

二相ステンレス鋼溶接部における 水素分配挙動解析

當代 光陽
新居浜工業高等専門学校

1 はじめに

高強度鋼厚板は構造物の大型化や使用鋼材量の低減に有効であるため、インフラ、船舶および大型建設機械などの分野において切望されてきた。しかしながら、高強度を示すマルテンサイト組織を有する鉄鋼材料は、水素ぜい化が顕著となることが知られており、溶接分野では低温割れとして古くから問題となっている。工業的には、鋼材の予熱・後熱を行い、溶接部の水素量を極力低減することが低温割れ防止に有効であることが認識されているが、コストアップや複雑形状を有する構造物への適用が困難といった課題がある。これに対して、フェライトとオーステナイトをほぼ同量の割合含む二相ステンレス鋼は、マルテンサイト鋼に比べて強度は劣るものの、予熱や後熱工程を省略したとしても、低温割れが生じないことが知られている。

鉄鋼材料におけるフェライト相とオーステナイト相中での水素の挙動はそれらの結晶構造に由来して大きく異なっている。体心立方構造のフェライト相中では、水素の拡散速度は速く、その固溶量は小さい。その一方で、面心立方構造のオーステナイト相中では拡散が極めて遅いが、固溶量は大きいとされている。二相ステンレス鋼溶接金属において、フェライト量が過多となると、低温割れが生じると報告されており、オーステナイト相が割れ抑制に重要な役割を担っているものと考えられる。二相ステンレス鋼溶接金属における水素の挙動を解明でき

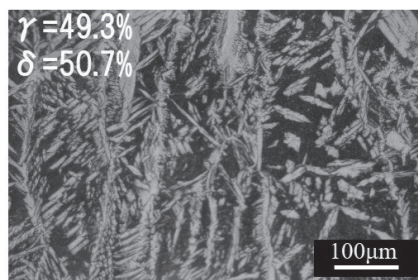


図1 二相ステンレス鋼溶接金属の光学顕微鏡組織

たならば、このことを他鋼種の低温割れ抑制に応用できる可能性がある。しかしながら、いまだ二相ステンレス鋼溶接金属中の水素挙動に関する報告は限られており、未解明な部分が多い。そこで、本研究では、陰極電解法により二相ステンレス鋼溶接金属に水素チャージを行い、水素の挙動を昇温脱離分析と水素マイクロプリント法で調査することとした。

2 研究方法

市販の二相ステンレス溶接棒 (S-DP3W) を使用し、炭素鋼板の上に5層の溶着金属肉盛溶接を行った。母材希釈の影響を避けるため、最終層から厚さ0.4mmの試験片を切り出した。溶接金属のマイクロ組織は鏡面仕上げ後にエッチングを施して、光学顕微鏡を用いて観察した。

試験片の表面を#800まで機械研磨を施し、その後陰極電解法による水素チャージを行った。チャージ溶液は3%NaCl+3g/L NH₄SCNとし、電流密度と温度はそれぞれ100A/m²および室温で固定し、チャージ時間を変化させて実施した。水素チャージ後は、表面層を機械研磨で除去し、昇温脱離分析法により水素量を測定した。昇温速度は100°C/hとし、室温から300°Cまでに放出された水素量について評価した。また、水素の放出位置と金属組織の関係を調べるため、水素マイクロプリント法を

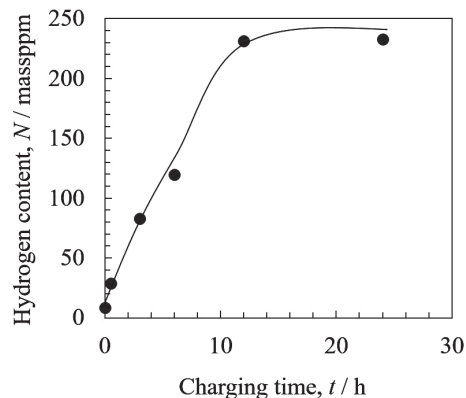


図2 水素吸蔵量の水素チャージ時間依存性

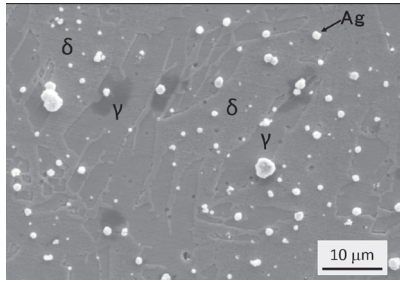


図3 水素マイクロプリント法を適用した二相ステンレス鋼溶接金属の表面SEM写真

用いた。具体的には、試料片面を鏡面仕上げし、エッチングを施した後、水素チャージを行なった。その後さらに暗室内で臭化銀粒子を含む写真乳剤を試験片表面に被覆した。水素を拡散させるために室温で所定の時間保持し、定着処理を行なった後、未反応の臭化銀粒子を除去した。得られた試験片について走査型電子顕微鏡(SEM)により乳剤被覆面を観察した。

