

二相ステンレス鋼溶接金属における水素集積部の評価

新居浜高専 環境材料工学科

日野 孝紀

1. はじめに

大型建設機械等では高強度鋼の適用が望まれているが、高強度鋼を溶接する際には、低温割れと呼ばれる現象が問題となっている。低温割れは図1に示のように、溶接施工から数日間経過した後に発生するため、「遅れ割れ」とも呼ばれている。低温割れは溶接金属部の硬化組織・溶接金属部の拘束応力・溶接時に侵入した拡散性水素によって生じ、その中でも拡散性水素の影響が最も大きいとされている¹⁾。この割れを回避するため、溶接施行前に鋼材の予熱を行い、凝固から室温までの冷却速度を遅くして、侵入した水素を鋼材外部へ放出させることで低温割れの防止が図られている²⁾。一方、近年の複雑形状や大型部材では均一に温度制御した予熱が困難であるため、これに代わる防止策が求められている。一例として、耐水素脆化性に優れるオーステナイト (γ) 相を溶接金属中に分散させることで拡散性水素をトラップさせ、割れ感受性低減が試みられている³⁾。しかし、溶接金属中では、バルク材に比べ組織が複雑となり水素集積に及ぼす金属組織の影響について十分に理解されていない。

本研究では、耐水素脆化性に優れているオーステナイト相を有する二相ステンレス鋼成分を有する溶接金属において、オーステナイト相中の水素集積挙動を評価し、溶接継手部の低温割れの抑制について知見を得ることを目的とした。すなわち、二相ステンレス鋼溶接金属に水素チャージを行ったのち、銀デコレーション法を用いて水素集積位置を可視化するとともに、昇温脱離分析法を行い、水素放出量を評価し、水素集積に及ぼす金属組織の影響について調査した。

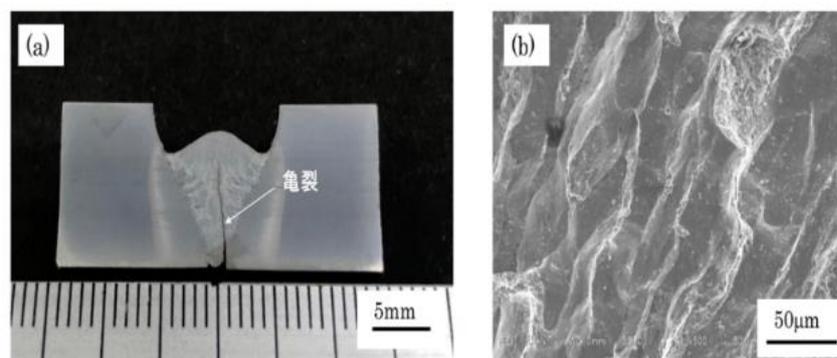


図1 1GPa級高張力鋼の低温割れ (a) マクロ像 (b) 破面SEM像

2. 実験方法

2.1 供試材料

供試材料は図 2 に示すように、高張力鋼板上に二相ステンレス鋼用溶接棒を用いて、肉盛り溶接し作製した。試験片は図 3 に示すように、5 層溶接金属の最終層から採取し、放電加工機及びファインカッターを用いて縦 10 mm、横 10 mm、厚さ 0.4 mm に切断した。



