

122 完全オーステナイト系 SUS316 の電子ビーム溶接部の凝固割れに関する研究

大阪大学 工学部

中尾 嘉邦
○ 勝 信一郎

1. 緒言 核融合炉第一壁材料の有力な候補材料の一つとして SUS316 型オーステナイト系ステンレス鋼があげられている。SUS316 を核融合炉材料として使用する場合には、完全オーステナイト組織とし、非磁性を計る必要がある。一方、凝固割れを防止する観点からは、溶接金属中に数%の δ フェライトが残存する様成分調整を計る必要がある。本研究においては、完全オーステナイト化を計った SUS316 を電子ビーム溶接する場合、溶接部に発生する高温割れを防止するため、P の低減化効果ならびに REM (La+Ce) 添加効果について検討を加える。その結果について報告する。

2. 供試材料ならびに実験方法

供試した材料の化学成分を Table 1 に示す。供試材料は、大気中で高周波溶接炉により 30 kg のインゴットを溶製後、1200°C に加熱して 45 mm 角材に鍛造加工したものである。

PA, PB, PC 材は他の成分をほぼ一定とし、P 含有量を変化させた材料であり、RA, RB, RC, RD 材は、通常レベルの P を含有する材料に REM を添加した材料である。これらの材料はいずれも Ni 含有量を高めることにより完全オーステナイト化を計っている。

電子ビーム溶接は 45 × 230 mm の試験片を用い、出力 6 kW の高電圧型電子ビーム溶接機を使用し、斜面上昇法により、下記の条件で実施した。すなわち、加速電圧；150 kV、ビーム電流；40 mA、溶接速度；600, 1000, 1400 mm/min、焦点距離；220 mm、Ab 値；0.7 ~ 1.2、真空度； 5×10^{-4} Torr、斜面角；30° である。

3. 凝固割れの発生位置 電子ビーム溶接を行った試験片を溶接方向と直角で、入射ビームと平行方向に 10 mm 間隔で切断し、ビード断面における凝固割れの有無ならびに発生位置について検討を加えた。その結果の一例を Fig. 1 (a) ~ (c) に示す。発生した溶接割れについて光学顕微鏡観察ならびに走査型電子顕微鏡観察を実施したが、ほとんどの割れは溶接金属の柱状晶粒界に発生した凝固割れで、ビード横割れであった。Fig. 1 (a) は P を 0.026 % 含有する通常の SUS316 材 (PC 材) の結果で、板表面から溶け込み深さの 20 ~ 40 % の位置で多数のビード横割れが認められる。Fig. 1 (b) は通常 P 含有量 (0.027 % P) の SUS316 材に REM を 0.05 % 添加した RA 材の結果で、あまり顕著な傾向はみられないが、 $R_p/R_s = 0.3 \sim 0.8$ にかけて比較的多くの割れが発生している。ここで R_s ：板表面から割れまでの距離 (mm)、 R_p ：溶け込み深さ (mm) である。Fig. 1 (c) は 0.029 % P を含んでいる SUS316 に REM を 0.41 % 添加した RD 材の結果で、 $R_p/R_s = 0.3 \sim 0.8$ にかけて多数のビード横割れが発生している。

Table 1 Chemical compositions of materials (wt%)

Mark	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	REM
PA	0.062	0.51	0.95	0.005	0.006	16.70	13.64	2.27	—
PB	0.061	0.50	0.94	0.019	0.006	16.70	13.49	2.29	—
PC	0.059	0.87	0.97	0.026	0.007	16.97	13.66	2.25	—
RA	0.047	0.61	0.99	0.027	0.009	17.04	13.62	2.21	0.05
RB	0.053	0.54	0.94	0.028	0.008	16.20	13.49	2.35	0.12
RC	0.064	0.54	0.97	0.028	0.007	16.64	13.38	2.32	0.25
RD	0.056	0.51	0.92	0.029	0.007	16.24	13.54	2.37	0.41

4. 凝固割れ感受性に及ぼすP及びREMの影響

Fig.1の結果から明らかのように、Pを0.025%程度含有する通常のSUS316の組織を完全オーステナイト化すると、凝固割れ感受性は極めて高くなる。そこで完全オーステナイト系SUS316の凝固割れ感受性の改善方策として低P化効果ならびに荒田、松田ら¹⁾がSUS310S材について明らかにした、REM添加効果の有効性について検討を加えることにした。

