäßigkeiten
 - 6 Auftreten und Auswirkung von Unregelmäßigkeiten
 - 7 Formelzeichen, Abkürzungen
 - 8 Schrifttum
- Anhang A Einteilung von Unregelmäßigkeiten auf Basis
DIN EN ISO 6520-2
- Anhang B Bildkatalog möglicher Unregelmäßigkeiten

1 Einleitung

Die Inhalte dieses Merkblatts stützen sich in erster Linie auf Erkenntnisse, die im Zusammenhang mit Anwendungen im Bereich Widerstandsschweißen des Fahrzeug-Karosseriebaus gewonnen wurden.

Dabei ist zu berücksichtigen, dass aus Unregelmäßigkeiten an Schweißpunkten nicht auf die Gebrauchseigenschaften des Endprodukts geschlossen werden darf.

Zur Sicherstellung der Gebrauchseigenschaften dienen im Allgemeinen zerstörungsfreie und zerstörende Prüfungen sowie Erprobungen an der Baugruppe oder dem Produkt. Die Beschreibung von Unregelmäßigkeiten einzelner Widerstandspunktschweißverbindungen dient dagegen vorrangig der Beschreibung der Fertigungsausführung.

2 Zweck des Merkblatts

In diesem Merkblatt wird der Erkenntnisstand über mögliche Unregelmäßigkeiten beim Widerstandspunktschweißen und deren Ursachen beschrieben. Es ist eine Hilfestellung zur Bestimmung der Arten von Unregelmäßigkeiten.

Bei Auftreten von Unregelmäßigkeiten dient dieses Merkblatt dazu, die äußeren und inneren Merkmale einzelner Schweißpunkte detailliert zu beschreiben und gibt Inhaltspunkte sowohl für Ursachen als auch Auswirkungen von Unregelmäßigkeiten.

3 Geltungsbereich

Für dieses Merkblatt gelten folgende Anwendungsgrenzen:

Werkstoffe: Alle Stahlfeinbleche mit oder ohne Oberflächenveredelung,

Blechkicken: 0,5 bis 3,0 mm Einzelbleche, 2- und 3-Blechverbindungen bis zu einer Gesamtdicke von 6,0 mm.

4 Stand der Technik

Zahlreiche experimentelle und theoretische Untersuchungen haben gezeigt, dass die Festigkeitseigenschaften von Widerstandspunktschweißverbindungen durch Unregelmäßigkeiten im Vergleich zu Verbindungen anderer Schweißverfahren weniger beeinträchtigt werden [2.1...2.7]. Unregelmäßigkeiten lassen sich im Allgemeinen nicht gezielt und reproduzierbar erzeugen. Daher werden wissenschaftliche Untersuchungen häufig an künstlich oder durch Vorschädigung erzeugten Unregelmäßigkeiten durchgeführt. Dazu ist grundsätzlich anzumerken, dass solche Untersuchungen stets nur eine Annäherung an reale Verhältnisse sein können. Die im Merkblatt genannten Untersuchungen wurden an spezifischen Werkstoff- und Beanspruchungskombinationen durchgeführt. Die Tragbarkeit der im Folgenden dargestellten Forschungsergebnisse ist daher für den jeweiligen Anwendungsfall gesondert zu prüfen.

Bei konstantem Linsen- bzw. Punktdurchmesser ist für die Beanspruchbarkeit einer Widerstandspunktschweißverbindung die Randzone des Schweißpunktes maßgebend. Deshalb wird bei der Beschreibung von Unregelmäßigkeiten in diesem Merkblatt neben der Art und Größe auch deren Lage berücksichtigt, siehe Abschnitt 5 und 6. Bei zyklischer Beanspruchung ist die Kerbwirkung am Übergang Fügeebene/Linse (bzw. Haftzone) von entscheidender Bedeutung. Unregelmäßigkeiten im Zentrum der Schweißlinse sind für die Festigkeitseigenschaften dagegen von untergeordneter Bedeutung [2.1]. Theoretische Betrachtungen mit Finite-Elemente-Berechnungen haben bestätigt, dass sich die Spannungen aus Betriebslasten an Schweißpunkten auf den Randbereich konzentrieren [2.3].

4.1 Löttrissigkeit

Beim Widerstandspunktschweißen verzinkter Stähle können im Bereich der Elektrodeindrücke oder an deren Rändern oberflächenoffene Risse auftreten. Der Mechanismus dieser Rissbildung wird als Löttrissigkeit bezeichnet und in Merkblatt DVS 2935-2 hinreichend beschrieben, Bild 1. Die Neigung zur Löttrissbildung ist beim Punktschweißen von Mehrphasenstählen ausgeprägter als bei Tiefziehstählen oder mikrolegierten Stahlfeinblechen.