図 2 二相ステンレス鋼溶接棒による肉盛り溶接

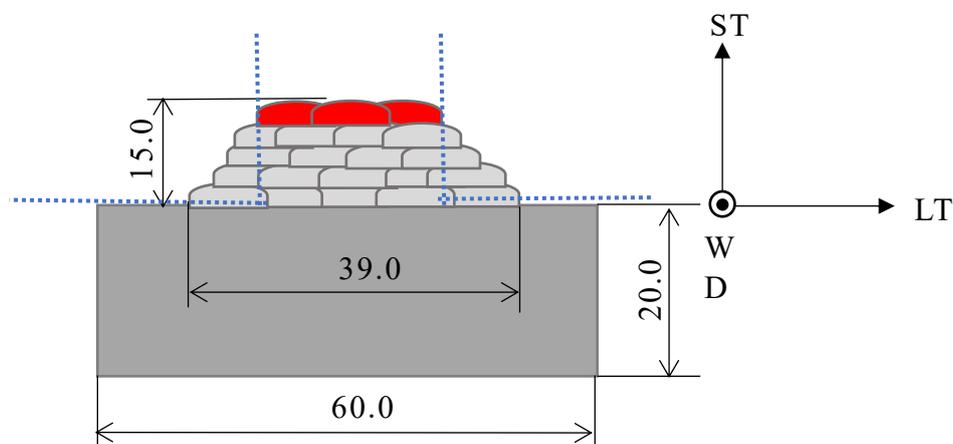


図 3 溶着金属肉盛溶接の試験片採取部と加工位置

2. 2 試験片表面の調整

銀デコレーション法に用いた試験片は、両面を 220、400、800、1000、1500 番の順で機械研磨を行った。昇温脱離分析に用いた試験片は両面 800 番までの機械研磨とした。組織観察用の試験片は、機械研磨後に温度 55 °C、電圧 15 V、電流 0.3 A で電解研磨した後、食刻にて組織を出現させた。

2. 3 水素チャージ

陰極電解法による水素チャージは、概略図を図 4 に示すように、液温 30°C、陽極 Pt、電流密度 100A/m²、チャージ時間 24 h の条件下で行った。

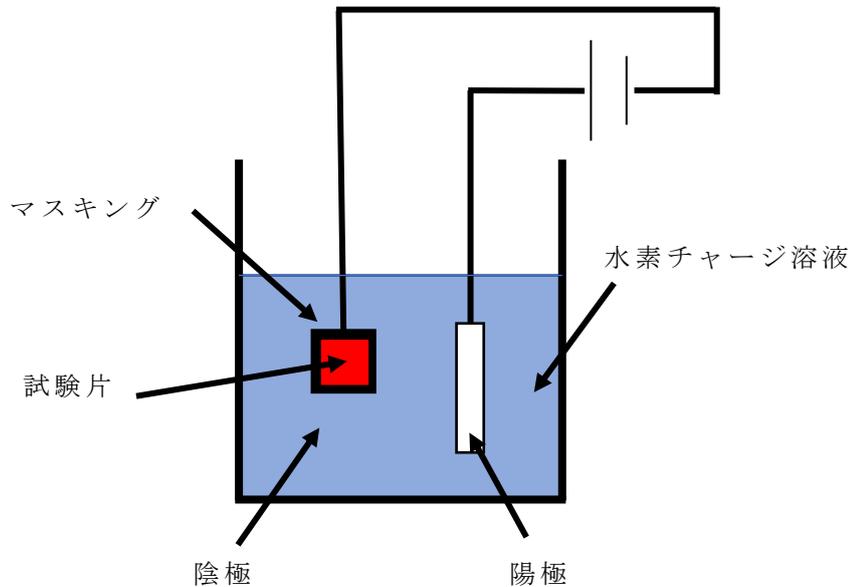


図 4 陰極電解法による水素チャージ

2. 4 昇温脱離分析法

水素をチャージした試験片に含まれる水素量は、昇温脱離分析装置を用いて昇温速度 100 °C/h、Ar 流量 100 m/s にて、室温から 600 °C までの放出水素量 ppm を 2 分ごとに測定した。

2. 5 銀デコレーション法

銀デコレーション法では、錯イオンと平衡する Ag イオンが、金属表面の水素によって還元されることを利用して、析出した Ag 粒子の観察から、水素分布を可視化する手法である。24 h 水素チャージした試験片は、室温下で 0.5~24h 保持した後、含 Ag イオン溶液中に 30 分間浸漬させた後、蒸留水で洗浄した。チャージ側と透過側の表面に析出した Ag 粒子を SEM 観察することで水素原子の分布状態を調査した。

3. 実験結果及び考察

3. 1 金属組織

図 5 は、二相ステンレス鋼溶接金属の最終パス部の組織を示す。試験片は鏡面にした後、王水により食刻し組織を出現させ、光学顕微鏡で WD-LT 面を観察した。溶接金属には、オーステナイト(γ)相とフェライト(δ)相が確認できた。さらにこの金属相を明確にするため、Modified Beraha 試薬によって食刻した試験片の金属組織を画像解析することで、 γ 相と δ 相の面積率が $\gamma=50.7\%$ 、 $\delta=49.3\%$ であることが分かった。

