

|              |   |
|--------------|---|
| Title        | 非拡散性水素吸蔵条件下の高強度鋼の疲労に関する基礎的研究  |
| Author(s)    | 中谷, 正憲  |
| Citation     | 大阪大学, 2009, 博士論文  |
| Version Type |   |
| URL          | <a href="https://hdl.handle.net/11094/49523">https://hdl.handle.net/11094/49523</a>   |
| rights       |   |
| Note         | 著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈/a〉</a> をご参照ください。 |

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

|            |   |
|------------|---|
| 氏名         | 中谷正憲  |
| 博士の専攻分野の名称 | 博士(工学)  |
| 学位記番号      | 第22934号                                       |
| 学位授与年月日    | 平成21年3月24日                                    |
| 学位授与の要件    | 学位規則第4条第1項該当<br>工学研究科機械工学専攻                   |
| 学位論文名      | 非拡散性水素吸蔵条件下の高強度鋼の疲労に関する基礎的研究                  |
| 論文審査委員     | (主査)<br>教授 箕島 弘二<br>(副査)<br>教授 久保 司郎 教授 澁谷 陽二 |

## 論文内容の要旨

高強度鋼の強度特性は環境に強く依存し、水素ぜい化を生じることが問題となっている。水素ぜい化は室温で拡散する拡散性水素により生じ、室温では拡散できない非拡散性水素は水素ぜい化に関与しないとされ、組織制御により非拡散性水素のトラップサイトを生成する手法が耐水素ぜい化特性を向上させる方法として期待されている。しかし、長期信頼性を確保する上で不可欠である疲労強度特性に及ぼす影響については不明の点が多い。本論文では、室温では拡散できない非拡散性水素を吸蔵した高強度鋼を対象として、疲労強度特性に及ぼす非拡散性水素吸蔵の影響について明らかにするとともに、疲労荷重下における耐水素ぜい化特性に優れる材料の開発指針を提案したものであり、以下に示す6章により構成されている。

第1章では、本論文の研究背景と目的および構成について述べた。

第2章では、供試材として用いた伸線加工高強度鋼平滑材の疲労強度特性に及ぼす非拡散性水素吸蔵の影響を検討した結果、低ひずみ速度引張強度特性には非拡散性水素吸蔵の影響は見られないが、疲労強度は非拡散性水素を吸蔵することにより低下することを示した。さらに、疲労寿命のほとんどを疲労き裂進展寿命が占める切欠き材の疲労強度特性をもとに、応力拡大係数範囲と疲労き裂進展速度の関係を推定し、これより平滑材の疲労き裂発生寿命を求めた結果、非拡散性水素の影響は疲労き裂進展よりも疲労き裂発生寿命に大きく影響することを定量的に示し、平滑材では非拡散性水素により疲労き裂発生が促進されて、疲労強度が低下したことを示した。

第3章では、非拡散性水素のトラップサイトの活性化エネルギーの大小、および材料自体の水素ぜい化感受性が、非拡散性水素吸蔵条件下の疲労強度特性に与える影響について検討した。この結果、活性化エネルギーが小さく、トラップサイトから脱離しやすい条件下で非拡散性水素吸蔵による疲労強度の低下が生じやすいこと、また、非拡散性水素の活性化エネルギーが同一の場合でも、材料自体の水素ぜい化感受性が高いほど疲労強度の低下が生じやすいことを示した。これらを基に、疲労荷重負荷条件下において非拡散性水素吸蔵が疲労強度を低下させる機構を提案した。

第4章では、疲労き裂進展特性に及ぼす非拡散性水素の影響について検討し、疲労き裂進展の下限界値近傍では

非拡散性水素吸蔵により疲労き裂進展の加速が見られるものの、応力拡大係数範囲が大きくなるほどその加速は小さくなり、中・高応力拡大係数範囲ではその影響は見られないことを示した。

第5章では、高強度鋼の疲労き裂先端近傍を、局在化水素の可視化手法を用いて詳細に観察することにより、疲労荷重負荷によりき裂先端近傍に水素が局在化・集積することを示し、これにより、室温では拡散しない非拡散性水素が、疲労荷重によりトラップサイトより脱離・拡散して疲労強度の低下をもたらすことを実証した。

第6章では、以上の成果を総括して本論文の結論を示すとともに、疲労荷重条件下においても耐水素ぜい化特性の高い材料の開発指針を提案した。

## 論文審査の結果の要旨

高強度鋼の強度特性は環境に強く依存し、水素ぜい化を生じることが問題となっている。水素ぜい化は室温で拡散する拡散性水素により生じ、室温では拡散できない非拡散性水素は水素ぜい化に関与しないとされ、組織制御により非拡散性水素のトラップサイトを生成する手法が耐水素ぜい化特性を向上させる方法として期待されている。しかし、長期信頼性を確保する上で不可欠である疲労強度特性に及ぼす非拡散性水素の影響については不明である。本論文では、高強度鋼を対象として、材料内に強くトラップされているため室温では拡散できない非拡散性水素の吸蔵による疲労強度特性に及ぼす影響について検討するとともに、疲労荷重条件下において耐環境特性に優れる材料開発指針を提案している。

まず、高強度鋼平滑材の疲労強度特性に及ぼす非拡散性水素吸蔵の影響を検討して、低ひずみ速度引張強度特性には非拡散性水素吸蔵の影響は見られないのに対して、疲労強度は非拡散性水素を吸蔵することにより低下することを示している。さらに、疲労寿命のほとんどを疲労き裂進展寿命が占める切欠き材の疲労強度特性を用いて、応力拡大係数範囲と疲労き裂進展速度の関係を推定することにより、平滑材の疲労き裂発生寿命を求めている。これらの結果より、非拡散性水素の影響は疲労き裂進展よりも疲労き裂発生寿命に大きく影響することを定量的に示し、平滑材では非拡散性水素により疲労き裂発生が促進されて疲労強度の低下が生じることを示している。

さらに、非拡散性水素のトラップサイトの活性化エネルギーの大小、および材料自体の水素ぜい化感受性が非拡散性水素吸蔵条件下の疲労強度特性に与える影響について検討している。この結果、活性化エネルギーが小さく、トラップサイトから脱離しやすい条件下で非拡散性水素吸蔵による疲労強度の低下が生じやすいこと、また、非拡散性水素のトラップサイトの活性化エネルギーが同一の場合でも、材料自体の水素ぜい化感受性が高いほど疲労強度の低下が生じやすいことを示している。また、疲労き裂進展特性に及ぼす非拡散性水素の影響についても検討し、疲労き裂進展の下限界値近傍では非拡散性水素吸蔵により疲労き裂進展の加速が見られるものの、応力拡大係数範囲が大きくなるほどその加速は小さくなり、中・高応力拡大係数範囲ではその影響は見られないことを示している。

さらに、非拡散性水素を吸蔵した高強度鋼の疲労き裂先端近傍を局在化水素の可視化手法を用いて詳細に観察することにより、疲労荷重負荷によりき裂先端近傍に水素が局在化・集積することを示している。これより、室温では拡散しない非拡散性水素が疲労荷重によりトラップサイトより脱離・拡散して疲労強度の低下をもたらすことを実証し、これらをもとに疲労荷重負荷条件下において非拡散性水素が疲労強度を低下させる機構を提案するとともに、水素吸蔵条件下において耐環境特性を向上させる材料開発指針を示している。

以上のように、本論文は静的な荷重条件下では水素ぜい化に関与しない非拡散性水素が吸蔵した条件下における高強度鋼の疲労強度特性を総合的に検討することにより、疲労荷重負荷条件下において耐環境性のある高強度鋼の開発指針を提案するなど、水素吸蔵条件下における高強度鋼の耐疲労信頼性向上に関する基礎的知見を提供するものであり、材料強度学のみならず機械工学の発展に寄与するところが大きい。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。