

水素脆化の抑制技術

工学研究院機械知能工学研究系 准教授 薦田 亮介



令和5年1月に工学研究院機械知能工学研究系に准教授として着任いたしました。薦田と申します。金属材料の強度を専門としており、特に水素による材料強度の劣化現象である「水素脆化」に関する研究を行っております。この度は紙面をお借りして自己紹介、研究紹介の機会をいただきましたことに感謝いたします。

自己紹介

私は生まれも育ちも福岡市の生粋の福岡人です。久留米工業高等学校専門学校の機械工学科を卒業した後、九州大学工学部機械航空工学科へ編入学・卒業いたしました。その後、九

研究紹介

州大学大学院工学府水素エネルギーシステム専攻に進学し、修士課程および博士後期課程を修了いたしました。学位取得後の2017年より、九州大学カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所で学術研究員として研究に従事し、2018年から福岡大学工学部で助教をしておりました。今回の九州工業大学への異動に伴って准教授に昇格したばかりの若輩者ですが、教育・研究活動に日々邁進させていただいております。

近年、カーボンニュートラル社会の構築が世界的に進められています。日本では2020年に菅総理(当時)が2050年までのゼロエミッション達成を宣言し、目標達成のため産学官が一丸となって研究・開発等を進めているところです。ゼロエミッションの達成には、出力が不安定である再生可能エネルギーをいかに有

効に活用するかが鍵となり、水素エネルギーの利用が一つの解となります。しかし、水素は材料の強度を劣化させる性質を有します(一般に水素脆化と呼ばれます)。現在、水素機器には水素脆化を起こさない、もしくは起こしづらい材料(一部のオーステナイト系のステンレス鋼やアルミニウム合金)などが主に使用されていますが、それらは一般的な鉄鋼材料と比べ高価で低強度であるという欠点を有します。そのせいで水素機器の価格が高騰し、水素エネルギーの普及拡大の大きな障害となっています。

そこで、耐水素性を有する安価で高強度な新材料の開発や、水素脆化を防止する方法の開発、水素脆化によって強度が低下する材料を安全に使用する方法の確立などに関する研究が活発に行われています。私は主として水素脆化を防止する方法について研究を行ってまいりました。

水素ガス環境中で水素脆化が生じるためには、環境の水素が材料内部に侵入する必要があります。水素ガス分子は体積が大きいいため、材料中に侵入するためには、水素原子に解

離する必要があります。しかし、水素分子は比較的安定であるため、自身で水素原子に解離することはできません。水素分子が金属材料表面に接近すると、金属材料の自由電子が水素分子の半結合性軌道に提供され、水素分子のH-H間の結合力を弱めます。結果として、水素分子は材料表面で水素原子に解離し、水素原子として材料表面に吸着します。その後、材料表面に吸着した水素原子は材料内に拡散していき、最終的に水素脆化を引き起こします。このように、金属材料の表面は水素分子の解離に対して触媒として作用し、その触媒作用がなければ水素が材料内に侵入できず、水素脆化は起きません。つまり、この金属表面の触媒作用を不活性化できれば、水素脆化を抑制することができます。

私は金属表面の触媒作用を不活性化させる方法として、水素ガス中への不純物の添加に着目しております。水素ガス中に水素ガスよりも金属表面との親和性が高いガス不純物(酸素、一酸化炭素、等)を添加すると、それら不純物が優先的に材料表面に吸着します。吸着した不純物は金属

表面の自由電子を引付け局在化させることで、水素ガス分子への電子の供給を妨げます（触媒作用が不活性されます）。その結果、水素分子の水素原子への解離が妨げられ、材料中への水素の侵入が防がれることで、最終的に水素脆化が抑制されます。

この抑制効果を水素機器に活用できれば水素機器で生じる水素脆化をコントロールでき、水素機器の安全性の向上とコスト低減を図ることができます。ガス不純物による水素脆化の抑制効果は水素ガス中に不純物を添加するだけで得られるので、既存の設備や大規模な設備（パイプライン等）で特に有用です。しかし、不純物による抑制効果に関して未解明な部分が残されているのが現状です。そこで実機への応用のために、種々の因子の影響やその詳細なメカニズムの解明に取り組んでまいりました。以下、簡単に得られた結果の一部を紹介させていただきます。

