

# Ni기 삽입금속을 사용하여 2상 스테인리스강과 오스테나이트계 스테인리스강의 브레이징에 관한 연구

## A study on the brazing between Duplex stainless steel and Austenitic stainless steel with Ni-base insert metal

우 창세\*, 홍 창호\*, 김 정길\*, 강 정윤\*, 홍 석호\*\*

\* 부산대학교 금속공학과, \*\* 현대우주항공(주) 선행기술연구팀

### 1. 서론

2상 스테인리스강은 오스테나이트계 스테인리스강에 비교해서 내공식성 및 내용력부식균열성이 우수하고 상온 강도가 높은 특징을 가지고 있다. 이 때문에 염소이온의 농도가 높은 해수환경이나 염화물을 원료로 하는 각종 화학공업 용도, 석유굴착용 치구, 해수 열교환기 및 라인파이프 등에도 넓게 실용화가 높다는 평가를 받고 있다. 그러나 2상 스테인리스강의 브레이징에 관한 연구는 거의 알려진 것이 없다.

따라서 본 연구에서는 Ni기의 삽입금속을 사용하여 2상 스테인리스강의 동종간 및 오스테나이트계 이종간의 브레이징을 한 경우 접합현상 및 접합부의 조직변화에 미치는 모재, 접합조건의 영향을 검토한다.

### 2. 실험방법

본 실험에서는 판상의 2상 스테인리스강(UNS32550, SUS329J3L)의 2종과 오스테나이트계 스테인리스강(SUS321)을, 삽입금속으로는 Ni기 amorphous foil인 MBF-50(40 $\mu$ m)을 사용하였다. 이들의 화학 조성은 표 1 및 2에 나타내었다.

피접합면을 연마한 후 아세톤에서 초음파세척을 하여 접합용 시편을 제작하였다. 접합은 그라파이트 저항가열로로 진공분위기(10<sup>-4</sup> torr)에서 20°C/min의 가열속도로 소정의 접합온도까지 가열하고 소정의 유지시간 이후 냉각하였다. 접합압력으로는 1.92KPa로 일정하게 하였고 접합온도는 1473~1498K로 하였다. Image analyzer를 사용하여 2상 스테인리스강의 각 상의 분율을 측정하였고, Rockwell 경도기로 2상 스테인리스강의 경도변화를 측정하였다. 접합부의 접합강도를 측정하기 위해 전단시험편을 제작하여 RT, 573K, 773K에서 행하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3-1 2상 스테인리스강의 동종 접합부의 조직변화

Fig. 1과 Fig. 2는 SUS329J3L 및 UNS32550합금을 1473K에서 접합한 경우, 유지시간의 변화에 따른 접합부조직의 변화를 표시한 것이다. SUS329J3L의 경우 접합층의 중앙부에 액상삽입금속조직이 존재하고 그 양은 적으며 유지시간이 증가함에 따라 소멸된다. 접합층계면에 Cr계 붕화물로 추정되는 상이 존재하였으나 유지시간이 증가함에 따라 소멸되면서 중앙부로 이동하는 경향을 나타낸다. 또한 접합부내와 접합계면 부근의 모재에서 검은 피상이 관찰되었고 유지시간의 증가에 따라서 감소하고, 중앙부로 이동하면서 조대화되는 경향을 나타낸다.

UNS32550의 경우 접합층계면에 Cr계 붕화물로 추정되는 상이 관찰되어지고 유지시간이 증가함에 따라 소멸되면서 중앙부로 이동하는 경향을 나타낸다. 또한 접합부내 및 모재에서 구형태의 상이 존재하고 있다.

Fig. 3의 (a)는 1473K에서 유지시간이 증가함에 따른 모재의 페라이트의 분율 변화를 나타낸 것이다. 유지시간이 증가함에 따라 Cr과 Mo의 양이 많은 UNS32550의 경우 페라이트의 분율이 증가하는 경향이 나타나고, 특히 접합부 부근에서는 높은 페라이트 분율을 나타낸다. 반면에 SUS329J3L의 경우는 UNS32550보다 낮은 페라이트 분율을 나타내고 접합부 부근에서도 안정한 2상 조직을 가진다.

