

ステンレス鋼の鋭敏化とその度合いの測定方法

瀨 瀨 知己*

Kouketsu Tomomi

ステンレス鋼に SCC（応力腐食割れ）が発生する主要な原因に金属組織の鋭敏化という現象がある。ここでは鋭敏化という現象と、鋭敏化度を測定する方法のひとつであるステンレス鋼の電気化学的再活性化率の測定方法（EPR 法）を解説し、基盤技術部での過去の測定で得られた知見を紹介する。

キーワード：ステンレス鋼 腐食 試験 鋭敏化 電気化学的再活性化率

1. はじめに

ステンレス鋼は炭素鋼と比較して耐食性には優れるが、局部腐食が発生しやすいという特徴がある。

局部腐食のひとつに、事故に繋がる「SCC（応力腐食割れ）」という現象があり、その形態により粒内割れ（塩化物濃縮型）と粒界割れ（鋭敏化型）の二タイプがある。

粒界割れの発生要因として、後述する「鋭敏化」と呼ばれる現象がある。

材料を使用する環境的要素、応力、鋭敏化という要素が一定の条件で揃った場合に粒界割れが発生するため、鋭敏化の程度を定量的に知ることであれば有効な対策を打つことができる。鋭敏化の進行度を示す電気化学的再活性化率の測定（EPR 法）は現場で比較的簡単に測定できる方法だが、自動、または半自動的な装置で得られた値をそのまま鵜呑みにした場合、評価を誤ることもあるため、注意が必要である。

本稿では日本工業規格（JIS）に規定されているステンレス鋼の電気化学的再活性化率の測定方法を紹介しながら、注意点を解説する。

2. EPR 法

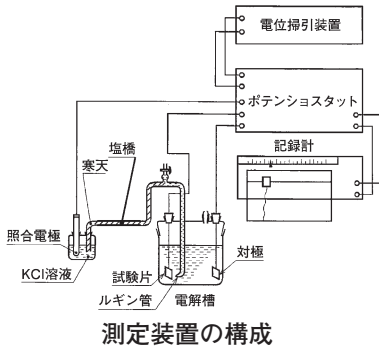
2.1 鋭敏化とは

SUS304 などのオーステナイト系ステンレス鋼は、1000℃以上に加熱後急冷する固溶化熱処理により Cr を固溶化することでその性能を発揮しているが、550～850℃に一定時間再加熱すると、C が Cr 炭化物として結晶粒界に析出する。これは粒界近傍の Cr が欠乏することを意味し、耐食性を失う。この現象を「（金属組織の）鋭敏化」と呼んでいる。⁽¹⁾

2.2 ステンレス鋼の電気化学的再活性化率の測定方法（EPR 法）とは

鋭敏化の程度を測定する方法のひとつに、JIS G 0580 に規定されている EPR 法がある。チオシアン酸カリウムを含む硫酸溶液中で対象部（1cm²程度）の往復アノード分極（アノード分極：外部から電位を印加して酸化への駆動力を与えること）を行い、分極曲線から再活性化率の測定値（ R_m ）を求め、鋭敏化の程度の指標とするものである。図 1 に一般的な測定装置の例を示す。

* 研究開発事業部 基盤技術部



測定装置の構成



実験室での測定状況



DOS テスター (現場用)

図1 一般的な測定装置の例⁽²⁾⁽³⁾

健全な組織の場合は、試験片が自然浸漬状態で示される電位（自然浸漬電位。試験片表面と水溶液との酸化還元反応のバランスで決まる）から、活性域（金属が溶解していく電位の範囲）、不動態域（不動態皮膜により溶解が抑制される電位の範囲）までの貴（高い）電位方向への分極で、試験接液部全体に均一で緻密な不動態皮膜（酸化皮膜）ができるため、卑（低い）電位方向への分極（復路）では溶解に伴う電流はほとんど流れない。

鋭敏化が進んだ組織の場合、往路でできた粒界近傍のCr欠乏域の不動態皮膜は均一・緻密でないため、復路でも溶解に伴う電流が流れる。

この往路と復路の電流のピーク値 i_a と i_r との比を%で表した $(i_r/i_a) \times 100$ が電気化学的再活性化率の測定値 R_m （単位は%）で、数値が大きいほど鋭敏化が進んでいることを表す（図2）。

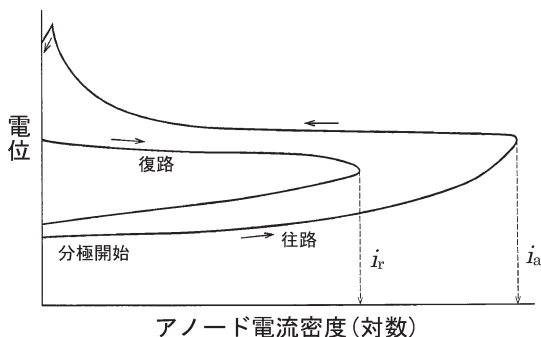


図2 再活性化率測定で得られるグラフ⁽²⁾
 (再活性化率の測定値 R_m (%) は、 $(i_r/i_a) \times 100$ で表される)