図1に水素ガス環境中での破壊じん性試験によって得られた、水素中への極微量酸素の添加の影響を示します。破壊じん性とは材料のき裂の進展に対する抵抗力であり、構造材

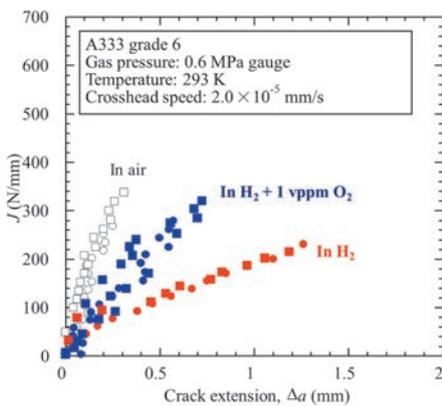


図1 極微量酸素による水素脆化の抑制

料の重要な強度特性の一つです。図1では、曲線が上に位置するほど高い破壊じん性を有すること示しています。水素中の曲線は大気中に比べ顕著に低い位置にあり、水素によって材料の破壊じん性が大幅に低下している、つまり、水素脆化を生じていることがわかります。そこに、1 ppmの酸素を添加すると、水素による破壊じん性の低下が部分的に抑制されていることがわかります。また、図2に試験後の試験片のき裂先端の形状を示します。大気中ではき裂が顕著に鈍化しており、材料が良好な延性を有していることがわかります。一方で水素中ではき裂は鈍化せず、鋭利な形状を保ったまま進展してお

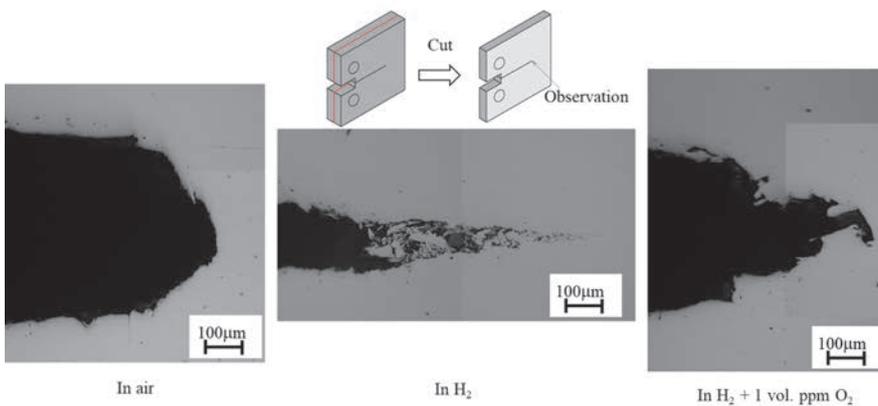


図2 水素中による破壊形態の変化に及ぼす酸素の影響

り、水素によってき裂の進展の形態が変化していることがわかります。1 ppm酸素を加えた水素中ではき裂の形状は大気中と水素中の中間の様相を示しており、このことから酸素が水素の影響を抑制していることがわかります。このように、わずか1 ppmという極微量の酸素でも水素脆化を

抑制することが可能であり、このことは水素ガス中への不純物添加は、水素脆化の抑制に対して高いポテンシャルを有することを如実に示しています。

その他、一酸化炭素やアンモニアによる水素脆化抑制効果、不純物による抑制効果に及ぼすガス圧力の影響、温度の影響、材料強度の影響、材料の組成の影響などに関する研究を破壊じん性試験や疲労き裂進展試験を通して実施しております。

おわりに

私が研究者を志すきっかけは学生時代の指導教員の先生方との出会いでした。研究の面白さや難しさ、研究者としての心構えなど多くのことを教えていただき、私の研究者としての基礎が形作られました。私も同様に、教育・研究を通して少しでも学生にいい影響を与えられるべく全力を尽くしてまいります。