그리고 2상 스테인리스강은 많은 양의 합금첨가로 인해 금속간 화합물이 생성시 강도 및 내부식성에 악영향을 끼치게 된다. 특히 냉각의 경우 느린 냉각 속도 때문에 더 문제가 될 것으로 추정된다. 본

실험에 있어서 유지시간이 짧을수록 다량의  $\sigma$ 상이 생성된다. Fig. 4의 (a)는 1473K에서 0s 유지하여 접합한 시편에서 SUS329J<sub>3</sub>L의 내부의  $\sigma$ 상을 나타낸 것이고,  $\sigma$ 상은 오스테나이트와 페라이트계면에서 형성된다. Fig. 4의 (b)는 EDX 분석결과로서 Cr과 Mo의 피크가 오스테나이트나 페라이트기질보다 더 높다. 특히 본 실험에 사용된 2상 스테인레스강이 Cr과 Mo의 양이 많은 합금이고 노냉의 낮은 냉각속도에 기인하여 생성되는 것으로 추정된다. Fig. 3의 (b)는 1473K에서 유지시간의 변화에 따른  $\sigma$ 상의 분율 변화를 나타낸 것이다.  $\sigma$ 상의 분율은 유지시간이 증가함에 따라 감소하는 경향이 있고  $\sigma$ 상의 생성을 촉진시키는 원소인 Cr과 Mo의 양이 많은 UNS32550이 SUS329J<sub>3</sub>L에 비해 많은  $\sigma$ 상의 분율을 나타내는 경향이 있다. Fig. 3의 (c)는 유지시간의 변화에 따른 경도변화를 나타낸 것이다. 경하고 취약한  $\sigma$ 상의 분율이 높고, 페라이트의 분율이 높은 UNS32550의 경우가 높은 경도값을 나타내고 SUS329J<sub>3</sub>L의 경우 상대적으로 낮은 경도값을 나타내는 것을 알 수 있다.

### 3-2 이중 접합부의 조직변화

Fig. 5는 SUS329J<sub>3</sub>L 및 UNS32550과 SUS321를 1473K에서 0.9ks 유지하여 접합한 경우의 접합부조직을 나타낸 것이다. Fig. 5의 (a)는 SUS329J<sub>3</sub>L과 SUS321의 이중 접합부 조직으로서 동종 접합시 나타나는 검은 괴상은 SUS321 부근의 접합부와 SUS321에서는 나타나지 않았고 SUS329J<sub>3</sub>L부근의 접합부내와 접합부 부근 SUS329J<sub>3</sub>L에서는 검은 괴상이 동종과 같은 경향성을 나타내고, 검은 괴상의 양은 동종에 비해 적다.

Fig. 5(b)는 UNS32550과 SUS321의 이중 접합부의 미세조직이다. 동종시 나타나는 구형태의 상은 SUS321강과 접합부의 계면에서 나타나지 않고, 동종과 비교하여 상대적으로 적은 양의 구형태의 상이 존재하고 있다.

따라서 329J<sub>3</sub>L과 UNS32550의 동종간 접합에서 나타나는 각각의 검은 괴상과 구형태의 상의 생성은 2상 스테인리스강과 삽입금속의 반응에 의한 것으로 추정된다.

### 3-3 기계적 성질

전단시험편은 1498K에서 0.9ks 유지하여 제작하였으며, RT, 573K, 773K에서 전단시험을 실시하였고, 2상 스테인리스강의 동종간의 접합에서는 모두 접합면에서 파단이 발생하였고 2상 스테인리스강과 오스테나이트계 스테인리스강의 이중간 접합의 경우, RT에서는 접합면에서 파단이 발생하였으며 573K, 773K에서는 모재(SUS321)에서 파단이 발생하였다. Fig. 6은 전단시험의 결과를 나타낸 것이다. 온도가 올라감에 따라 강도는 감소하였고 접합부의 생성상이 적은 이중간의 접합이 동종간의 접합보다 높은 상온 강도를 나타낸다.

Table 1 Chemical composition of base metals

Materials	Chemical composition											
	C	Ni	Cr	Mn	S	P	Si	Ti	Mo	Cu	V	N <sub>2</sub>
SUS329J <sub>3</sub> L	0.028	6.02	<b>21.88</b>	1.490	tr	0.022	0.403	0.005	<b>2.840</b>	0.244	0.051	<b>0.18</b>
UNS32550	0.021	6.22	<b>24.62</b>	1.27	0.001	0.019	0.32	-	<b>3.05</b>	1.60	-	<b>0.215</b>
SUS321	0.013	9.41	<b>17.72</b>	1.340	0.001	0.022	0.476	0.080	<b>1.340</b>	0.157	0.070	<b>0.015</b>

