再処理プラント用改良ステンレス鋼 「304ULC」

稲積 透¹⁾ 中川大隆²⁾ 吉武明英²⁾
田村 学³⁾ 長嶺多加志⁴⁾

1. 開発の背景

核燃料再処理プラントの各工程では、核分裂生成物質から溶出した Ce^{4+} 、 Ru^{3+} 等の酸化性金属イオンを含有する高温硝酸を取り扱うため、ほとんどの機器および配管類にはステンレス鋼が使用される。最も多いのは304系ステンレス鋼で、より厳しい環境に対しては、310系ステンレス鋼も使用される。310系については、溶接部の耐食性および溶接性に問題があるとされ⁽¹⁾⁽²⁾、種々の改善策が検討されるとともに、母材の耐食性に及ぼすNb等の合金元素の影響についても多くの研究が行われてきた⁽³⁾。しかし、304系については、詳細な検討はあまり行われてこなかった。

著者らは、304系ステンレス鋼が最も多くの機器および配管類に用いられていることから、これらの耐食性を改善して信頼性を高めることは重要と考え、研究を開始した。当初の目的はJIS規格範囲内での化学成分の最適化にあり、極低CでCrとNiをSUS304Lの規格上限まで高めた成分系において、Si、N、P等の含有量を成分規格範囲内で変化させて耐食性を調べた。その結果、最適成分を有する開発材では、市販材より2～3割優れた耐食性が得られることがわかった。ところが、開発材の耐食性に及ぼす熱処理条件の影響を調べるうちに、PおよびC含有量を適当な範囲に限定し、適切な時効熱処理を施すことによって、耐食性を310系ステンレス鋼と同水準まで高められることを見いだした。

2. 開発材の時効熱処理特性

溶体化処理を施した開発材に、種々の温度で時効熱処理を施して耐食性の変化を調べた結果を、溶体化処理材

を基準(図中の破線)にした腐食速度の変化量として、図1に示す。試験液には、酸化性金属イオンとして Cr^{6+} を0.1g/L添加した8Nの沸騰硝酸を用い、24h毎に液を更新しながら120hの浸漬試験を行って、重量変化から平均の腐食速度を求めている。550と900°C付近では、溶体化処理材に比べ耐食性は劣化するが、650～850°Cでは、逆に向上することがわかる。

図2は、耐食性の向上が最も大きい750°Cでの、時効時間の増加に伴う耐食性の変化を示したものである。縦軸は図1と同様、溶体化処理材を基準とした腐食速度の変化量である。時効の効果は1minという短時間で現れ、5minですでに飽和する傾向にあることがわかる。

図1 開発材の耐食性に及ぼす時効温度の影響。

図2 時効時間の増加に伴う耐食性の変化。

* 日本鋼管株式会社

1)鉄鋼研究所部員 2)鉄鋼研究所主任部員 3)鉄鋼研究所室長 4)商品技術センター主任部員
Highly Corrosion Resistant Type 304ULC Stainless Steel for Nuclear Fuel Reprocessing Plants; T.Inazumi, H.Nakagawa, A.Yoshitake, M.Tamura, T.Nagamine (Nippon Kokan K.K.)
1988年1月30日受理

図3 750°C 時効材の再時効による耐食性の変化。

図3は、750°Cで1hの時効熱処理を施した開発材に、図1において最も耐食性の劣化が大きい550°C付近で、再度時効熱処理を施し、溶体化処理材と同様な耐食性の劣化が生じるかどうか調べた結果である。図より、750°Cであらかじめ時効を施しておけば、550°C付近に加熱されても耐食性の劣化は生じなくなることがわかる。

