

(752) 高温高压水素環境下におけるγ系ステンレス鋼肉盛金属のはく離現象(第1報)

—— オートクレーブによるはく離割れ試験結果 ——

日立造船(株)技術研究所 藤井忠臣、○狭間徳一

野村和夫、堀田隆一、中島宏幸

1. 目的 : 高温高压水素環境下で使用される压力容器で近年問題となっているγ系ステンレス鋼肉盛金属のはく離割れについて、その発生に及ぼす溶接後熱処理等の諸条件の影響を調査した。

2. 実験方法 : 表1に示す溶接条件によって肉盛された試験板より直径50mm母材厚さ25mmの試験片を採取し、溶接後熱処理を行った後、高温高压オートクレーブ中で水素添加(暴露)した。はく離割れ発生の有無は暴露後5日間経てから超音波探傷試験(UT)と断面顕微鏡観察で確認した。

3. 実験結果 : 試験条件ならびに結果をまとめて表2に示す。

(1) 図1に示すようにはく離割れは肉盛金属と母材との境界部において主に肉盛金属の粗大粒界に沿って発生する。(2) 溶接後熱処理温度が高く、時間が長くなると、図2の硬さ分布が象徴的に示すように母材中の炭素が肉盛金属側に移行して粒界での炭化物析出量が増し、はく離割れ感受性が高まる。(3) 水素暴露温度が高く、水素圧が高いほど、UTエコー高さの増加量ΔEが大きくなり、はく離割れが発生しやすくなる。(4) 第1回目の暴露でΔE値が1.0dBを超えた試験片を同じ条件で暴露を繰返すことによってはく離割れが著しく進展する。(5) 繰返しの試験によってもはく離割れが発生しない暴露条件が存在する。(6) 従来採られてきた溶接法、溶接条件(希釈率)および肉盛金属の種類の違いによって、はく離割れの発生しない暴露条件には大きな差がみとめられない。

表1 供試材の肉盛溶接施工条件

Mark	Layer	Type <sup>1)</sup> of Welding Material	Welding <sup>2)</sup> Process	Welding Condition <sup>3)</sup>			Thick. of Weld Metal $\ell_w$ (mm)	Dilution Ratio C (%)	Ferrite Content $a_f$ <sup>4)</sup> (%)
				Current (Amp.)	Voltage (V)	Speed (cm/min)			
G	1st	347	ESW	1200	25	15	5.1	6-7	4.6-8.9
H	1st	309L	SAW	1000	26-27	15	4.8	8-9	8.9-11.2
I	1st	309L	SAW	1200	26-27	23	4.1	13-15	11.0-13.6

Note: 1) Electrode size: 0.4mm thick, and 75mm width, Flux: Fused type  
 2) ESW: Electroslag welding, SAW: Submerged arc welding  
 3) Base metal thickness: 70mm, Preheating: 100-200°C  
 4) Measured by ferrite scope before postweld heat treatment



肉盛金属: 347L (ESW)  
 母材: A387 Gr. 22 Cl. 2鋼  
 溶接後熱処理条件:  
 593°C×6.0h+620°C×7.5h+691°C×15.3h  
 水素添加処理条件:  
 441°C. 9.6 kgf/cm<sup>2</sup> (9.4MPa) H<sub>2</sub>×48h

図1 はく離割れの代表的形態(倍率:×400)

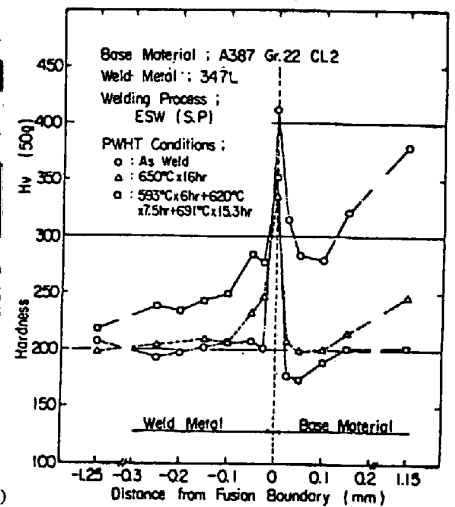


図2 境界部近傍における硬さ分布

表2 はく離割れ試験結果

Mark <sup>1)</sup>	1st Layer		2nd Layer Type	Exposure Condition <sup>3)</sup>				C <sub>0</sub> <sup>7)</sup> , ppm		Echo Height ΔE <sup>8)</sup> , dB	Crack Length L <sub>c</sub> <sup>9)</sup> , mm
	Type	ψ <sup>2)</sup> %		T <sub>0</sub> <sup>4)</sup> , °C	P <sub>H2</sub> <sup>5)</sup> , kgf/cm <sup>2</sup>	t <sub>h</sub> <sup>6)</sup> , h	Cycle Num.	Before Cool	After Cool		
GA 11	347	6.5	-	454	130	0	1	33.4	816	0	0
CB 11	"	"	"	441	96	"	"	27.9	651	+0.5	0
GC 11	"	"	"	"	71	"	"	24.0	560	+0.5	0
GD 11	"	"	"	"	49	"	"	19.9	465	+1.0	0
GD 21	"	"	"	454	130	"	"	33.4	816	+22.0	14.0
GD 21	"	"	"	441	96	"	"	27.9	651	+24.5	12.0
GD 31	"	"	"	"	71	"	"	24.0	560	+15.0	1.9
GD 41	"	"	"	"	49	"	"	19.9	465	+5.5	0
GD 42	"	"	"	"	"	"	2	"	"	+22.5	12.9
GD 51	"	"	"	"	96	2.5	1	18.4	374	0	0
GD 53	"	"	"	"	"	"	3	"	"	+0.5	0
HD 11	308	8.5	-	441	96	0	1	27.9	651	+22.0	6.8
HD 21	"	"	"	"	71	"	"	24.0	560	+19.5	6.2
HD 31	"	"	"	"	49	"	"	19.9	465	+2.5	0
HD 32	"	"	"	"	"	"	2	"	"	+27.5	15.8
HD 41	"	"	"	"	96	2.5	1	18.4	374	0	0
HD 43	"	"	"	"	"	"	3	"	"	+0	0
ID 11	308	14.0	-	441	96	0	1	27.9	651	+26.0	6.7
ID 21	"	"	"	"	49	"	"	19.9	465	+1.5	0
ID 31	"	"	"	"	96	2.5	1	18.4	374	+18.0	5.6
ID 33	"	"	"	"	"	"	3	"	"	+1.0	0
ID 33	"	"	"	"	"	"	3	"	"	+0	0

Note:  
 1) PWHT condition:  
 A: As welded  
 B: 650°C×16h  
 C: 593°C×6.0h+620°C×7.5h+691°C×5.1h  
 D: 593°C×6.0h+620°C×7.5h+691°C×15.3h  
 2) ψ: Dilution ratio  
 3) Hydrogen charging time: 48h Cooling rate during shutdown: 400°C/h  
 4) T<sub>0</sub>: Hydrogen charging temperature  
 5) P<sub>H2</sub>: Hydrogen pressure during hydrogen charging  
 6) t<sub>h</sub>: Holding time at the temperature T<sub>0</sub> under argon atmosphere after charging  
 7) C<sub>0</sub>: Hydrogen content at fusion boundary in weld metal  
 8) ΔE: Increment of ultrasonic echo height after when specimen was held at ambient temperature for 5 days  
 9) L<sub>c</sub>: Total length of cracks detected in 7 cross sections