Table 2 Chemical composition of insert metals

Materials	Chemical composition						
	Ni	Cr	Mn	Co	Si	B	Fe
MBF50	bal	19.5	-	-	7.3	1.5	-

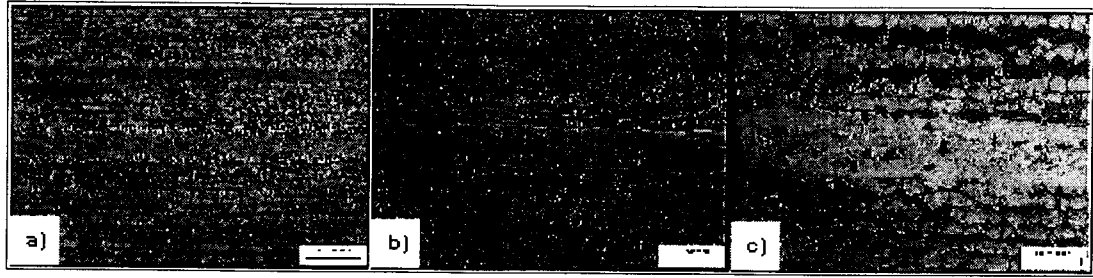


Fig. 1 Microstructures of SUS329J<sub>3</sub>L duplex stainless steel joints brazed using MBF-50 insert metal at 1473K (a) 0s (b) 0.3ks (c) 1.8ks

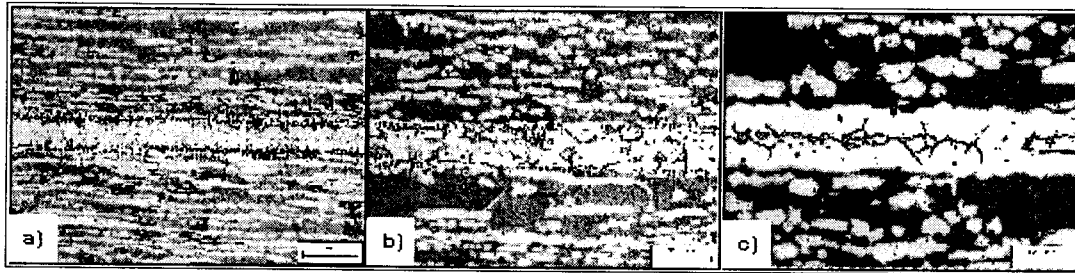


Fig. 2 Microstructures of UNS32550 duplex stainless steel joints brazed using MBF-50 insert metal at 1473K (a) 0s (b) 0.3ks (c) 1.8ks

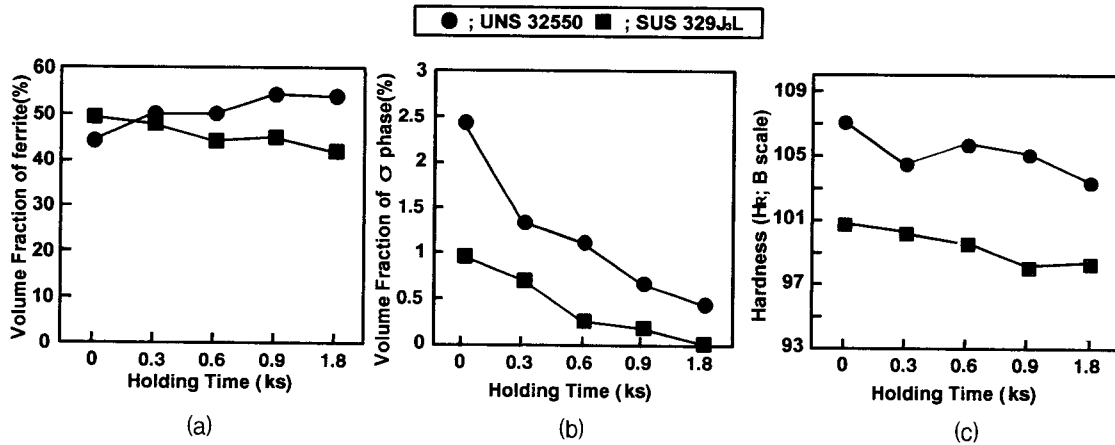


Fig. 3 Phase volume fraction and hardness of Duplex stainless steel with holding time at 1473K (a) volume fraction of ferrite (b) volume fraction of  $\sigma$  phase (c) Hardness (H<sub>R</sub>;B type)

