

溶接金属の割れ感受性に及ぼすSの影響 —インバー合金の溶接性に関する研究（第1報）—

大阪大学大学院 西本和俊

○森 裕章

江崎公二

Effect of Sulfur on Crack Susceptibility in Weld Metal of Invar Alloy

— Study on Weldability of Invar Alloy (Report 1) —

by Kazutoshi NISHIMOTO, Hiroaki MORI and Kouji ESAKI

1. 緒言

インバー(Fe-36%Ni)合金は、熱膨張係数が極めて小さい合金として古くから知られている。近年では、その特性を利用し、LNGをはじめとする低温物質輸送用構造物の材料としてインバー合金を使用することが検討されている。しかしながら、従来よりインバー合金については多層盛溶接や補修溶接時においてビード内に割れが発生することが問題点として指摘されている¹⁾。インバー合金の溶接割れに関して、これまで合金中の不純物元素の影響についてはいくつかの研究がなされており、なかでもSの影響が顕著であることが報告されている²⁾ものの、割れ発生の原因や機構については未だ十分に解明されてはいない。そこで、本報ではインバー合金の溶接割れ感受性に及ぼすSの影響について検討を行った。

2. 供試材料および実験方法

供試材料として、Table 1に示すようにS濃度を0.001, 0.004および0.011%と3段階に変化させたインバー合金を使用した。溶接金属の割れ感受性の定量的評価手法としてトランス型およびダブルビードをおいたロンジ型のバレストレイン試験を採用した。試験条件はTable 2に示すように溶接条件を一定とし、負荷ひずみを約1, 2および3%と変化させた。

Table 1 Chemical compositions of materials used (mass%)

Mark	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Al	N	O
IN0	.18	.10	.09	<.001	<.001	<.01	35.94	<.01	<.01	<.01	.001	.0004	.001
IN3	.20	.10	.10	<.001	.004	<.01	35.17	<.01	<.01	<.01	.002	.0003	.001
IN4	.21	.11	.10	<.001	.011	<.01	36.12	<.01	<.01	<.01	.002	.0003	.001

Table 2 Conditions for Vareststraint test

Welding current (A)	120
Welding voltage (V)	14
Welding speed (mm/s)	1.67
Flow gas rate (l/s)	0.25
Augmented strain (%)	0.50, 0.99, 1.90

3. 実験結果および考察

3.1 凝固割れ感受性の検討（トランス・バレストレイン試験結果）

各鋼種に対してトランス・バレストレイン試験を行った結果、負荷ひずみが1%以上の条件下においてはいずれの鋼種においてもFig.1(a)に示すようにビード止端部近傍において500~600 μ m程度の微細な割れが発生しているのが観察された。さらに、0.011%のSを含むIN4材ではFig.1(b)に示すような7mmにも達する縦割れの発生が確認された。これらの割れ破面を観察した結果、ビード止端部近傍の割れはFig.2(a)に示すように高温側でデンドライト状の様相が見られることから凝固割れであると判断される。一方、縦割れはFig.2(b)に示すように破面が平坦であり、柱状晶粒界が明確であることから、延性低下割れであるといえる。凝固割れの発生状況を定量的に評価するために、S含有量と総割れ長さの関係を調査した結果、Fig.3に示すように、S含有量の増加とともに総割れ長さも増加した。その傾向は、0.004%以上のSを含むIN3およびIN4材において顕著であり、IN0(0.001%S)材では割れの発生はみられない。凝固脆性温度範囲(BTR)を明らかにするために、割れ発生温度域とS含有量の関係を調査した。その結果をFig.4に示す。同一負荷ひずみ条件で比較した場合、S含有量の増加とともに割れ発生温度域が低温側に拡大することが明らかとなった。

