

Ni-Cr 合金接継部の鋭敏化について

厳しい耐食性や高温での耐酸化性、耐食性 或いは高温の強度などが要求される場合、インコネルやハステロイで代表されるニッケル・クロム およびニッケル・クロム・モリブデン 合金が広く使用され、それらの要求を満たして高く評価されています。

しかし高い信頼のもとに採用されているこれらのニッケル合金も、溶接の施工方法が適切を欠くと 溶接部は脆化し、溶接直後ワレが発生したり、或いはプラント運転中に粒界腐食が進み、ワレにまで進行するトラブルにみまわれることがあります。

ここでトラブルの主原因のひとつと考えられている炭化物の粒界析出（鋭敏化 Sensitization）について述べてみます。

Ni 合金（Ni-Cr, Ni-Cr-Mo）は、その用途に応じて Cr, Mo 特に C 量が厳しく設定されていますが、いずれも熱入量の大きい溶接がなされた後に 430～900 °C の温度域を緩やかに冷却された時、Cr, Mo ときには ワイヤに添加された Ti, Nb などまで M₂₃C₆, M₆C, M₂C, MC 等の炭化物として粒界（Grain Boundary）に析出する傾向があります。

耐食性を確保するうえで不可欠の Cr が、Cr リッチの M₂₃C₆ をつくって粒界に析出すると、それに接している二つの結晶粒（Matrix）の粒界近傍に Cr 量の低値域（Cr Content Depletion Area）ができ、その Cr% が 15% 以下にまで低下した場合は耐食性が著しく損なわれます。

腐食環境において Cr 低値域と粒界に析出した Cr₂₃C₆ との間の電位の差から電流（Local Current）が流れて、いわゆる電食が始まります。

これが粒界腐食（Intergranular Corrosion）といわれるもので、ほとんどの場合 ワレにまで進むと考えられています。

溶接中に、熱影響部（HAZ）を含んだ溶接部に見られる ミクロ の粒界ワレも、ほぼ同じ理由で発生すると考えられ、ワレの頻度が高い場合は、炭化物のほかに Ti や Nb の酸化物等の 粒界析出（Oxide Inclusion）も検出されています。

炭化物は 430～900 °C の温度範囲で、主として粒界に析出しますが、Cr は 430～700 °C、Mo は 500～850 °C、Nb, Ti は 850～900 °C で炭化物を形成し、入熱が少なく冷却速度が大きいときは NbC, TiC 等はマトリックスに固定されて、Cr や Mo の粒界析出を防止する働きをします。

しかし、入熱量が大きく、溶接部が赤熱された場合は、溶接部の凝固も遅れ、緩やかに冷却されますので、Ti, Nb, Mo, Cr 等の炭化物がすべて粒界に析出し、極度に鋭敏化が進みます。

また、Ni 合金は熱伝導率が小さく、0.02～0.05 Cal/cm/sec/°C（Cu; 0.93, Al; 0.49 Fe; 0.15）したがって、溶接熱が急冷されにくい環境にあります。

このために、HAZ の結晶も粗大化する傾向があり、粗大化しますと、HAZ に存在する 粒界の総延長が劇的に短縮され、粒界単位長当たりの析出物(Precipitates)の量が多くなり、粒界の接着強度が著しく低下します。

そして、接着強度がマトリックスの耐力以下になった時は、冷却につれて収縮応力が高まると、粒界より剥離ワレを起こすようになります。

Ni 合金は、 1120 ± 20 °C で 1 hr/25t 維持することにより容体化(Solid Solution Treatment)され、その後直ちに急冷(水冷)されると常温で完全固容の状態となり、理想的な組織が得られ、優れた耐食性と延性が確保されます。

TR-82 (AWS A5.14-89 ERNiCr-3) は、以上の事柄を配慮して C 量を低くおさえて Nb を 2.5 % Ti を 0.3% 添加し、また 真空溶解を採用するなど独自のコンセプトに基づいて製作され、特に鋭敏化の抑制を強力にはかった溶接材料です。

これまで述べたように、溶接に際して最も注意すべきポイントは、入熱や(8.0 KJ/cm 以下) 母材のパス間温度(Interpass Temperature)を (50 °C 以下) 厳守することによって 溶接部が急冷されるよう配慮し、完全固溶に近い状態を確保することに尽きます。

その他、溶接材料では、底融点の共晶物をつくって溶接金属の粒界の接着強度を弱くするような P, S, As, Sb, Bi, Se, Pb, Sn などの不純物のない、純度の高い地金による溶解が不可欠の条件といえます。