

高温高压純水における SUS 304 鋼の 応力腐食割れ

— 溶存酸素量およびひずみ速度の影響 —

大阪大学溶接工学研究所 國城敏男、 黒田敏雄、 延 倫模

1. 緒言

沸騰水型原子炉の配管等に使用されている SUS 304 ステンレス鋼管の溶接熱影響部に生じる粒界を通る応力腐食割れ (IGSCC) は溶存酸素量、溶接による鋭敏化および残留応力の存在によるものとされている。この IGSCC は一見、粒界腐食とよく似た現象のようであるが、粒界腐食はすべての粒界が侵食されるのに対して、IGSCC はある特定の粒界に沿って進行するため本質的にはかなり異なった現象と考えられる。そこで本研究は高温高压水中の応力腐食割れ (SCC) の機構を検討するため、低ひずみ速度型応力腐食割れ試験装置 (SSRT) を用いて、溶存酸素量、ひずみ速度および結晶粒度と応力腐食割れとの関係を調べた。

2. 実験方法

供試材料は 0.04% C の SUS304 ステンレス鋼を用いた。溶体化処理は 1373 K, 1473 K および 1573 K で 1.8 ks 保持後、水冷した。結晶粒度はそれぞれ ASTM No. 5, 3, 1 であった。鋭敏化熱処理は 923 K で 7.2 ks 保持することにより行なった。高温高压水中の応力腐食割れは循環水回路 (Open circuit) 系の低ひずみ速度型応力腐食割れ試験装置 (SSRT) を用いて、562 K で 8 MPa の压力下で、溶存酸素量を 0.1-14 ppm, ひずみ速度を $4.17 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$ - $4.17 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 変化させて行なった。SCC 感受性は破断時のひずみ量、断面収縮率で評価した。材料の鋭敏化度を調べるため、10% シュウ酸エッチ (ASTM A262-A) 法、Strauss 試験 (ASTM A262-E) 法および電気化学的再活性化 (EPR) 法による粒界腐食試験を行なった。得られた破面は走査型電子顕微鏡により観察した。

3. 実験結果および検討

Fig.1 は ASTM No.5 の試料の応力-ひずみ線図におよぼす溶存酸素の影響を示す。溶存酸素が 1 ppm-0.1 ppm ではほとんど SCC は生じていないが、8

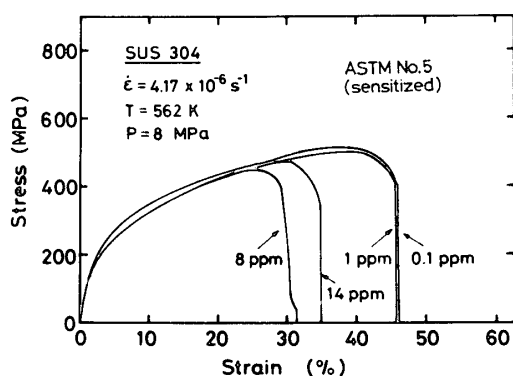


Fig.1 Effect of dissolved oxygen on the stress-strain curves for sensitized specimens

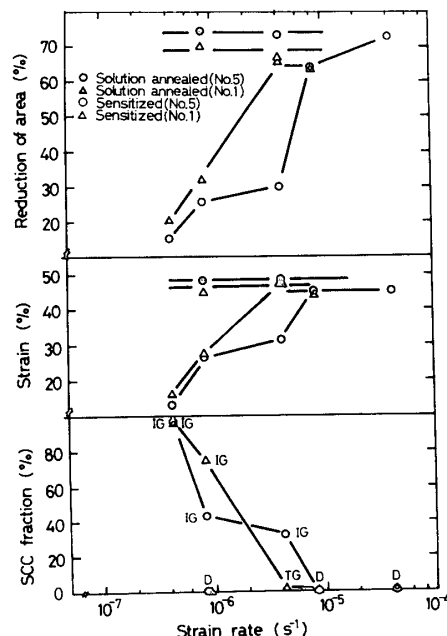


Fig.2 Effect of strain rate on the SCC susceptibilities of solution annealed and sensitized specimens

ppm 以上で破断ひずみ量はかなり小さくなり、SCCが生じることを示している。溶存酸素量が0.1-1 ppm ではほとんどSCC破面は生じていなかったが8 ppm 以上ではIGSCCが生じていた。

Fig.2 は溶存酸素8 ppm におけるSCC感受性およびSCC破面率におよぼすひずみ速度の影響を示す。溶体化処理材の場合、いずれの結晶粒度材ともにSCCはほとんど起こらない。鋭敏化材の場合、結晶粒度No. が小さいすなわち結晶粒径が大きいと、より低いひずみ速度までSCCは生じない。しかしひずみ速度が $8.35 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$ 以下になるとSCCは結晶粒度に依存せず生じる。

Fig.3 は鋭敏化された二種類の結晶粒度の試料における、引張試験中のひずみ量と電導度との関係を示す。4. $17 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ のひずみ速度の場合を見ると、結晶粒度No. 5の試料は溶体化処理材、鋭敏化処理材いずれも電導度はひずみ量に無関係に一定である。一方結晶粒度No. 1の粗大粒の場合、溶体化処理材は電導度は変化しないが、鋭敏化処理材の電導度はひずみの増加とともに増加している。この結果とFig.2 を比較すると粗大粒は全面腐食が起こりやすいことを示唆している。 $8.35 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$ の場合、溶体化材について、いずれの結晶粒度に無関係にひずみの増加と共に電導度が増加している。Fig.2 の結果ではSCCが生じていないことから、このひずみ速度では全面腐食が激しいものと思われる。そして鋭敏化処理材の場合はいずれの結晶粒度試料ともに電導度はわずかのひずみから急激に増加している。この溶体化処理材と鋭敏化処理材の電導度の差が粒界腐食によるものと考えられる。Fig.4 は溶存酸素8 ppm, ひずみ速度 $8.35 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$ におけるSCCの断面組織とStrauss試験による断面組織を比較したものである。結晶粒度No. 1の試料の場合、Strauss試験では粒界腐食が生じていないほどわずかなCr欠乏層の場合でもSCCは生じている。そしてFig.5 に示すように結晶粒径が大きいと粒内SCC破面が粒界破面にかなり混在している。

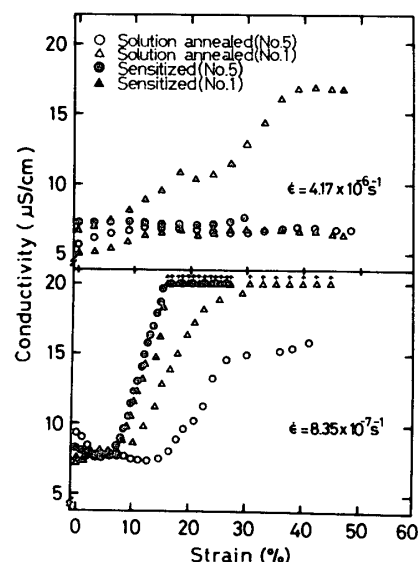


Fig.3 Effect of strain on the conductivity of solution annealed and sensitized specimens

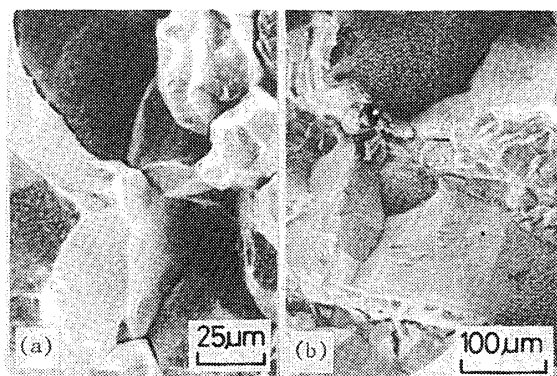


Fig.5 Fractographs of SCC for sensitized specimens tested at $8.35 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$
(a)ASTM No.5 (b)ASTM No.1

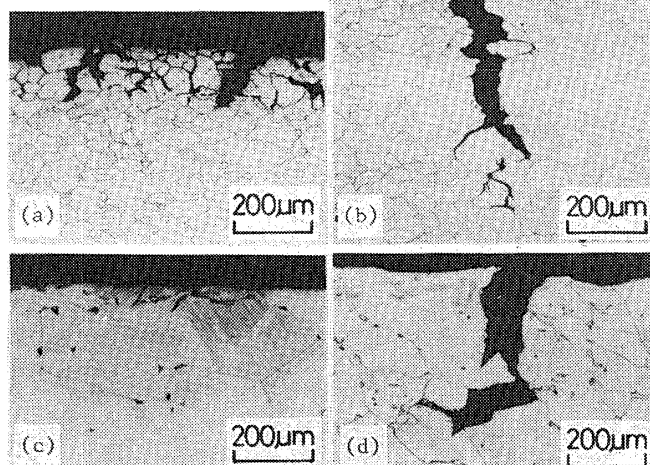


Fig.4 Optical micrographs of sensitized specimens after Strauss test(a),(c) and slow strain rate tensile test(b),(d)
(a),(b):ASTM No.5 (c),(d):ASTM No.1