

ニッケル合金溶接金属の高温純水中の応力腐食割れについて

静岡県浜岡町の中部電力浜岡原子力発電所1号機（沸騰水型、45万キロ・ワット）で原子炉炉底部の肉盛溶接に使用された INCO WELD 182（AWS A5.11-97 ENiCrFe-3）の溶接金属部に多数の割れが発見された（H13/11/27 YOMIURI ONLINE）というニュースは世間に大きな衝撃を与えました。

ここに伝えられるように INCO WELD 182 がなぜ割れるのかの問題を検証する事が必要となります。

弊社では1970年代より溶着金属中の酸素量について研究を重ねてまいり、その成果を一部「鉄と鋼」に発表いたしました。今日に及んで尚 Weld Metal に起こるトラブルの原因のひとつに、かなりの確率で酸素が拘っていると強く考えるようになりました。

INCO WELD 182は、インコネルといわれるニッケルとクロームの合金の被覆アーク溶接棒（AWS A5.11-97 ENiCrFe-3）でこれと併行して使用されていた INCO FM82（AWS A5.14-97 ERNiCr-3）Solid Wire で GTAW, GMAW Process に使用されます。

この82の溶接金属には割れがみられないと言われておりますことから、両者の化学成分の差異を見て、「182は82に比べて Nb Content が低いので耐食性が劣る」との観点から Nb Content を82と同じまですべて高めた182改を製造して、3号機は82と併用されましたが、割れは全く改善されず、4号機では82のみ使用されるにいたりました。

米国内でも、この種の割れを伺わせる論文が WELDING JOURNAL に GE の研究所から投稿されました。（1990）

この場合は溶接材料の Cr Content を高めて耐食性の改良をはかった様子がみられます。

わが国では、1995年石川島播磨重工業(株)が NACE に論文を寄せて、Cr 及び Nb Content を高めて Stress Corrosion Resistivity Index が34 以上になると応力腐食が発生しなくなることを主張いたしました。

以上の二つの論文とも原子力発電装置溶接関連の代表的なものとして評価されておりますが、これらの論文には弊社の持論であります Weld Metal 中の酸素量について全く言及されておられません。

浜岡原発一号機炉底部より182の Weld Metal を採取して、その酸素量を測定した結果、約300～500ppm 含まれていることがわかりました。

82溶接材料の酸素量は約30ppm 含まれておりますので、溶接時に入熱管理をすれば、

Weld Metal 中の酸素量もほとんど変わらないことから、約1/10以下となります。
酸素は酸化介在物を形成して主として結晶粒界に析出します。

ニッケル合金被覆アーク溶接棒の Weld Metal 中の酸素量は平均して約500ppmと考えられ TIG, MIG 用の Solid Wire では平均して30ppm ですので、同一規格の溶着金属の衝撃値を比較すると0℃において被覆棒は Solid 材に較べて約50～60%の値しか得られません。

このように酸素量の多い Weld Metal に耐力を超えるような応力が存在し、そこに熱サイクルが長期にわたって作用した場合、Thermal Stress が酸化介在物が多量に析出している結晶粒界に集中して疲労による粒界割れが発生することが考えられます。

Ni Cr 合金であります182や82は、耐熱材料でありますので、高温に曝される場所に採用されることが多く、650～815℃において Ni₃Nb (δ相) が結晶粒内に析出することが考えられ、実際その温度域で182の Deposited Metal を約1時間熱処理した場合の0℃における 衝撃値はさらに大きく低下いたします。

このときの衝撃試験片の破断面には明らかに Crystallinity (界面剥離組織) が見られます。

このように被覆アーク溶接棒のような酸素量の多い Weld Metal の衝撃試験片の破断面に脆性破断組織がみられるのは、軟鋼、高張力鋼、低合金鋼、ステンレス鋼、及びニッケル合金に共通して見られる現象といえることができます。

Solid Wire での衝撃試験片には Crystallinity は全く見られません。(軟鋼、高張力鋼、低合金鋼においては SMAW と同一温度域での衝撃試験の場合)

このことから、炭化物や酸化介在物及び低融点不純物などの結晶粒界析出物の量の多少が靱性に大きな影響を与えることがわかります。

解決法としては、耐酸化性の化学成分を備えた Ni 合金の Solid Wire で酸素量や低融点不純物の低い (Wire 中の酸素量10ppm 以下) ものを使用して GTAW あるいは GMAW Process を採用して行うことが炉底部の肉盛溶接部の補修方法として最適と考えられます。