



水素脆化を“測る”

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
物質科学研究センター；博士研究員

柴山由樹

1. はじめに

この度はまてりあ“はばたく”の執筆の機会をいただき、ありがとうございます。私は2022年に、東北大学大学院工学研究科にて博士(工学)の学位を取得しました。現在は国立研究開発法人日本原子力研究開発機構に所属し、中性子応力測定装置を軸に、水素脆化に関わる研究開発を行っています。水素脆化は、金属材料中に侵入した水素を原因とした力学特性の劣化現象です。ここでは水素脆化を“測る”ことをキーワードに、私の足跡を紹介いたします。

2. 水素脆化を“測る”

筆者は学生時代、東北大学金属材料研究所の秋山研究室において、塑性加工を施した鉄鋼材料の水素脆化について、特にその割れ感受性を研究しました。

輸送機器における鉄鋼材料の高強度化は、輸送効率の向上および材料使用量の低減による環境負荷の低減が期待されます。しかしながら、高強度鉄鋼材料は一般的に水素脆化しやすく、早期破断のリスクが実用の障害となることから、その水素脆化の予測・水素脆化の抑制が課題です。特に、塑性加工部材は塑性変形によって水素と相互作用する残留応力と塑性ひずみが材料内部に導入されることから、それらを考慮した新たな予測・抑制手法の開発が求められています。

水素脆化が進行するプロセスは、大きく次の3つに分かれます。

①環境水素や腐食によって生じた水素の一部が材料に侵入する

②材料内部で水素が拡散・集積する

③き裂が生成・伝播して最終的に破断する

材料内部の水素が極めて微量であることや、水素は室温で拡散することから、直接その動きを追う方法はいまだ確立されていません。そこで、水素脆化を“測る”ことが重要になります。水素脆化を測る対象としては、

①水素が侵入する量や経路

②材料内部における水素の拡散・集積挙動

③き裂生成・伝播経路および破断時の応力、塑性ひずみなどの力学パラメータ

が挙げられます。これら種々の測定結果を組み合わせ、水素による割れ感受性が議論されています。

塑性加工の影響を考慮した水素脆化割れ感受性の代表的な測定手法として、U字曲げ加工試験があります。この手法では、板状の鉄鋼材料に対してU字に曲げ加工を施した試験片に一定荷重を与えつつ水素を侵入させ、破断に至らしめます。そして、破断時における荷重(応力)条件と、水素存在量、塑性変形量から、割れ感受性を議論します。つまり試験片内部に導入された残留応力や塑性ひずみの影響に関する理解は限定的でした。そこで、筆者はU字曲げ加工試験片内部の残留応力、塑性ひずみ分布に着目し、水素脆化に及ぼす塑性加工の影響の解明を目指しました。初めに、破断した試験片の破面性状を観察・分類し、き裂形成の評価に取り組みました。このアプローチにより、一部の試験片において、従来想定されてきたものとは異なる破壊プロセスが示唆されることを見出しました。そこで、このプロセスを説明するべく、試験片内部の残留応力および塑性ひずみ分布の定量を数値解析と測定の両面から実施しました。数値解析は当初研究室にほとんど知見が無かったところ、鳥取大学の松野崇教授のおかげで有限要素解析法による再現に成功しました。測定に関しては、大規模放射光施設SPring-8の高輝度X線を利用することで試験片内部の応力・塑性ひずみ分布を実測し、その結果を数値解析の結果と比較・検証することができました。以上より、塑性加工した鉄鋼材料の水素脆性破壊プロセスに関する報告を行うことができ⁽¹⁾、その後の研究につなげることができました。今にして思うと、当時(そして今も)の秋山研究室はいつも多くの研究者が入り出りしており、その中で自由に研究させていただいたことは何にも代え難い経験でした。

現在は、茨城県東海村に移り、菖蒲敬久氏と諸岡聡氏の下で中性子を用いた水素脆化研究に従事しています。今後は、これまでの水素脆化を“測る”技術を利用する立場から反転し、その技術でしか“測れない”水素脆化研究の視点を学んでいく所存です。

3. おわりに

水素脆化を“測る”技術は、水素脆性の研究において不可欠な要素です。これまで多くの測定技術を用いて研究できたのは、ひとえに秋山研究室の皆様を筆頭に、多くの方々のおかげです。秋山英二教授の新しいもの・ことを受容する姿勢は私の研究の根幹をなしています。

最後になりましたが、研究のきっかけをいただいた東北大学金属材料研究所の秋山研究室の皆様、そして現在お世話になっている原子力機構の皆様をはじめ、これまでお世話になった多くの方々にこの場を借りて厚く御礼申し上げます。

文 献

(1) Y. Shibayama, T. Hojo, M. Koyama, H. Saitoh, A. Shiro, R. Yasuda, T. Shobu, T. Matsuno and E. Akiyama: ISIJ Int., **61** (2021), 1322–1329.

(2023年8月29日受理) [doi:10.2320/materia.62.741]
(連絡先: 〒319-1195 茨城県那珂郡東海村大字白方2番地4)