

Gruppe

MIKROSTRUKTUR, EIGENSPANNUNGEN

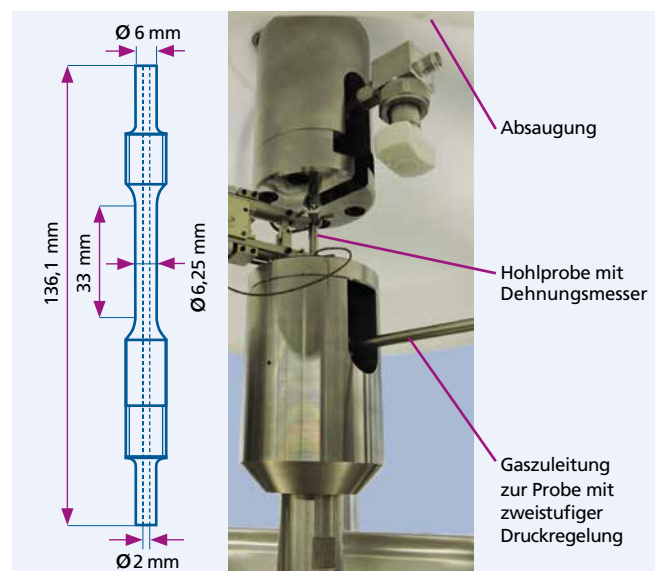
Dr. Johannes Preußner | Telefon +49 761 5142-101 | johannes.preussner@iwm.fraunhofer.de

BETRIEBSNAHE WERKSTOFFQUALIFIZIERUNG VON STAHL BEI DRUCKWASSERSTOFF

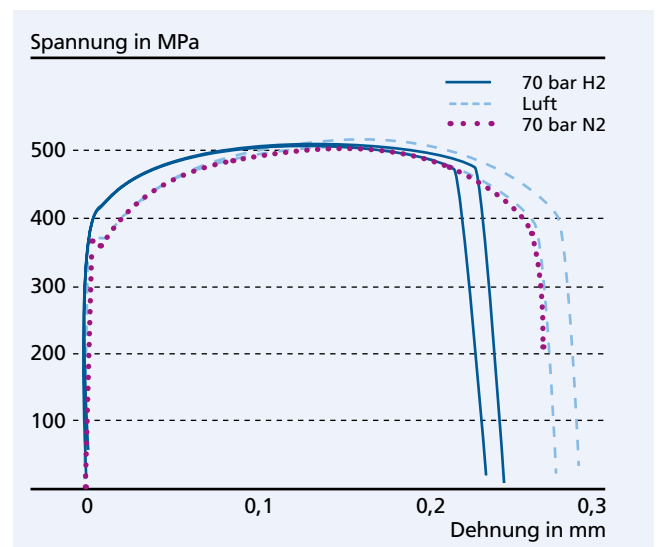
Die Wasserstoffversprödung metallischer Werkstoffe, hervorgerufen durch atomaren Wasserstoff im Gefüge, führt zu einem spröden, meist unerwarteten und gefährlichen Werkstoffversagen. Wasserstoffversprödung betrifft nicht nur hochfeste Stähle, sondern ist auch ein zentrales Thema der Energiewende: Überschussstrom der erneuerbaren Energien soll zur Wasserstoffelektrolyse und anschließenden Speicherung für die spätere Rückverstromung verwendet werden. Die Werkstoffe der Gasinfrastruktur, wie Rohrleitungen, sind dabei gasförmigem Wasserstoff ausgesetzt. Das Fraunhofer IWM ist an dem BMBF-Forschungsprojekt Hypos-PIMS (Pipeline Integrity Management System) des Programms Zwanzig20 beteiligt, welches Bestandsrohrfernleitungen für den Transport von Wasserstoff qualifizieren soll. Das Ziel ist, die zulässigen Betriebsbedingungen, wie Rohrinneindruck und mögliche Wasserstoffzumischung im Erdgasnetz, für einen sicheren und zuverlässigen Wasserstofftransport zu finden. Dafür wurden Bestandswerkstoffe untersucht und darauf aufbauend ein Bewertungstool für die Integrität der Rohrleitungen entwickelt. Für die Werkstoffqualifizierung unter betriebsnahen Bedingungen stehen mit der Autoklaventechnik und der Hohlprobentechnik zwei anwendungsrelevante Versuchstechniken zur Verfügung.

