

220 オーステナイト系ステンレス鋼の溶接凝固割れに関する基礎的研究(第6報) — SUS310Sの耐割れ性の改善に対する添加合金元素の効果 —

大阪大学 溶接工学研究所

荒田 吉明
松田 福久
○ 片山 聖二

1. 緒言 ステンレス鋼の通常の製鋼法では、脱炭はきわめて困難とされている。このため、本報告では、現在市販鋼レベルのPを含有するSUS310Sを用い、これに数種類の合金元素を添加し、耐割れ性の改善に及ぼす効果(特に、Laの効果)について検討を行った。

2. 使用材料および実験方法 使用材料は、SUS310S(0.028%P, 0.05%S)にTi, Zr, Nb(Cb), Ta, Mo, MnおよびLaをそれぞれ添加し、高周波溶解炉(Ar中)で溶製したもの(100^t×50^w×5^tmm)である。さらに、3種類のSUS310S(0.02~0.025%P, 0.002~0.015%S)にLa(約0.7%以下)、一部REM(約0.2%以下)を添加した材料を用いた。

実験では、Trans-Varestraint割れ試験を行い、BTR(°C)を求めた。また、実際上の割れ発生傾向について検討するため、Cast-pin tear試験(外径30mm^φ; 内径約10mm^φ; cast-pinの拘束距離約100mmの銅鑄型)、GTAによるスポット溶接(300A, 20V, 2sec)およびビード溶接(250A, 20V, 1400mm/min)ならびに電子ビームによるビード溶接(12mm^t; 40(30)mA, 150kV, 2000(1000)mm/min, $\alpha_b \approx 1.0$)を行った。

3. 実験結果

3.1 PおよびSの比較的高いSUS310SのBTRに及ぼす添加合金元素の効果

Fig. 1はSUS310S(0.028%P, 0.05%S)に各元素を添加した場合の添加量とBTR($\epsilon \approx 4\%$)の関係を示す。微量のLa, TiおよびZrならびに数%のTa, Nb, MoおよびMnについては、BTRが狭くなっており、耐割れ性の改善が見られる。特に、約0.3%Laでは約120°Cにまで減少している。次に、凝固組織の観察を行った結果によれば、約1%以上のTiおよびZrならびに約1.5%以上のMoでは δ フェライトが認められ、約1%以上のTi, 約0.25%以上のZrならびに約0.5%以上のNbおよびTaでは炭化物共晶が認められた。これらのため、耐割れ性が改善したものと考えられる。したがって、Laは完全オーステナイト組織を示し、しかも、耐割れ性を最も向上させることが判明した。

3.2 SUS310S(0.02~0.025%P, 0.002~0.015%S)の耐割れ性の改善に対するLaまたはREMの効果

Fig. 2は、LaまたはREM(Laを含むミッシュメタル)を添加したSUS310Sについて、添加量とBTRの関係を示したものである。図から、各S含有量に対して

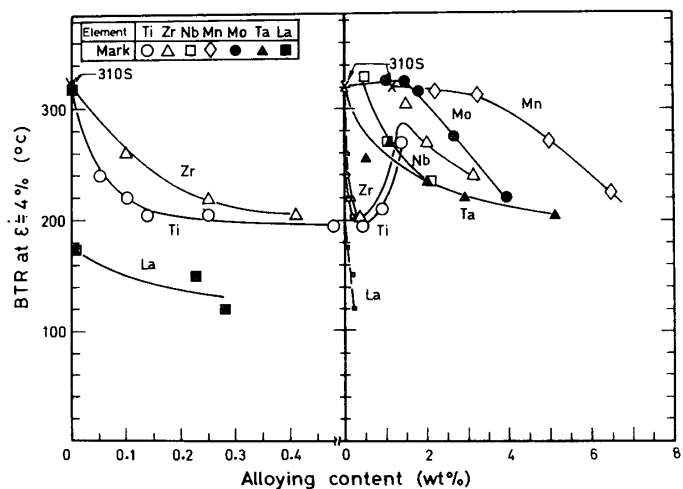


Fig. 1 Effects of alloying additions on BTR($\epsilon \approx 4\%$) of SUS310S(0.028%P, 0.05%S) weld metals.