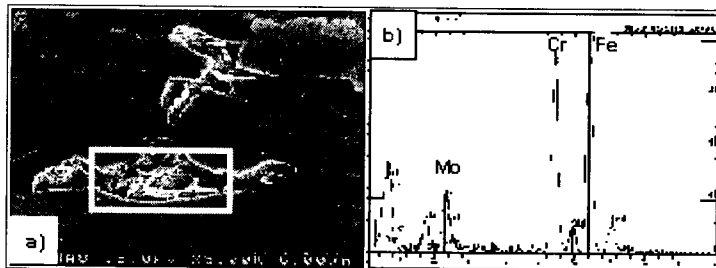


Fig. 4  $\sigma$  phase in base metal of SUS329J<sub>3</sub>L and results of EDX analysis

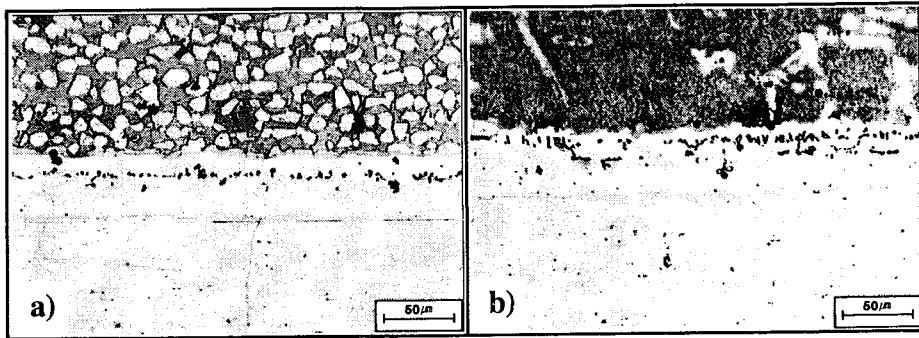


Fig 5 Microstructure of stainless steels joint brazed at 1473K for 0.9ks  
 (a) SUS329J<sub>3</sub>L/SUS321 (b) UNS32550/SUS321

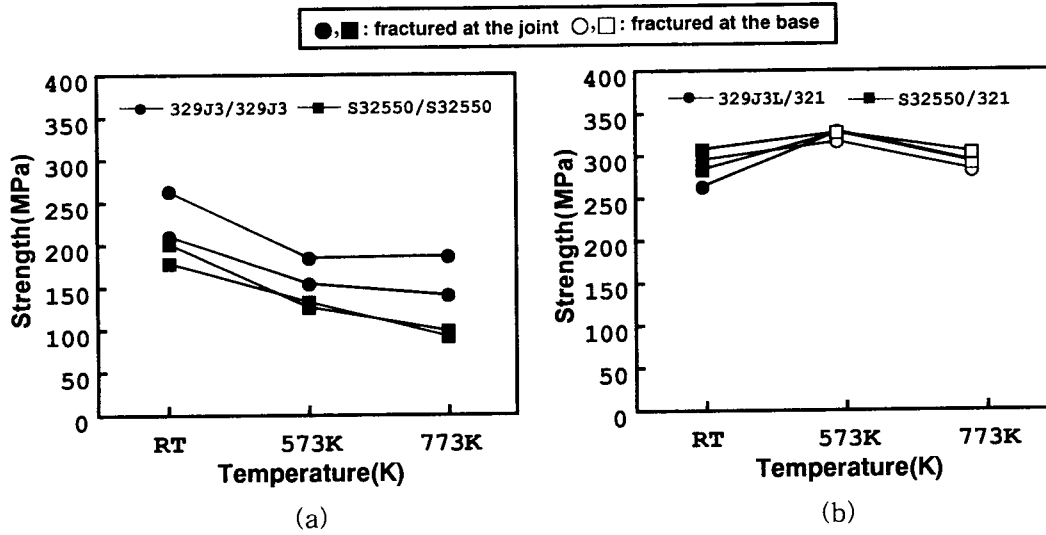


Fig. 6 strength of stainless steels brazed at 1498K for 0.9ks as a function of evaluation temperature  
 (a) SUS329J<sub>3</sub>L/SUS329J<sub>3</sub>L, UNS32550/UNS32550 (b) SUS329J<sub>3</sub>L/SUS321, UNS32550/SUS321