

大阪大学工学部
大阪大学大学院

中尾嘉邦 ○篠崎賢二
佐々木邦裕

1. 緒言

Ni基超耐熱合金の溶接施工時の問題点の一つとして、液化割れが発生しやすいことがあげられる。したがって、溶接に際しては、各種合金の液化割れ感受性を十分把握しておく必要がある。ところが、従来より、液化割れ感受性を系統的に整理した研究は、あまりなされていなのが現状である。そこで本報告は、各種Ni基超耐熱合金の液化割れ感受性をバレストレイン試験法を用いて調べるとともに、その液化割れの支配因子として、MC型炭化物、粒界偏析などに注目し、各種合金の液化割れ因子を明確にすることを目的として検討を行なったものである。

2. 供試材料及び実験方法

使用した材料は、Inconel 718, Inconel X-750, Nimonic 90, Waspaloy, Inconel 625及びHastelloy C-276の6種類の合金であり、その化学組成を

Table 1 Chemical compositions of materials used (wt%)

Materials	Chemical compositions (wt%)															
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Co	Fe	Al	Ti	Nb+Ta	B	Zr	Ni	other
Inconel 718	0.036	<0.05	0.11	<0.005	0.004	18.89	3.08	<0.05	19.18	0.43	1.05	4.97	0.003	0.002	Bal.	
Inconel X-750M1	0.035	<0.05	0.08	<0.005	0.004	15.14	0.05	<0.05	7.00	0.75	2.63	0.95	0.004	0.060	Bal.	
Inconel X-750H	0.04	0.20	0.08	0.004	0.002	15.63	-	0.02	7.02	0.51	2.37	0.96Nb	-	-	Bal.	
Nimonic 90	0.10	0.12	0.30	<0.001	0.001	19.49	-	16.94	0.21	1.47	2.37	-	0.003	0.03	Bal.	
Waspaloy	0.04	0.05	<0.05	<0.005	<0.001	19.20	4.26	13.0	0.11	1.46	2.87	-	0.006	0.075	Bal.	
Inconel 625*	0.05	0.2	0.2	-	-	21.5	9.0	-	2.5	0.2	0.2	3.6Nb	-	-	Bal.	
Hastelloy C-276*	<0.02	-	-	-	-	15.5	16.0	-	5.0	-	-	-	-	-	Bal.	3.7W

*:Nominal composition

Table 1に示す。これらの合金を1000~1100°Cで溶体化処理し、バレストレイン試験を行なった。試験片形状は、板幅50mm, 板の長さ80mm, 板厚3mmである。試験ビード溶接は、GTAにより、下記の条件で実施した。すなわち、 $I=100A$, $V=16V$, $v=100\text{mm/min}$ である。負荷ひずみ量(ε)は、0.25, 0.77, 1.2, 1.7, 2.6及び3.4%の6段階に変化させた。また、溶融境界からHAZ側方向に約0.5mm間隔でそれぞれのピーク温度を測定し、HAZ内のピーク温度分布曲線を求めた。この曲線を用い、割れの終端部の温度を求めた。

3. 実験結果及び考察

Fig.1は、Inconel 718におけるバレストレイン試験結果を最大割れ長さ(L_{max})と負荷ひずみ量(ε)との関係で示したものである。これより、 ε が約15%以上では、 L_{max} は、ほぼ飽和する傾向が認められる。このような傾向は、他の合金においても認められた。各合金間の液化割れ感受性を比較するパラメータとして、本研究では、この L_{max} の飽和値に着目し、これを温度に換算した値を用いることにした。Fig.2は、 ε が3.4%の場合の L_{max} において、溶融境界線を液相線温度(T_L)とし、割れの終端温度(T_C)を求め、($T_L - T_C$)をパラメータとして、各合

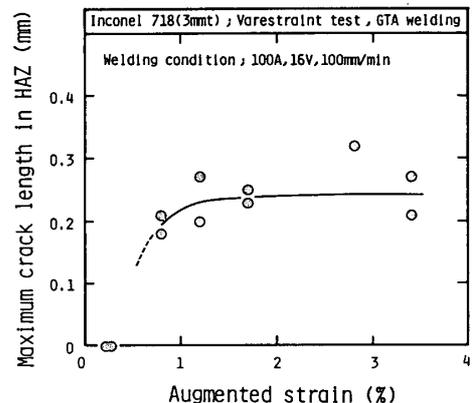
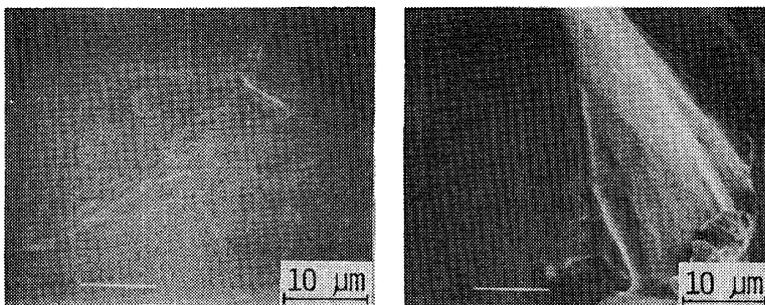