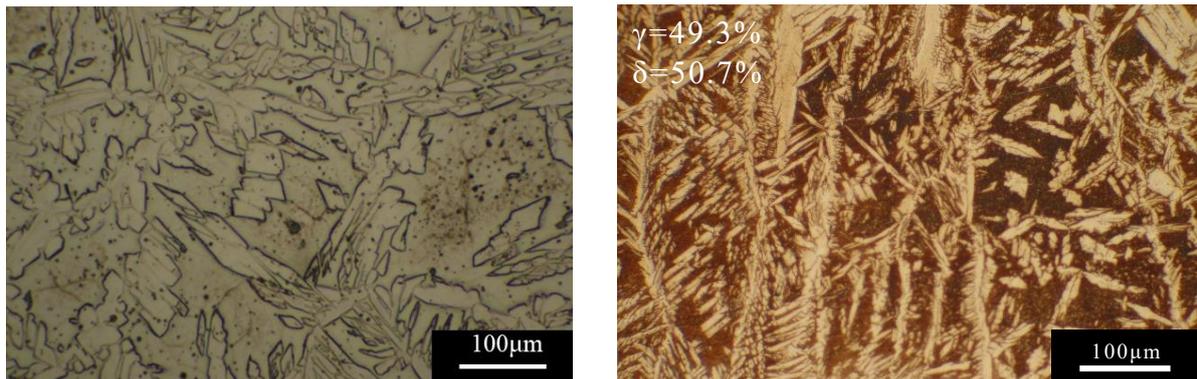


図 5 二相ステンレス鋼溶接金属の組織

3.2 水素放出挙動

図 6 は昇温脱離分析法により得られた水素放出曲線を示す。24 h の水素チャージ後に、0.5 h 室温放置した溶接金属の水素量は 232.6 ppm であった。また、チャージ後に 24 h 放置すると、142.6 ppm まで減少した。このことから、室温保持中に約 90ppm の水素が溶接金属から自然放出されていることがわかった。室温保持中に放出された水素は、TDA の結果から約 130°C までに放出された水素と考えられる。また、保持時間が 24 h の溶接金属でも、130°C 以上の温度で水素の放出が観察された。これは、 δ 相よりも γ 相の内部に水素が多く分散したためと考えられる。

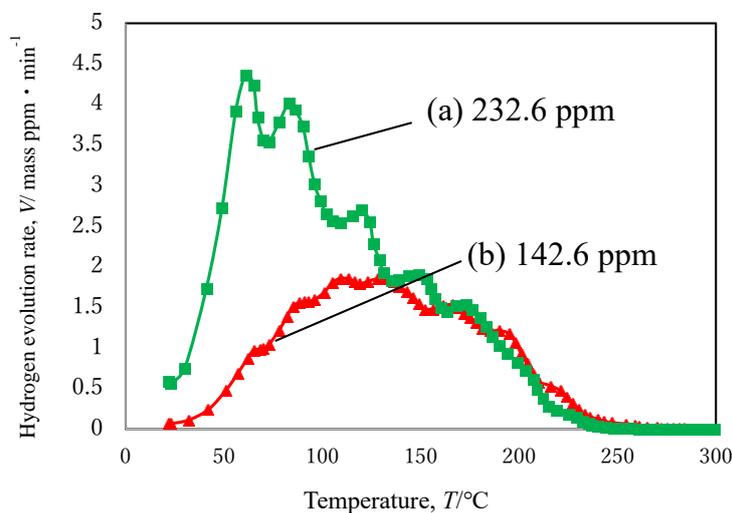
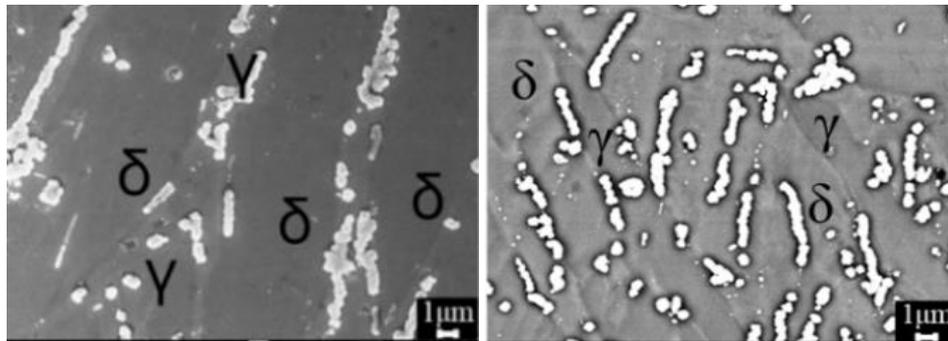


