

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 26 日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24656415

研究課題名(和文) 逆変態層の形成による高強度ステンレス鋼の水素脆化防止

研究課題名(英文) Prevention of hydrogen embrittlement by the formation of reversed austenite layer in high strength stainless steel

研究代表者

高木 節雄 (takaki, setsuo)

九州大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：90150490

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円、(間接経費) 930,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、加工誘起マルテンサイト変態によって準安定オーステナイト系ステンレス鋼(Fe-16%Cr-10%Ni)を強化し、そののちに、冷間加工材の表面のみを局所的な誘導加熱に供してマルテンサイトをオーステナイトに逆変態させた。その結果、内部にマルテンサイトを残したまま、表面のみにオーステナイト層を形成させることに成功し、材料内部への水素侵入が適度な厚さを有するオーステナイト層によって効果的に抑制されることが分かった。

研究成果の概要(英文)：In this research, a meta-stable austenitic stainless steel (Fe-16%Cr-10%Ni) was strengthened by deformation induced martensitic transformation and then only the surface of cold worked material was subjected to local induction heating to cause the reversion from martensite to austenite. As a result, it was found that the austenite layer can be formed in vicinity of the surface of the steel while leaving the martensite inside and the hydrogen permeation into material is effectively suppressed by the austenite layer with a moderate thickness.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学 構造・機能材料

キーワード：水素脆性

1. 研究開始当初の背景

化学プラントや海浜地区で使用される鋼構造物には、高い強度だけでなく優れた耐腐食性が要求されることから、マルテンサイト組織を主体とした高強度ステンレス鋼が使用されている。しかし、bcc 構造を有するマルテンサイト組織は水素の拡散が非常に速く、使用中に水素脆化を起こすという致命的な欠点があるため、現在その防止には特殊なメッキなどで表面を被覆する以外の手段がないと考えられていた。一方、fcc 構造のオーステナイト系ステンレス鋼については、マルテンサイト組織に比べ水素の拡散が著しく遅いため、水素脆化の問題はないが、強度が低いという欠点がある。本研究は、高強度ステンレス鋼の特性を損なうことなく、かつ表面塗装などの手法を使わずに水素脆化を効果的に防止することを目的として、部材の表層に水素の侵入を防止するオーステナイト皮膜を形成させるための組織制御法を提案し、その効果を検証しようとするものである。

2. 研究の目的

準安定オーステナイト系ステンレス鋼は冷間圧延を施すことにより、加工誘起マルテンサイト変態を生じ、その強度が約 10 倍にまで向上する。またその後高温で保持し冷却することでオーステナイトへ逆変態することはよく知られている。そのため、一度冷間加工により組織をマルテンサイトとした後、短時間の高周波加熱を施せば、表面層の薄い逆変態オーステナイトの皮膜を得ることができ、水素脆化の防止できると考えられる。そのため、本研究では準安定オーステナイト系ステンレス鋼を対象として、(1)加工誘起マルテンサイトのオーステナイトへの逆変態挙動に及ぼす高周波加熱条件の影響を調査し、表面のオーステナイト皮膜を形成する技術を確立し、(2)水素侵入挙動に及ぼすオーステナイト皮膜の影響を調査した。

3. 研究の方法

(1) 表面オーステナイト皮膜を有する高強度ステンレス鋼の作製

本研究で使用する供試材には準安定オーステナイト系ステンレス鋼である 16%

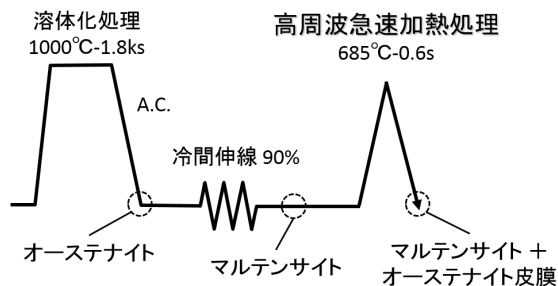


図1 熱処理加工プロセス

Cr-10%Ni 鋼を高周波加熱が容易な棒状に加工したものをを用いた。図 1 に今回行った熱処理加工工程を示す。まず溶体化処理によりオーステナイト単相組織を得た後、引抜伸線加工を施すことで、ほぼ全面を加工誘起マルテンサイト変態させる。ついで高周波加熱処理により表面部近傍のみを急速加熱することにより、マルテンサイトからオーステナイトへの逆変態を生じさせる。これにより得られた表面オーステナイト皮膜について、各種組織観察や、硬度試験によりその特性を調査した。

