



Title	二相ステンレス鋼とその溶接金属における水素の挙動 におよぼすシグマ相の影響に関する研究
Author(s)	中出, 且之
Citation	大阪大学, 2001, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/43427">https://hdl.handle.net/11094/43427</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">大阪大学の博士論文につい て</a>をご参照ください。

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

氏 名	なか で かつ ゆき 中 出 且 之
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 1 6 5 6 4 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 13 年 11 月 28 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科生産科学専攻
学 位 論 文 名	二相ステンレス鋼とその溶接金属における水素の挙動におよぼすシグマ相の影響に関する研究
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 池 内 建 二  (副査) 教 授 大 森 明      教 授 菊 地 靖 志      教 授 西 本 和 俊 助 教 授 黒 田 敏 雄

### 論 文 内 容 の 要 旨

本研究は、二相ステンレス鋼母材とその溶接金属におけるシグマ ( $\sigma$ ) 相の析出挙動、および  $\sigma$  相と水素の相互作用について検討を行い、そして新たに提案した三次元破面解析の結果を考え合わせて、水素の挙動におよぼす  $\sigma$  相の影響について調べようとしたものである。

第1章は結論であり、本研究の必要性和その目的について述べた。

第2章においては本研究の実験方法についてまとめて述べた。

第3章においては二相ステンレス鋼母材とその溶接金属の  $\sigma$  相の析出挙動について、使用合金元素濃度の影響に注目して検討を加えた。その結果、母材および溶接金属のいずれにおいても、Cr、Mo、Ni を増量させたスーパー二相ステンレス鋼は、脆化要因の  $\sigma$  相がかなり速く析出し、二次オーステナイト相も多く形成されることがわかった。これらの結果より、不適切な溶接条件のもとでは、溶接部に  $\sigma$  相が析出する恐れがあり、溶接部の低温割れの要因となる水素との相互作用を調べる必要性があることを提示した。

第4章においては内部摩擦測定により二相ステンレス鋼の水素の拡散および固溶等の挙動におよぼす  $\sigma$  相の影響を検討した。その結果、 $\sigma$  相が析出すると内部摩擦曲線の形状が大きく変化し、オーステナイト相中の水素によるピーク高さが大幅に低下することが示された。このことから  $\sigma$  相がフェライト相中およびフェライト／オーステナイト界面の水素の拡散を抑制し、オーステナイト相中に固溶する水素量を少なくする働きがあることがわかった。また固溶水素量と内部摩擦ピーク値との比較から、 $\sigma$  相が水素をトラップあるいは固溶していることが示唆された。

第5章においては水素脆性におよぼす  $\sigma$  相の影響を調べるため、水素脆化破面の三次元立体画像を得るプログラムを開発し、破面と微細組織の関係について検討を行った。その結果、 $\sigma$  相は破壊の優先的な発生サイトとなり、水素脆化感受性を非常に高めることが判明した。これは  $\sigma$  相にトラップあるいは固溶された水素の影響によるものと推察された。

第6章においては前章までに得られた結果について、総括を行った。

## 論文審査の結果の要旨

二相ステンレス鋼は組織的に $\alpha$ 相を含んでいるために、水素脆化感受性が高くなる。そして高Cr、高Moであるために従来の二相ステンレス鋼よりも $\sigma$ 相が析出しやすことが予想される。しかし二相ステンレス鋼における $\sigma$ 相の水素脆化感受性および水素の挙動におよぼす影響に関してはほとんど報告例がない。そこで本研究では二相ステンレス鋼における $\sigma$ 相の析出挙動をまず調べ、そして水素の挙動におよぼす $\sigma$ 相の影響に関して内部摩擦試験を用いて検討している。さらに新たに開発した三次元破面解析法を用いて、水素の挙動および水素脆性におよぼす $\sigma$ 相析出の影響について検討している。主な成果は次のとおりである。

- (1) $\sigma$ 相の析出挙動を調べるため、時間-温度-析出 (TTP) 図を構築している。その結果、スーパー二相ステンレス鋼である SUS329J4L (DP3) 母材と SAF2507 母材はともにほとんど同様の TTP 図を示し、ノーズの位置は 1123K で 0.06ks であるが、一方 SUS329J3L (DP8) 母材と SAF2205 母材はともに 1123K で 0.3ks であるとの結果を得ている。このことは、耐食性向上のために Cr、Mo の含有量を増加させたスーパー二相ステンレス鋼は、 $\sigma$ 相の析出が、従来鋼に比べはるかに速くなることを示している。溶接金属においても母材と同様の傾向であり、このことから高入熱で溶接を行った場合等、不適切な溶接条件あるいは何度も高温にさらされる多層盛溶接金属において $\sigma$ 相が析出する恐れがあることを指摘している。
- (2) $\sigma$ 相の析出した二相ステンレス鋼について水素の挙動を検討し、 $\sigma$ 相が析出すると内部摩擦曲線のピーク形状が低温側にブロードに変化し、オーステナイト相中の水素に起因するピークと $\sigma$ 相中の水素に起因するピークが存在することを示唆している。この結果より、 $\sigma$ 相は水素を固溶、あるいは $\alpha/\sigma$ 界面および $\gamma/\sigma$ 界面にトラップすることを提案している。そして $\sigma$ 相の析出は主な拡散経路である $\alpha$ 相を減少させ、かつ $\gamma$ 相の周囲に析出した $\sigma$ 相は水素を固溶・トラップすることにより、 $\gamma$ 相中への水素拡散を遅らせることを指摘している。
- (3)二相ステンレス鋼に水素チャージ後、引張試験を行い、 $\sigma$ 相の析出量が多くなるほど水素脆化感受性は高くなることを明らかにしている。 $\sigma$ 相の析出した母材の破面は全体にわたって平均的に平らな形状を呈しているように見えるが、この破面の三次元像を再構築すると、二次割れを伴ったいくつかのステップから構成されていることが明らかとなり、この結果より、水素をトラップした $\sigma$ 相が、水素割れの優先的な発生のサイトになることを示唆している。

二相ステンレス鋼溶接金属の水素脆性破面の観察結果からも、同様に $\sigma$ 相が優先的な割れ発生のサイトとなることを見出している。

以上のように、本論文は高い耐孔食性を有する二相ステンレス鋼における $\sigma$ 相の析出挙動を明らかにし、また水素環境下での使用を想定した場合の、水素の挙動におよぼす $\sigma$ 相の影響を、内部摩擦試験を用いて説明することに成功している。さらに、 $\sigma$ 相が析出した二相ステンレス鋼中に水素が侵入した場合の水素脆化挙動を新しく開発した手法である三次元破面解析により明らかにしており、溶接材料学および環境材料学の発展に寄与するところが大きい。よって本研究は博士論文として価値あるものと認める。