Diese Veröffentlichung wurde von einer Gruppe erfahrener Fachleute in ehrenamtlicher Gemeinschaftsarbeit erstellt und wird als eine wichtige Erkenntnisquelle zur Beachtung empfohlen. Der Anwender muss jeweils prüfen, wie weit der Inhalt auf seinen speziellen Fall anwendbar und ob die ihm vorliegende Fassung noch gültig ist. Eine Haftung des DVS und derjenigen, die an der Ausarbeitung beteiligt waren, ist ausgeschlossen.

DVS, Ausschuss für Technik, Arbeitsgruppe „Widerstandsschweißen“

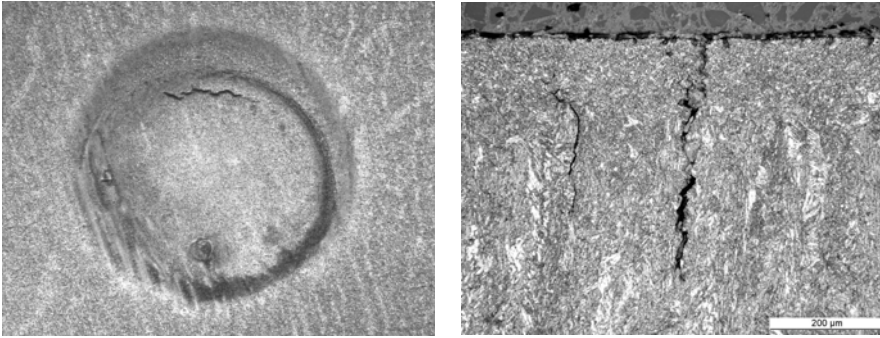


Bild 1.
Beispiel für Löttrisse an der Elektroden-
rodenseite einer Widerstandspunkt-
schweißverbindung [14, 21]

Mit dem zunehmenden Einsatz von hochfesten Stählen wurden daher begleitende Untersuchungen zum Einfluss solcher Löttrisse auf die Eigenschaften von Punktschweißverbindungen durchgeführt. So wurde z. B. in [2.14; 1.2] gezeigt, dass Löttrisse in Elektroden-eindrücken keine erkennbaren Auswirkungen auf die Schwingfestigkeit der Verbindungen haben. Der Verlauf der Anrisse durch die Schwingbeanspruchung wird durch solche in der Verbindung vorliegenden Unregelmäßigkeiten nicht beeinflusst.

Im Rahmen der Untersuchungen in [2.17; 2.2] wurde erneut bestätigt, dass sich Löttrisse in Elektroden-Eindrücken nicht negativ auf das Tragverhalten von Punktschweißverbindungen auswirken. Unter Berücksichtigung der Spannungsverteilung in einem Schweißpunkt sind Löttrisse oberhalb der Schweißlinse – unabhängig von der Belastungsrichtung – im Hinblick auf das Schweißpunktversagen unkritisch.

4.2 Poren, Lunker, Hohlräume

Beim Widerstandspunktschweißen von Stahlfeinblechen mit und ohne metallische Überzüge können – abhängig von der Blechdickenkombination und den vorliegenden Schweißbedingungen – Poren bzw. begleitende, innere Lunker und Erstarrungsrisse auftreten. Diese Art von Unregelmäßigkeit entsteht teilweise bei der Erstarrung des Schweißgutes und kann während des Schweißens durch erhöhte Flächenpressung in ihrer Ausprägung reduziert werden (höhere Elektrodenkräfte bei größeren Blechdicken), siehe auch [2.15].

Durch Untersuchungen an künstlich mit Poren versehenen Widerstandspunktschweißverbindungen in [2.15] wurde gezeigt, dass mittige Poren und Porennester in Abhängigkeit von der Beanspruchungsart bis zu einer Größenordnung von 50% des Linsendurchmessers (entspricht etwa 25% der Verbindungsfäche in der Fügeebene) keinen Einfluss auf die quasistatischen und zyklischen Eigenschaften der Verbindung nehmen.

In [2.16] wurde die Unschädlichkeit mittig angeordneter Unregelmäßigkeiten erneut bestätigt, diesmal jedoch auch unter schlagdynamischer Beanspruchung im Hochgeschwindigkeits-Scherzugversuch an Einpunkt-Proben. In Ergänzung dazu wurden an Proben mit durch Schwingbelastung künstlich erzeugten Anrissen im WEZ-Bereich Einbußen in der Maximalkraft und in der absorbierten Energie festgestellt.