Werkstoffscreening mit Hohlprobentechnik

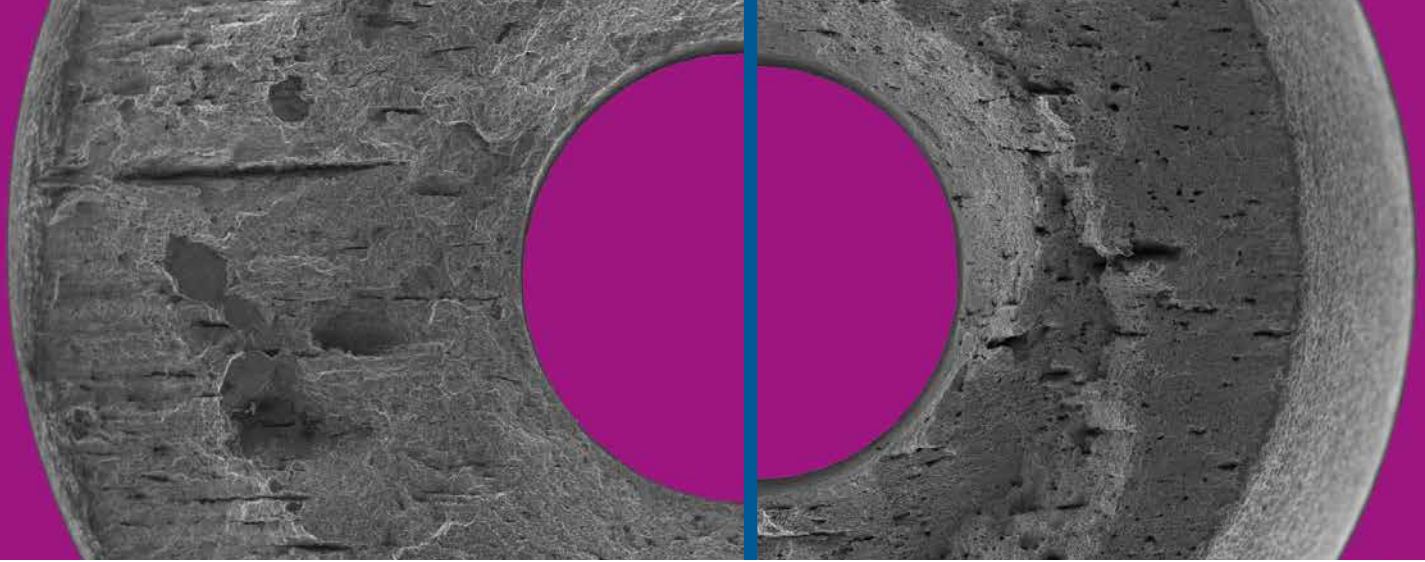
Die Hohlprobentechnik verwendet zylindrische Proben mit Langlochbohrung. Die Probengeometrie ist in Abbildung 1 links dargestellt. Von innen werden die Proben mit dem Versuchsgas gefüllt. Häufig sind dies Wasserstoff, Stickstoff und Methan, wobei auch beliebige Gasgemische möglich sind. Dazu werden die Proben erst mit dem Versuchsgas durchgespült, um Verunreinigungen zu entfernen, und anschließend mit Drücken bis maximal 200 bar befüllt. Die Druckregelung erfolgt für eine hohe Genauigkeit zweistufig mit mechani-



1 Geometrie einer Hohlprobe (links); Hohlprobenprüfstand (rechts).



2 Spannungs-Dehnungs-Kurven für Zugversuche an Hohlproben mit der Abzugsrate von 3,5 µm/min und drei verschiedenen Gasinnenfüllungen.