Fig.2は低P化効果について検討を加えた結果であるが、溶接速度の遅速により程度の差はあるが、P含有量が減少するにつれて凝固割れ感受性は低下し、P含有量が0.005%の場合には凝固割れは発生しなくなる。Fig.3はREM添加効果につき検討した結果である。P含有量はSUS316の一般市販材中に含まれるP量、すなわち0.027~0.029%としている。REM添加による凝固割れ感受性の改善効果は著しく、0.25%のREM添加により凝固割れの発生は本実験の範囲内でほぼ防止できる。しかし過剰なREM添加は凝固割れ感受性を高める。

Photo.1はRC材の溶接金属薄板破断面のディンプル底の存在物のEDX分析結果である。REMがPを固定しており、このためREM添加により凝固割れ感受性が改善されるものと考えられる。

参考文献

- 1) 荒田、松田他;溶接学会講概, Vol.24 (1981), 134

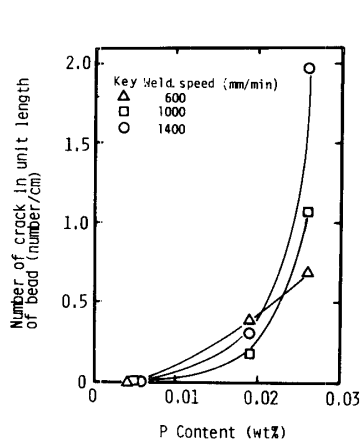


Fig.2 Effect of P on the susceptibility of solidification crack-ing

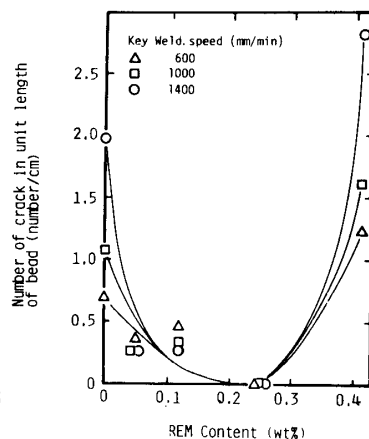


Fig.3 Effect of REM on the susceptibility of solidification crack-ing

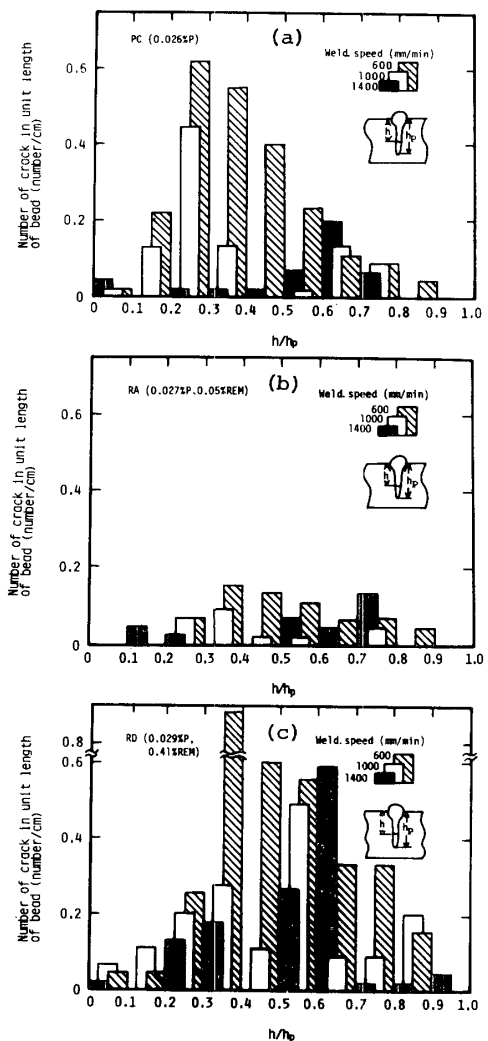


Fig.1 Relation between number of crack in unit length of test bead and h/h_p

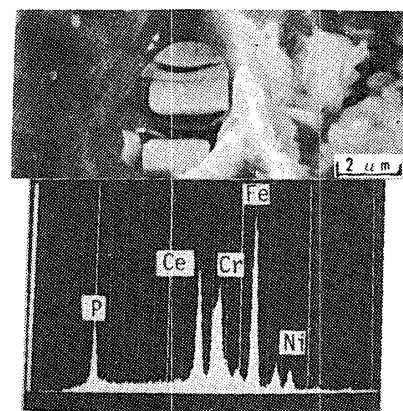


Photo.1 SEM microstructure of fractured surface and EDX analysis, Material: RC (0.028%P, 0.25%REM)