In [2.17; 2.2] wurden auf unterschiedlichen Wegen schweißbedingte Unregelmäßigkeiten – wie Hohlräume in der Schweißlinse, Schweißspritzer sowie Löttrisse in Punktschweißverbindungen – gezielt eingebracht und im Anschluss daran auf deren Auswirkungen auf die mechanisch-technologischen Eigenschaften untersucht, zum Teil auch in Kombination miteinander. Es konnte festgestellt werden, dass Hohlräume, sofern sie außermittig angeordnet sind, bereits ab einer Größe von ca. 20% des Schweißpunktdurchmessers das Tragverhalten negativ beeinflussen können. Die Höhe der Beeinflussung ist hierbei sowohl von der Lage des Hohlraums als auch von der Belastungsart abhängig.

4.3 Risse

Im Rahmen der Untersuchungen in [2.17; 2.2] konnte festgestellt werden, dass das Tragverhalten einer unter zyklischer Belastung vorgeschädigten Punktschweißverbindung (Tiefe der Schwinganrisse in der WEZ bis 50% der Einzelblechdicke) unabhängig von der Belastungsrichtung beeinflusst wird.

In [2.9] wurden Forschungsergebnisse zur Schwingfestigkeit von Widerstandspunktschweißverbindungen aus hochfesten Mehrphasenstählen unter Berücksichtigung fertigungsspezifischer Einflüsse veröffentlicht. Für die Untersuchungen wurden darin zwei Arten von Schweißunregelmäßigkeiten durch Wahl extremer Schweißparameter (Löttrisse im Elektroden-eindruck und in der WEZ) sowie zwei weitere Arten von simulierten Unregelmäßigkeiten (erodierte Spalte und gesägte Kerben in der Fügeebene) in Punktschweißverbindungen eingebracht. Diese wurden anschließend im Schwingversuch an Scherzugproben analysiert und ihr Einfluss auf die Ermüdungsfestigkeit im Zugschwellbereich untersucht. Anhand der Bruchschwingspielzahlen, der Verläufe der normierten Steifigkeit sowie anhand der Lastlinien in den Schwingbruchflächen konnten in [2.9] Aussagen zum Verlauf und zum Entstehungsort des Schwingrisses in Relation zu den untersuchten Unregelmäßigkeiten getroffen werden. Durchgängig wurde an allen Proben festgestellt, dass der Entstehungsort des Schwingrisses aufgrund der dort grundsätzlich vorliegenden Kerbwirkung immer in der Fügeebene liegt. **Ein Einfluss der Unregelmäßigkeiten auf die Ermüdungsfestigkeit konnte anhand der beschriebenen Untersuchungsergebnisse jedoch ausgeschlossen werden.** Weder trat eine signifikante Verringerung der Bruchschwingspielzahlen ein, noch veränderte sich der Entstehungsort des Schwingrisses oder sein Verlauf während des Schwingversuches. Die Untersuchungen wurden durch die Variation von Risslängen in Blechbreiten- und in Blechdickenrichtung (bis 50% der Blechdicke) quantifiziert. Diese, im Labor erzielten Erkenntnisse lassen sich nach [2.9] unter gewissen Bedingungen auch auf andere Belastungsarten und Probengeometrien übertragen, da die Kerbwirkung an Widerstandspunktschweißverbindungen i.d.R. sehr ähnlich ist. Nur bei Unregelmäßigkeiten, welche im üblichen Pfad des Schwingrisses lagen, konnten nach der Prüfung Anteile der Imperfektion in der Schwingbruchfläche festgestellt werden.

Untersuchungen an einem hochfesten, austenitischen Stahl in [2.4] zeigen, dass spritzerfrei erzeugte Oberflächenrisse im Zentrum, im Übergangsbereich sowie im Randbereich der Schweißlinse keinen negativen Einfluss auf die Schwingfestigkeit haben. Bei einer Einzelblechdicke von 1,7 mm konnte dies für Risttiefen bis 0,8 mm (ca. 50% der Blechdicke) nachgewiesen werden.

4.4 Einschlüsse

In [2.14; 1.2] konnte gezeigt werden, dass feindisperse Ausscheidungen von Al-Oxiden am Schweißlinsenrand im Falle Al-reicher Stahlgüten keine Auswirkungen auf die Zeitfestigkeit unter zyklischer Beanspruchung der Verbindungen haben. Der Verlauf der Anrisse durch die Schwingbeanspruchung wird durch solche Einschlüsse nicht beeinflusst.

4.5 Schweißspritzer

In [2.17; 2.2] wurde der Einfluss von Schweißspritzern (Spritzer in der Fügeebene) auf das Tragverhalten von Punktschweißverbindungen untersucht. Eine Beeinflussung durch Schweißspritzer konnte nur in den Fällen beobachtet werden, in denen der Materialaustritt zu einem deutlich verminderten Schweißpunktdurchmesser und/oder einem tieferen Elektroden-eindruck führte.