(2) 水素侵入挙動に及ぼすオーステナイト皮膜の影響の調査

作製した供試材に対し、まずチオン酸アンモニウム水溶液に浸水した後、昇温脱離分析法(TDS)を用いて水素放出量を測定することで、水素侵入挙動に及ぼすオーステナイト皮膜の影響を調査する。

4. 研究成果

図 2 に高周波加熱により逆変態処理をした丸棒試料の縦断面組織と、試料内部および表面近傍における結晶方位マップを示す。試料表面近傍より約 1mm を境に試料の濃淡が変化しており、異なる組織が形成されていることが分かる。結晶方位解析により試料表面では主として約 3 μ m の微細な fcc 相が形成されており、それに対し内部では明瞭な菊池線が得られず、X 線回析の結果から bcc 相のピークのみが得られていた。また硬度試験により表面近傍では約 2GPa であったのに対し、内部では約 4GPa もの高強度を有していた。このことから伸線加工により、試料全面に対し加工誘起マルテンサイト変態が生じ、その後高周波加熱により表面近傍のみ逆変態を生じ微細なオーステナイト皮膜が得られたことが確認された。

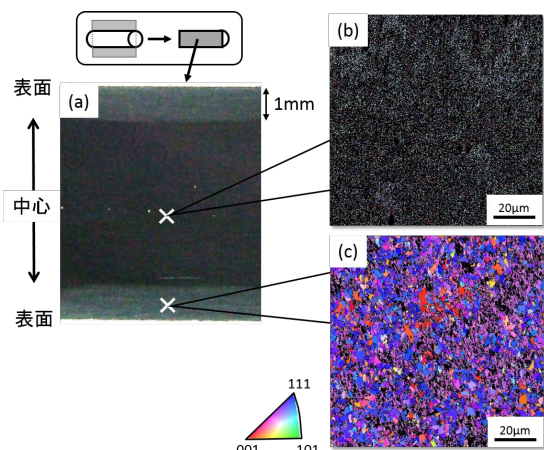


図2 (a)逆変態処理後の縦断面組織、電子線後方散乱法より取得した結晶方位マップ(b)試料内部、(c)試料表面近傍

図3に伸線加工材と逆変態処理材をそれぞれチオシアン酸アンモニウム水溶液に浸漬した後にTDSにより水素放出挙動を測定した結果を示す。伸線まま材では200付近に明瞭なピークが見られ、一般的に水素脆化に影響があるとされている拡散性水素が鋼中に多量に吸蔵されていることが分かる。一方、逆変態材では、いずれの温度においても明瞭なピークは見られず、表層部をオーステナイトとすることで、水素吸蔵が著しく抑制されたことが確認された。

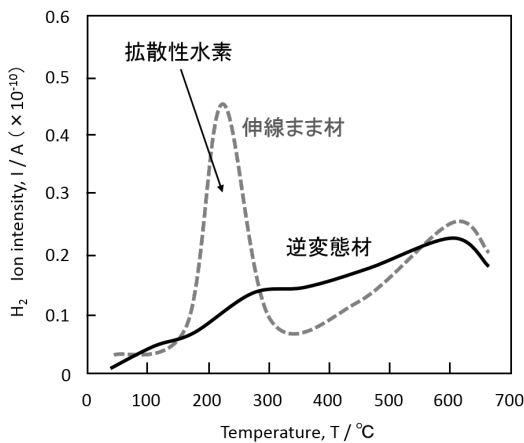


図3 伸線材と逆変態材の水素放出挙動

このような水素吸蔵の差異はfcc構造とbcc構造の水素の拡散速度に大きな違いがあるためであると考えられる。本研究における水素吸蔵処理時間(86.4ks浸漬)において、水素はマルテンサイト組織内で約2.9cmも拡散するのにに対し、オーステナイト組織内では約45μmしか拡散できないことが算出でき、このことから、表面にオーステナイト皮膜を形成することで、鋼中への水素侵入を著しく抑制でき、これにより水素脆化を抑制できると考えられる。