図 6 二相鋼溶接金属の水素放出曲線
室温での保持時間(a) 0.5 h, (b) 24 h

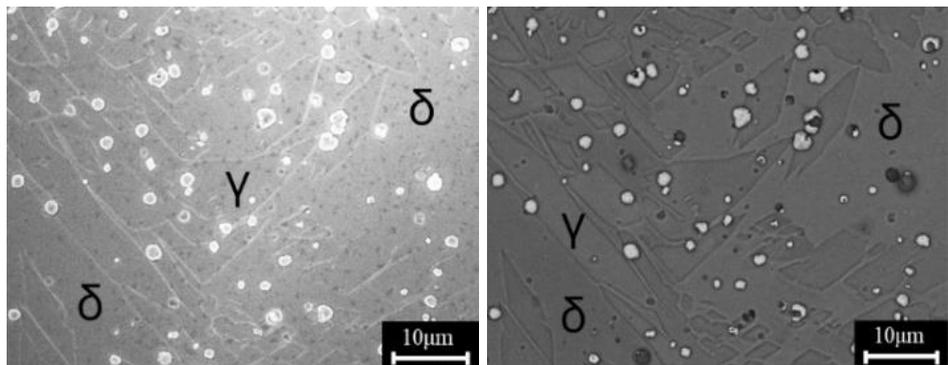
3.3 水素放出挙動

図 7 は、24 h 水素チャージ、24 h 室温保持後のチャージ面の銀デコレーション後の SEM 像を示す。 δ 相、 γ 相、相界面で多量に集積していることが確認でき、相界面に沿って水素

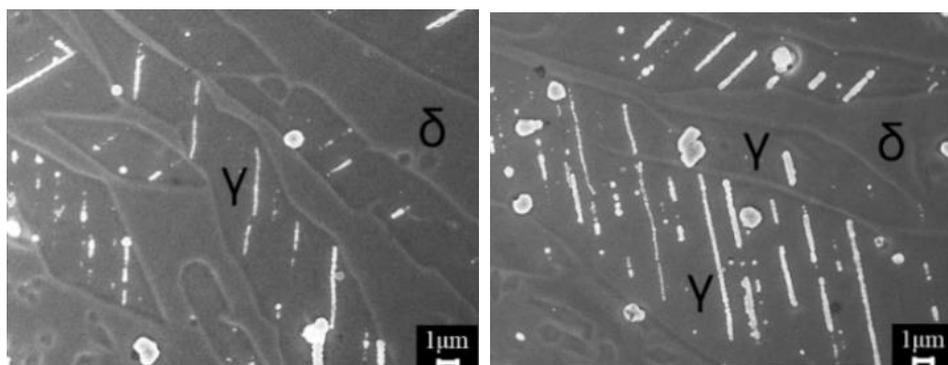
原子が分布することが分かった。24 h 水素チャージ、0.5 h 室温保持後の透過面の銀デコレーション法後の表面には(b)に示すように δ 相、 γ 相、相界面で全体的な水素原子の集積が確認できたが、特定の相での水素原子の集積は確認できなかった。24 h 水素チャージ、24 h 室温保持後の透過面の銀デコレーション法後の表面では、(c)に示すように、 δ 相、相界面に銀粒子の析出が少なく、多量の銀粒子が γ 相中で確認できた。



(a) 24 h 保持後のチャージ面



(b) 0.5 h 保持後の透過面



(c) 24 h 保持後の透過面

図 7 銀デコレーション後の SEM 像

3.4 水素原子集積部

図8は、画像解析により求めた複数視野の平均値を用いて、銀粒子の総面積を求めた結果を示す。保持時間が長くなるほど、全銀粒子の面積が増加していることが明らかとなった。これは、24 hの保持時間中に水素チャージ面から透過面にかけて水素原子が拡散してきたため増加したと考えられる。