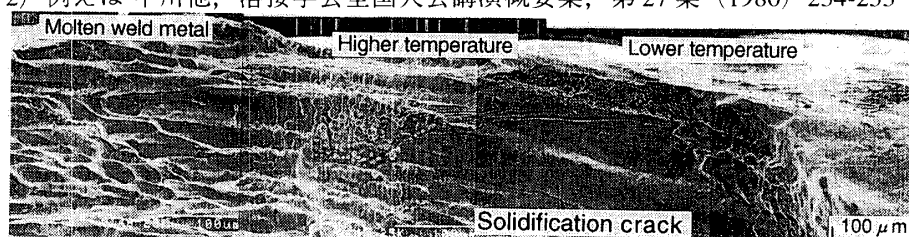
3.2 溶接金属の再熱割れ感受性の検討（ダブルビード・バレストレイン試験結果）

溶接金属に対して再度熱サイクルが付加された場合の割れ感受性に及ぼすSの影響を調査するために、ダブルビード・バレストレイン試験を行った。その結果、第1ビード内の750～1200Kの温度域において割れが観察された。その割れ破面を観察した結果、Fig.5に示すように柱状晶粒界を割れが伝播しており、延性低下割れの様相を呈している。割れ感受性に及ぼすSの影響を明らかにするために、S含有量と総割れ長さの関係を調査した結果、Fig.6に示すように0.004%以上のSを含む場合に割れが発生し、0.004%と0.011%の間で急激に割れが増加する傾向が認められた。

以上の結果より、溶接金属における再熱割れを抑制するためには、S含有量の低減が重要であり、S濃度を0.001%以下とすることで再熱割れを防止できる可能性があることが明らかとなった。

参考文献

- 1) 例えば 小川他, 溶接学会全国大会講演概要集, 第32集 (1983) 148-149
- 2) 例えば 中川他, 溶接学会全国大会講演概要集, 第27集 (1980) 254-255



(a) Solidification crack



(b) Ductility-dip crack

Fig.2 General appearance of crack surface

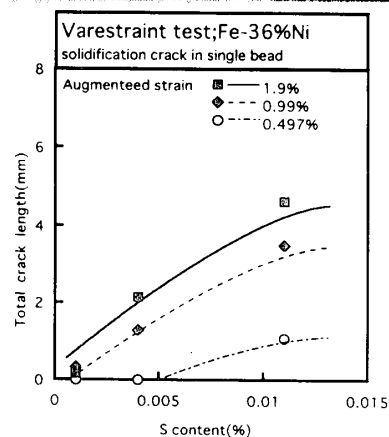


Fig.3 Relationship between S content and total crack length

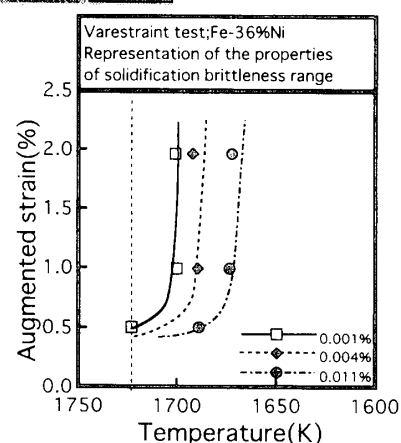


Fig.4 Solidification ductility curves



Fig.5 General appearance of crack surface

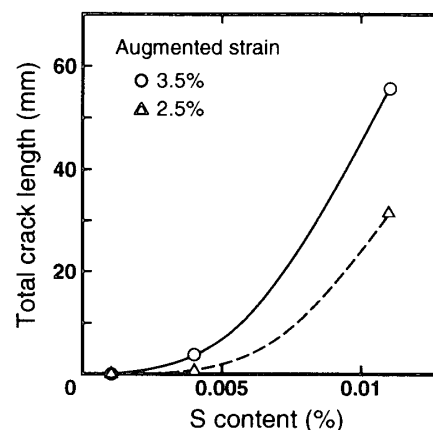
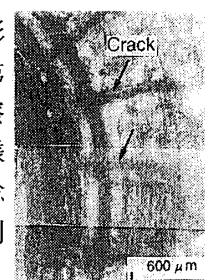
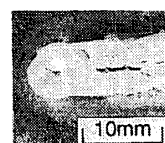


Fig.6 Relationship between S content and total crack length



(a) IN3(0.004%S)



(b) IN4(0.011%S)

Fig.1 Appearance of specimen after Trans-Varestraint test