3 研究成果

図1に二相ステンレス鋼溶接部の最終層におけるミクロ組織を示す。白く見えるオーステナイト相はプレート状の形状を呈している。画像解析から、フェライト相とオーステナイト相の面積比はほぼ1:1であった。

図2は、陰極電解による水素チャージ時間を変化させた場合の吸蔵水素量を示す。チャージ時間が長くなるほど、吸蔵される水素量は増加する。チャージ時間24hにて、200massppmを超える多量の水素がチャージされ、さらにチャージ時間10h以後において水素量の時間依存性がほとんどないことから、この水素量は十分飽和しているものと判断し、以降の実験では水素チャージ時間を24hとした。チャージされた水素が室温保持により、どのような挙動を示すかを調べるために24hのチャージ後に室温で種々の時間保持してから水素量を測定する実験を行った。当然ながら、室温での保持時間が長くなるほど、放出水素量は減少したが、720h後も約20massppmの水素が試験片中に含まれていた。これは水素の拡散が極めて遅いとされるオーステナイト相が水素放出を妨げたためと推察される。

図3には、24hの水素チャージ後に、水素チャージ面に対して、水素マイクロプリント法を適用した後の試料表面のSEM像の例を示す。写真乳剤を被覆してから、室温での保持時間は0.5hである。白色粒子は銀粒子であり、試料から放出された水素が試験片表面で写真乳剤中の臭化銀粒子を還元し、金属銀を形成したものと判断される。すなわち、銀粒子の位置が水素放出位置を示しており、水素はフェライト相、オーステナイト相、相界面

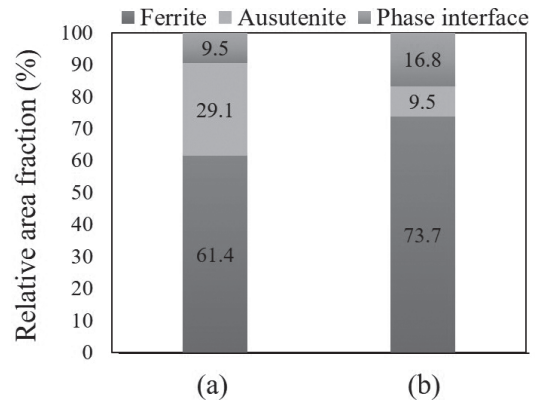


図4 水素マイクロプリント法適用後に観察された銀粒子の相対面積率. 乳剤被覆後の室温保持時間, (a) 0.5h, (b) 24h

上に観察され、これらが水素の放出サイトとなっていたことがわかる。

図4には、写真乳剤被覆後、室温で0.5h保持した場合と24h保持した場合の水素放出サイト（銀粒子の観察された位置）の変化を示す。図中には複数視野観察したSEM像において、観察されたすべての銀粒子の総面積に対して、それぞれの放出サイトにおける銀粒子の面積率を示した。乳剤被覆後の室温保持時間が増大すると、オーステナイト相からの水素放出が減少し、フェライト相および相界面からの放出が増えていることがわかる。室温での保持時間が長くなると、水素はオーステナイト相から相界面に移動し、相界面上を拡散、あるいはさらにフェライト相に移動した後にフェライト相を拡散して、試料表面に到達した可能性がある。

4 おわりに

本研究では、二相ステンレス鋼溶接金属に対して、陰極電解法により水素をチャージし、その挙動を調査した。その結果、陰極電解法により多量の水素がチャージされ、水素マイクロプリント法を用いることでその水素の放出サイトの可視化に成功した。このことは、オーステナイト相の水素トラップ（拡散抑制）効果を定量的に理解することに直結し、マルテンサイト+残留オーステナイトの二相組織とすることで、高強度を示しながら、かつ予熱・後熱フリーで低温割れの生じない優れた耐水素ぜい化性とを両立できる可能性があるといえる。

今後の課題は、溶接時に侵入する水素が室温において陰極電解法にてチャージされる水素とその存在状態が同様であるかについて検討する必要がある。また、低温割れは溶接直後に室温付近まで冷却され、引張残留応力がある状態で生じる現象であることから、水素チャージ後に応力を負荷しながら、水素の存在状態を調査する必要がある。