図9は、各相における銀粒子の面積率を求めた結果を示す。保持時間が長くなると、 δ 相中の銀粒子の割合が減少し、 γ 相中の銀粒子の割合が増加していた。これは、24 h保持時間中に拡散速度の速い δ 相から水素原子がほとんど放出され、 γ 相中は拡散速度が遅いため、 γ 相中にトラップされた水素原子が遅れて表面に出てきたため γ 相中で多く観察されたと考えられる。

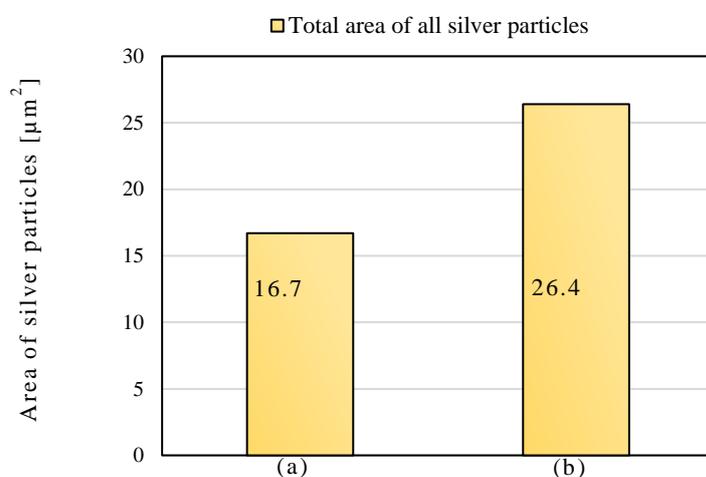


図8 表面に占める Ag 粒子の面積率
室温での保持時間(a) 0.5 h, (b) 24 h

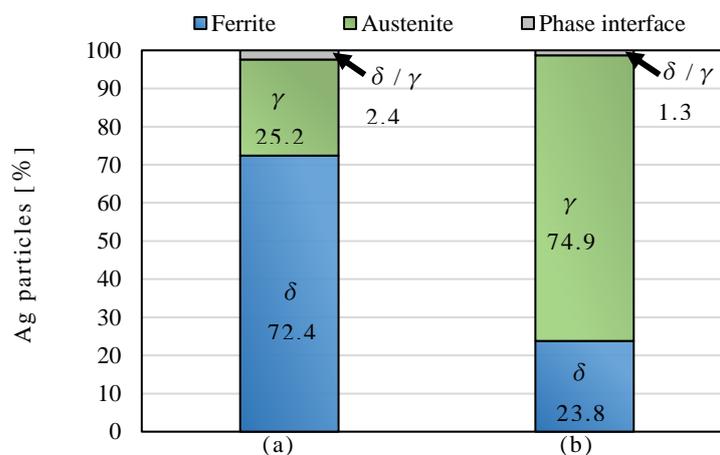


図9 各相に分布する Ag 粒子の面積率
室温での保持時間(a) 0.5 h, (b) 24 h

4. まとめ

二相ステンレス鋼溶接金属中における水素集積部及び水素放出挙動を評価し以下の結果を得た。

- (1) 水素チャージ後、24 h 室温保持の間に、約 90 ppm の水素が放出され、フェライト相からの水素であった。
- (2) 保持時間が長くなると、銀粒子の総面積が増加し、24 h 保持時間中に水素原子が水素チャージ面から透過面に拡散した。
- (3) 水素原子は、オーステナイト相中の銀粒子の面積割合の増加、拡散速度の観点から、オーステナイト相中に優先的に分布した。
- (4) 溶接金属中の水素原子の分布状態と室温保持時間の関係が明らかとなった。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、公益財団法人天野工業技術研究所から多大なご支援を頂きました。ここに記して謝意を示します。

参考文献

- 1) 糟谷 正, 溶接学会誌, 82 (2013), 569-593
- 2) 南雲 道彦, 水素脆化の基礎, (2008), 70-71
- 3) 小川 宏二, 鉄鋼材料の水素吸蔵と水素脆化, (1983), P245