2.3 測定

2.3.1 現場での測定

JIS規格では試験片を使用した実験室での試験を想定しているが、現場で適用することもできる。現場での測定の際の電解槽の一例を図3に示す。⁽²⁾

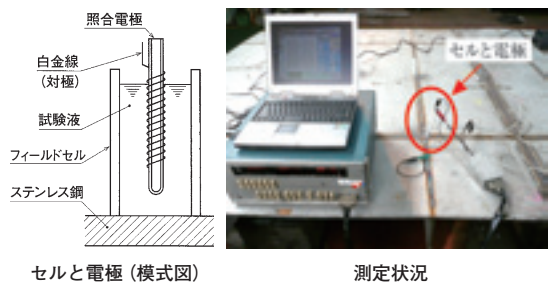


図3 現場の装置材料を測定する場合のセルと電極⁽²⁾
 (直径10mm～20mmのアクリルパイプを試験表面に接着剤で取り付け、試験液、対極、照合電極を挿入したもの)

2.3.2 現場での測定の注意点

上の図に示したとおり、試験温度と試験溶液量、試験片の向き、試験対象が接地していることなどが現場の状況に依存することが知られており、温度が低くなるに従って再活性化率の測定値 (R_m) も小さくなること、試験表面が上向きになると値が高くなること、状況によっては測定装置の接地を行わないようにすることなどを考慮しなければならない。⁽²⁾

2.3.3 過去の現場での測定から得られた知見

主に溶接熱履歴による鋭敏化の程度を測定するため、溶接線近傍に試験セルを立て、EPR法による試験を行ってきたが、以下のことがわかった。

(1) セル内で鋭敏化の程度の差について

鋭敏化の程度は、セル内の狭い範囲でも、溶接線からの距離に依存して大きく違い、その「平均値」を測定していることとなる。

平均化により、一部に高い領域があっても測定値としては低く出ることを考慮し、JISで規定している鋭敏化の程度から「鋭敏化の程度が高くない」とする再活性化率の測定値「 $R_m > 5.0\%$ 」に対し、例えば「 $R_m > 1.0\%$ 」などの管理値を設定する必要がある。これはより鋭敏化の程度が高い領域でもSCC感受性が高い値(例えば「 $R_m > 20\%$ 」)とならないことを担保するためである。

(2) 溶接金属と極めて近い位置に鋭敏化程度のピークがある場合の注意点

溶接の熱影響を受ける範囲のうち、鋭敏化への影響が最も大きい場所が溶接線の極めて側近(ゼロ～数十 μm)という場合があり、この場合円筒のセルを溶接線から離れた位置に立てると鋭敏化箇所が接液しないか、しても面積比が極めて小さいことになるので避けなければならない。

この場合、**図4**に示すように溶接金属部を絶縁材(マニキュアなど)でコーティングした後、コーティングを含めて溶接線の近傍が接液するようにセルを立てるという方法を採用した。

また、溶接金属と母材との境界に段差がある場合が多いが、その箇所が接液した場合、再活性化率の測定値(R_m)の評価が難しくなることがわかった。



図4 セルを溶接金属(絶縁コーティング済み)にかかる位置に接地したときの接着剤跡

これは、物理的な凹凸(特に凹部)の表面は研磨が難しく、凹部はすきま状となるため、その部分はすきま腐食状の腐食が起こりやすく、それ以外の自由表面と試験中の条件が変わるためと思われる、具体的には再活性化率の測定値(R_m)が大きく出ることがわかった。

そこで、高温とならない方法(リユータの低速回転等が望ましい)で段差を無くし、研磨により平滑にした後、同様の方法でセルを立てて再活性化率を測定したところ、再活性化率の測定値(R_m)と光学顕微鏡で観察⁽⁴⁾した金属組織(鋭敏化が進んでいない段状組織)とが一致し、再活性化率の測定値(R_m)が大きく出るといった事態は避けることができたと思われる。

(3) 溶接金属(SF-308)の接液に関して

(2)で示した状況で、溶接金属を含めた位置に試験セルを立てる場合、溶接金属は測定の対象外であるため、マニキュア等でコーティングしてからセルを立てることにしている。

溶接金属が接液した場合でも、復路において電流のピークに有意な影響を与えることがないことを確認しており、鋭敏化への熱影響が溶接線の側近にあることが疑われる場合は、溶接金属が接液しないことよりも、溶接金属と母材の境目を含めてセルを立てることに注力したほうがよいと思われた。

3. まとめ

一般的に材料試験というと、引張試験等の構造試験や、PT・RTといった非破壊検査が知られているが、腐食試験もその一部であり、腐食の形態に対応した腐食試験法がJISに規定されている。本稿で紹介したEPR試験を含め、腐食試験は非破壊でできる部分も比較的多くあり、注意すべき点さえ守れば再現性のあるデータを取得することができる。そのためには注意点を明確にし、精度を上げていく努力が必要だと考える。

参考文献

- (1) 「材料環境学入門」(社) 腐食防食協会
- (2) 「JIS G 0580 (2003) および解説」
- (3) 「(株) IHI 検査計測社外向けホームページ」
- (4) 「JIS G 0571 ステンレス鋼のしゅう酸エッチング試験方法」に準拠した方法でエッチングした表面をレプリセットにより転写して観察



研究開発事業部
基盤技術部
瀬瀬 知己
TEL. 045-759-2121
FAX. 045-759-2155