最適添加量が存在することがわかる。これについて求めると、(I)約0.001~0.002% Sでは約0.08% La, (II)および(IV): 0.002~0.011% Sでは約0.15% LaまたはREMならびに(III) 0.015~0.02% Sでは約0.3% Laとなる。

このLaの実用上における効果を確認するため、Cast-pin tear試験ならびにGTA溶接および電子ビーム溶接を行った。その結果をFig.3およびFig.4に示す。0.002% Sの場合(Fig.3)、無添加のSUS310Sではいずれの結果でも割れが発生したのに対して、約0.06~0.15% Laの添加ではいずれの結果も割れの発生が認められなくなった。また、約0.015% Sの場合(Fig.3)には、約0.3~0.4% Laで耐割れ性がきわめて改善された。さらに、電子ビーム溶接の結果(Fig.4)では、市販鋼で $L_T=1\sim 10\text{mm}$ の水平割れが発生したのに対し、0.15~0.34% Laまたは0.17~0.21% REMで割れの発生は認められなくなった。

以上のことから、LaまたはREMの適量添加が耐割れ性の改善に有効であることが判明した。

3.3 La添加効果の冶金学的検討

La添加のSUS310S鋼では、その溶接ビード表面上にスラグが認められた。これを解析した結果、 $\text{La}_2\text{O}_3\text{S}$ (一部 La_2O_3)であることが判明した(Laの脱硫作用)。一方、溶接金属中の生成相について検討した結果、一例をFig.5に示すように、 LaP 燐化物、一部 LaS 硫化物が生成することが判明した。次に、 LaP 燐化物の熔融温度を測定した結果、約 $1250\sim 1300^\circ\text{C}$ 以上(通常の $\gamma\text{-M}_2\text{P}$ 燐化物に比し、約 $150\sim 200^\circ\text{C}$ 高融点化)であることが推定された。一方、 LaS 硫化物の熔融温度は約 1350°C 以上と測定された。

以上の作用が認められたことから、LaはPおよびSの悪影響を軽減または除去できる元素であると考えられる。なお、Laの過剰添加で耐割れ性が逆に低下した理由は、La環化の低融点残留融液量が増加したためと考えられる。

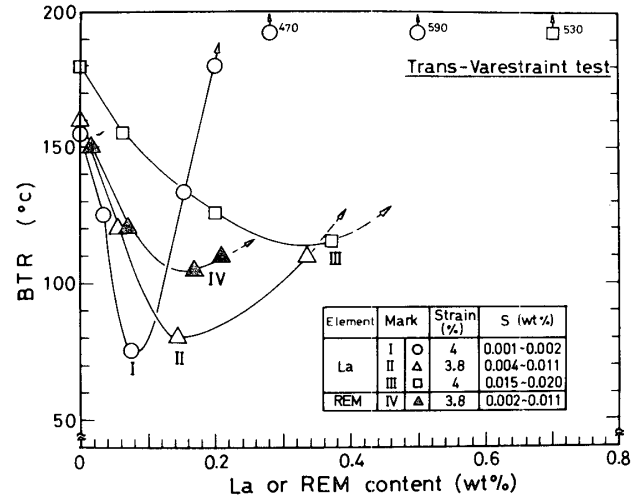


Fig. 2 Effects of La and REM on BTR ($\epsilon \pm 3.8\sim 7\%$) of SUS 310S (0.021~0.025%).

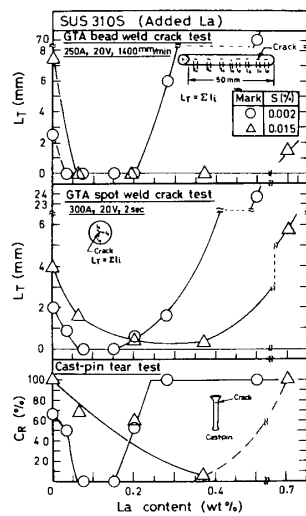


Fig. 3 Effect of La on cracking susceptibility of SUS310S (0.024%P-0.002%S; 0.025%P-0.015%S).

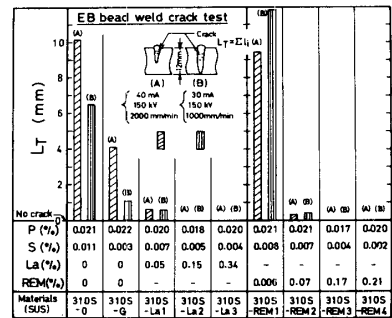


Fig. 4 Effects of La and REM on L_T of cracks in cross section of electron beam weld metals of SUS310S.

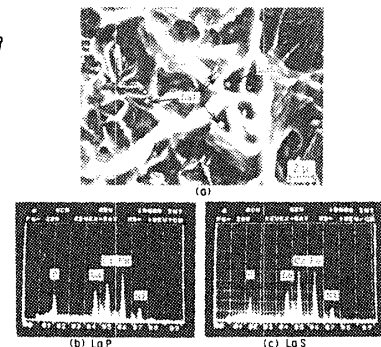


Fig. 5 SEM micrograph of fracture surface of SUS310S (0.018%P, 0.005%S, 0.15%La) weld metal (a) and EDX results of globular phases (b) and (c).