本研究で使用した棒状試験片において耐水素脆化特性を評価するまでには至らなかったが、板状の準安定オーステナイト系ス

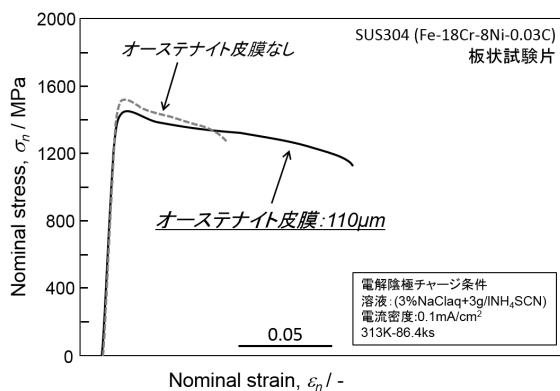


図4 オーステナイト皮膜を形成したSUS304の耐水素脆化特性

テンレス鋼を用い、図2のように内部をマルテンサイト組織とし、表面近傍の約110μmにオーステナイト皮膜を形成させた試料に対し、電解陰極法により水素チャージを施した後引張試験に供した結果を図4に示す。オーステナイト皮膜を形成させた試料は皮膜のないものと比べ、引張強さ1GPaを超える高強度を有しながら、大きな伸びを示すことが分かる。またこの際の水素吸蔵量は皮膜のない材料に比べ約5分の1にまで抑制できていることを確認している。

以上の結果より、表面にオーステナイト皮膜を付与させることにより、高強度を有しながら耐水素脆化特性も向上させることが実現可能であることが証明された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計1件)

1. Yoshikazu MATSUOKA, Tatsuya IWASAKI, Nobuo NAKADA, Toshihiro TSUCHIYAMA and Setsuo TAKAKI, Effect of Grain Size on Thermal and Mechanical Stability of Austenite in Metastable Austenitic Stainless Steel, ISIJ International, vol.53(2013),1224-1230, 査読有り

〔学会発表〕(計5件)

1. Yoshikazu Matsuoka, Nobuo Nakada, Toshihiro Tsuchiyama, Setsuo Takaki, Inhomogeneous Deformation-Induced Martensitic Transformation behavior of Retained Austenite Dispersed in Martensitic Stainless Steel, IUMRS-ICA2012, 2012年8月28日
2. 中田伸生, 岩崎竜也, 松岡禎和, 土山聡宏, 高木節雄, 準安定オーステナイト系ステンレス鋼の熱的・機械的安定性に及ぼす結晶粒径の影響, 日本鉄鋼協会第164回秋季講演大会, 2012年9月19日
3. 岩永修一, 香月裕太郎, 坪井耕一, Macadre Arnaud, 中田伸生, 土山聡宏, 高木節雄, 組織傾斜化による準安定オーステナイト系ステンレス SUS304 鋼板の水素脆化の抑制とその設計指針, 日本鉄鋼協会 第166回秋季講演大会, 2013年9月18日
4. Yoshikazu MATSUOKA, Nobuo NAKADA, Toshihiro TSUCHIYAMA, Setsuo TAKAKI, Effect of grain size on mechanical stability of austenite in metastable austenitic stainless steel, THERMEC 2013, 2013年12月4日

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

なし

○取得状況（計 0 件）

なし

〔その他〕

ホームページ

<http://takaki.zaiko.kyushu-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

高木 節雄 (TAKAKI SETSUO)

九州大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：90150490

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし