

(656) 高温水中におけるき裂成長挙動に及ぼす材料の降伏強度の影響

* 原研・東海研 ○中島 甫*, 庄子哲雄**, 辻 宏和*, 高橋秀明**, 近藤達男**
 ** 東北大学・工学部

目的 軽水炉圧力境界壁材料の安全評価に当っては、高温高压水中でのき裂成長挙動を把握することが重要であり、この問題に焦点を絞った I A E A 主催の専門家会議も昨年行なわれた。筆者らは原子炉圧力容器に用いる SA533B 鋼の厚板溶接境界に存在する硬い焼戻しマルテンサイト部がき裂成長の加速に及ぼす高温水環境効果の著るしいことを既に報告した。本報では原子炉内相当の高温水中で降伏強度の異なる種々の材料について疲労き裂成長試験及び低速引張試験を実施し、き裂成長挙動を比較した。

方法 供試材は降伏強度が 480 MPa から 1213 MPa の範囲で 9 水準の低合金鋼とした。それらの一覧を表 1 に示す。試験環境は BWR 一次系を近似した 288°C, 84 気圧の高温純水で、試験中溶存酸素を 100 ppb から 200 ppb の間、比抵抗を 1 $\mu\text{mho}/\text{cm}$ 以下に保持した。疲労き裂成長試験は厚さ 30mm の ΔK 一定型試験片を用い、荷重波形は繰返し速度 1 C/min の三角波を基本とし、応力比が 0.1 と 0.5 の条件で実施した。低速引張試験は 25% の横溝付き ASTM 1T-CT 型試験片を用い、引張速度は 2×10^{-3} mm/min とした。

結果 9 鋼種について、き裂成長速度 (da/dN) と応力拡大係数範囲 (ΔK) の関係を比較した結果次の結論を得た。①大気中では材料の降伏強度水準や応力比の相違に拘らずほぼ同様の da/dN と ΔK の関係を示す。②応力比が 0.5 の場合、材料の強度水準の上昇に伴って、高温水環境によるき裂成長の加速が著しくなる。大気中と高温水中の da/dN の比で表わした加速係数を縦軸に、材料の降伏強度を横軸に取って整理したものが図 1 である。さらに水環境の効果が顕著になるにつれて破面形態も延性しま模様から擬壁開割れ粒界割れへと遷移する様子も合わせて図に示す。一方、高温水中での低速引張試験による環境中における単調増加荷重に対する材料の破壊抵抗の評価結果は、試験環境の強い影響を受け、大気中に比べて抵抗が目立つて減少することを示した。その傾向は変重荷重下での疲労き裂成長試験結果と同様に材料の降伏強度水準に関係がある。両試験の結果はき裂先端の歪速度の概念で整理することにより統一的に解釈することができる。

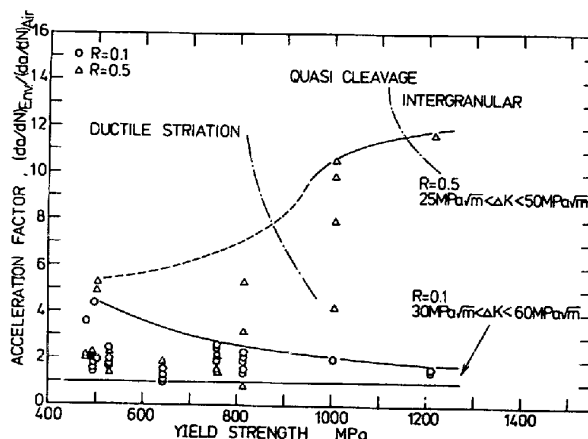


図 1 高温水によるき裂成長の加速係数と破れ形態に及ぼす材料の降伏強度の影響

表 1 供試材の熱処理条件、試験片切り出し方向、ミクロ組織及び室温引張性質

Steel	heat treatment	orientation	microstructural feature*	σ_y MPa	σ_{uts} MPa	ϵ %	ϕ %
SA533-a	890°C×3.5hr A.C.+600°C×3.5hr F.C. +600°C×40.5hr F.C.	L-S	B	480	610	27.0	69.2
SA533-b	1000°C×0.5hr O.Q.	L-S	M	1003	1128	19.3	73.0
SA533-c	1000°C×0.5hr O.Q.+620°C×40.5hr F.C.	L-S	B	499	629	30.0	
SA387	920°C×7.75hr A.C.+650°C×5.5hr A.C.	L-T	F+B	530	659	21.4	78.2
SA542	920°C×7hr W.Q.+630°C×4.75hr A.C.	L-T	M	644	750	19.2	80.9
SA543	920°C×1hr A.C.+670°C×1hr A.C.	L-T	B+F	759	902	22.4	75.0
JIS SPV46Q	as received (Quenched & Tempered)	L-T	B+F	490	603	20.0	70.0
AISI4340-a	870°C×1hr O.Q.+600°C×1hr A.C.	T-L	M	814	918	9.5	23.4
AISI4340-b	870°C×1hr O.Q.+400°C×1hr A.C.	T-L	M	1213	1369	2.9	6.6

* M; martensite, B; bainite, F; ferrite