オーステナイトステンレス鋼に650°C付近で熱処理を施すと粒界腐食を生じやすくなること(鋭敏化現象)はよく知られており、JISの低炭素ステンレス鋼の耐粒界腐食性判定基準にも、この考え方が取り入れられている。しかし、ここで示したように、沸騰硝酸に酸化性金属イオンを添加した再処理プラント模擬環境においては、溶体化処理よりもむしろ積極的に650~850°Cで時効熱処理(AI処理: Anti-Intergranular-corrosion Treatment)を施すと耐食性がさらに改善されることがわかった。

3. 耐食性改善の機構

Cr⁶⁺等の酸化性金属イオンを含有する沸騰硝酸中で

は、ステンレス鋼の腐食形態は粒界腐食である。そこで、溶体化処理材および550、750°C時効熱処理材について透過電子顕微鏡による粒界の観察を行った。図4に示すように、いずれの場合も粒界に析出物は認められない。したがって、耐食性が変化する機構は、いわゆる鋭敏化や過時効ではなく、粒界における元素の偏析または粒界の結晶学的な変化等に関連したものと予想され、これらの点を中心に現在も検討を進めている。

4. 開発材の特性

図5は、開発材と市販の304ULC鋼および310ULC鋼の耐食性を比較したものである。開発材は、溶体化処理状態でも、304ULC鋼に比べ2~3割耐食性が優れているが、AI処理を施すと、さらに大きく耐食性は向上し、310ULC鋼とほぼ同等の水準にまで達することがわかる。

図6は、Cr⁶⁺濃度をさらに高めた環境での試験結果を示したものである。この試験条件は、再処理用材料の腐食試験として規定されているものである⁽⁴⁾。時効材の耐食性は、この環境においても310ULC鋼と同等の水

図5 開発材の耐食性(低Cr⁶⁺濃度)。

図4 溶体化処理材および時効熱処理材の透過電顕観察組織。

図6 開発材の耐食性(高 Cr^{6+} 濃度).

表1 開発材の機械的性質.

		溶体化処理材	AI処理材 (750°C)
引張性質	0.2%耐力 kgf/mm^2	21	21
	引張強さ kgf/mm^2	52	52
	伸び %	72	71
	絞り %	81	84
衝撃吸収エネルギー ¹⁾ $\text{kgf}\cdot\text{m}$		13	11

1) : 2mmV, 1/2サイズ

準にあることがわかる。

また、AI処理は、 Cr^{6+} を含まない硝酸中の耐食性に対しては全く悪影響を及ぼさず、処理後も、溶体化処理材と同等の優れた耐食性が得られることを確認している。

表1は、開発材の機械的性質を示したものである。AI処理を施しても、引張性質および衝撃吸収エネルギーはほとんど変化しない。また、いずれの性質も SUS304L の規格を満足している。

なお、SUSY308L を用いて作成した溶接継手は、十

分な耐食性と機械的性質を有しているばかりでなく、AI処理を施せば、母材と同様に耐食性が改善されるという結果も得られている。

5. ま と め

極低炭素の 304 システンレス鋼について、合金成分の適正化と新しい実用的な熱処理を組み合わせることにより、耐食性を大幅に改善することができた。開発材は、1 ランク上の 310ULC ステンレス鋼に匹敵する耐食性を有し、310 系の鋼でしばしば問題とされる溶接高温割れおよび溶接金属部の選択的な腐食の心配も少ない。また、成分的には SUS304L の規格範囲内にあるので使用上の法的な制約はなく、熱処理条件も有効な温度範囲が広いので、実施工においても容易に実施することができる。

以上のことより、開発材の技術は、核燃料再処理プラントの信頼性を高める上で、有望な技術の一つと考えられる。

6. 特 許

国内特許出願 2 件。

文 献

- (1) 篠原：三菱原子力技報，44(1986)，21.
- (2) 小川，桜井，小関，轟，賀川，山本：溶接学会全国大会講演概要，39(1986)，234.
- (3) 長野：第 64 回腐食防食シンポジウム資料，(1985)，17.
- (4) 科学技術庁：加工施設及び再処理施設の溶接の方法の認可について（通達），昭和 61 年。