Fig.1 Relation between augmented strain and the maximum crack length in HAZ in the Vareststraint test

金について、この値を示したものである。これより、液化割れ感受性は、Hastelloy C-276, Inconel X-750 M1, Nimonic 90, Inconel X-750H, Inconel 718, Inconel 625 及び Waspaloy の順に高くなることがわかる。Fig. 3 は、熱分析により求めた液相線温度および固相線温度(T_S)の差($T_L - T_S$)と、($T_L - T_C$)との関係を示したものである。これより、Hastelloy C-276 は、 T_S と T_C がほぼ一致していることが明らかとなった。一方、他の合金の T_C は、いずれも T_S より低い温度まで割れが伝播しており、局部溶融現象が起っているものと考えられる。

次に、Hastelloy C-276 及び Inconel 718 について液化割れ感受性の違いを明らかにするため、その割れ破面観察を行なった。Photo. 1(a) 及び (b) は、それぞれ Inconel 718 及び Hastelloy C-276 の液化割れ破面形態を示したものである。両合金とも滑らかな粒界破面となっているが、析出物などは観察されず、明瞭な違いは認められなかった。そこで、この液化破面について、オーズ電子分光分析を行なった。すなわち、2500倍に拡大した $75 \times 95 \text{ mm}$ の視野の面分析を行なった。その結果、Hastelloy C-276 においては、粒界に微量元素の偏析は認められなかったが、Inconel 718 においては、Nb が検出された。Fig. 4 は、Inconel 718 の液化粒界および粒内における、Nb と Ni との相対強度比を示したものである。これより、ばらつきはあるが粒界に Nb が偏析していることがわかる。以上のことより、Nb は粒界に偏析し、融点を低下させ、液化割れ感受性を高めるものと考えられる。



(a) Inconel 718

(b) Hastelloy C-276

Photo.1 Intergranular fractured surfaces of liquation crack in Inconel 718 and Hastelloy C-276

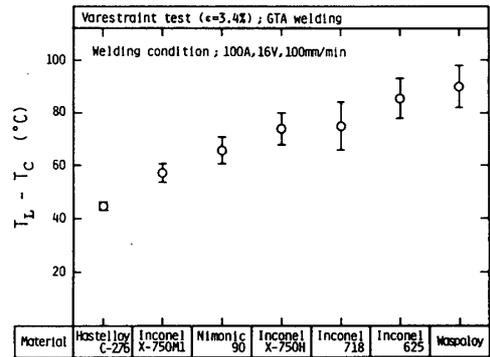


Fig.2 Evaluation of liquation crack susceptibility of various alloys

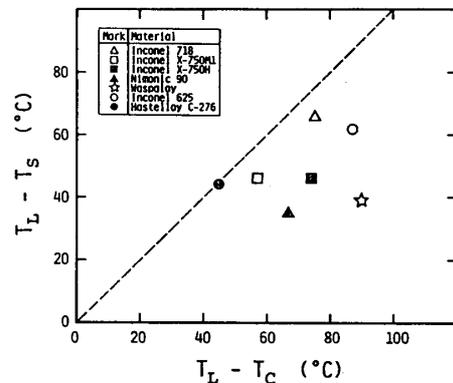


Fig.3 Relation between ($T_L - T_S$) and ($T_L - T_C$) in various alloys

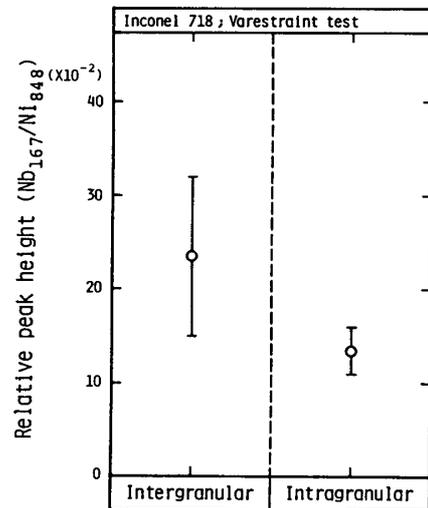


Fig.4 AES results on intergranular fractured surface and intragranular fractured surface in Inconel 718