3 *Bruchflächenhälften zweier Hohlproben, geprüft mit 70 bar Wasserstoff-Innendruck (links) und an Luft (rechts), im Rasterelektronenmikroskop.*

schen Druckminderern, welche passend zum ausgewählten Druckregelbereich gewählt werden. Eine Übersicht über den Aufbau findet sich in Abbildung 1 rechts.

Die Probe ist während des ganzen Versuchs über eine Versorgungsleitung mit einem Gastank verbunden, um in Zugversuchen mit Zunahme des Innenvolumens den Druck in der Probe konstant zu halten. Eine permanente Absaugung der Prüfmaschinenumgebung verhindert die Bildung von Knallgas im Falle eines Probenbruchs. Der Versuchsaufbau erlaubt die Werkstoffqualifizierung in Zugversuchen über die Feindehnungsmessung. Ein Vorteil ist der einfache Aufbau, der kostengünstige Werkstoffscreenings erlaubt, um vielversprechende Werkstoffe für eine nachfolgende umfassendere Qualifizierung zu identifizieren. Die Proben können auch einfach temperiert werden: Heizung durch Induktion, Kühlung in der Klimakammer oder Tests in Flüssigstickstoff sind möglich. Durch den gewählten Aufbau ist eine kostengünstige Werkstoffqualifizierung unter einsatzrelevanten Betriebsbedingungen möglich.

Bruchdehnung nimmt ab

Es wurden langsame Zugversuche, sogenannte Slow-Strain-Rupture-Tests (SSRT), in Anlehnung an ASTM G 129, durchgeführt. Bei einer Wasserstoffversprödung metallischer Proben nimmt im langsamen Zugversuch die Bruchdehnung gegenüber Proben ohne Wasserstoffversprödung erheblich ab. Die Versuche wurden mit 70 bar Wasserstofffüllung, 70 bar Stickstofffüllung und ohne Füllung bei Umgebungsdruck an Luft durchgeführt. Als Werkstoff wurde StE 360, ein alter Rohrleitungsstahl aus den 1950er Jahren, verwendet, wie er heute noch in vielen Erdgas-Rohrleitungen verbaut ist. Der Stahl ähnelt in der Zusammensetzung einem heutigen Baustahl.

Die Ergebnisse der SSRTs zeigen eine deutlich reduzierte Bruchdehnung für wasserstoffgefüllte Proben im Vergleich zu denen mit Stickstofffüllung oder an Luft (siehe Abbildung 2). Das Verformungsverhalten bis zur Zugfestigkeit ist nicht verändert. Eine verbreitete Vorstellung ist, dass nur atomarer Wasserstoff vom Werkstoff aufgenommen wird und zur Schädigung führt. Die Ergebnisse zeigen, dass der Wasserstoff – obwohl er zunächst als gasförmiges Molekül auf der Innenseite der Probe anliegt – absorbiert wird und seine gefährliche Wirkung entfaltet.

Wasserstoffanreicherung durch Zugspannungen

Weiterhin besagt die Theorie, dass eine Wasserstoffanreicherung in Zonen hoher Zugspannung und plastischer Verformung erfolgt und dort eine besondere Gefährdungslage existiert. In Zugversuchen ist daher theoretisch erst ab der Einschnürung mit einem starken Effekt der Wasserstoffversprödung zu rechnen. Dies wird durch die Ergebnisse bestätigt, da erst mit beginnender plastischer Deformation Abweichungen der Spannungs-Dehnungs-Kurven der Proben mit Wasserstoff- und Stickstofffüllung auftreten. Der Wasserstoffeinfluss spiegelt sich auch in einer veränderten Bruchmorphologie und Brucheinschnürung wider, wie Abbildung 3 zeigt. Für die Verwendung bestehender Erdgasleitungen für den Wasserstofftransport bedeuten die Ergebnisse, dass die Wasserstoffversprödung beim Transport wasserstoffreicher Gase berücksichtigt werden muss.

Dr. Ken Wackermann, Dr. Wulf Pfeiffer