

研究論文

## Cu-Mn-Si Insert 합금을 이용한 스테인리스강의 액상확산접합에 관한 연구

임 중 태\* · 안 상 옥\*\*

### A Study on Liquid Phase Diffusion Bonding of STS304 using Cu-Mn-Si Insert-alloy

J. T. Lim\* and S. W. An\*\*

**Key words** : liquid phase diffusion bonding, solid phase diffusion bonding, 304 stainless steel (STS304), amorphouse foil filler, tensile strength

#### Abstract

In this study, the amorphous foil filler, thickness of  $20\sim 30\mu m$ , was made to develop Cu-7.5wt%Mn-7.5wt%Si insert alloy (melting point temperature : solidus line 1003K, liquidus line 1070K). Liquid phase diffusion bonding of 304 stainless steels (STS304), is carried out successfully by using developed Cu-7.5Mn-7.5Si insert alloy. Bonding conditions are taken from bonding pressure of 5MPa, bonding temperatures from 1073K to 1423K varied within 50K and brazing holding times of 0, 30, 60 and 240 minutes.

As the results, the tensile strength in the liquid phase diffusion bonding is a little bit lower than that in the solid phase diffusion bonding. The authors find out that the liquid phase diffusion bonding needs lower bonding pressure than the others. Therefore, the liquid phase diffusion bonding had an excellent brazability in which the bonding process showed the typical mechanism of diffusion bonding. In corresponding, the new developed insert alloy of low melting pointed Cu-7.5Mn-7.5Si makes possible brazing between the STS304.

---

\* 1997년 3월 31일 접수

\* 정희원, 생산기술연구원 부설 산업기술교육센터

\*\* 정희원, 인하대학교 기계공학과

## 1. 서 론

액상확산접합법은 고상확산접합법과 브레이징의 장점을 겸비한 접합공정으로써, 접합모재보다 낮은 용점의 삽입금속을 이용하여 일정한 접합온도하에서 접합부에 일시적으로 액상을 생성시킨 후, 등온응고시켜 접합하고, 접합부의 조직을 모재와 동일하게 할 목적으로 확산열처리에 의해 접합부를 균질화시키는 접합법<sup>1-2)</sup>이다. 이는 용점이 곤란한 분산강화형 합금 및 내열합금등에 많이 이용되고 있다. 한편 범용재료로 사용되고 있는 스테인레스강의 경우, 접합용 용가재로서 Ni-base의 삽입금속을 사용하고 있으나 용점이 높고, 생산성 저하 등의 문제점이 있으며, 특히 높은 접합강도를 얻기 위해서는 간극이 작아야만 하는 문제점이 지적<sup>3-5)</sup>되고 있다.

본 연구의 목적은 스테인레스강의 접합시 Ni-base 용가재의 단점을 보완하기 위하여 Cu-Mn-Si계 합금을 삽입금속으로 설계 제작하고, 접합부의 계면조직관찰 및 기계적 특성을 조사하여 Austenite계 304 스테인레스강의 액상확산접합법에의 적용성에 관하여 연구 검토하였다.

## 2. 실험재료 및 실험방법

### 2.1 Insert Metal의 합금설계

철계 및 Cu계 재료의 액상 확산접합용 용가재는 Ag, Ni, Cu계통이 대부분이다. 특히 Ni-B, Ni-Si, Ni-Cr-B-Si 및 Ni-Cr-Fe-Si-B 등의 Ni계 삽입금속이 주로 철계나 Cu계 재료의 브레이징용으로 사용되고 있다. 그러나 이들의 접합성은 우수하나 용점이 1273K 이상으로 접합 열 사이클에 의한 접합

모재의 변형과 운전비용이 높다는 단점이 있다.

본 연구에서는 Cu뿐만 아니라 철계 재료와도 친화력이 우수하고 연성이 풍부하며 다른 원소와의 고용도가 높은 Cu-base 삽입금속을 기본으로 설정하였다. 또한, 과열에 의한 접합체의 변형과 기계적 성질의 저하 등을 막고, 운전비용을 낮추기 위하여 Cu-base에 용점 강하 원소를 첨가하여 삽입금속을 설계하였다.

용점 강하를 위하여 모재와 공정반응을 일으키는 원소로서 Ge, Hf, Dy, Mg, Nd, Si, Ti, Zr 중에서 Si를 선정하였으며, 또한 전용고용하는 원소로서 Mn, Ni 중 Mn을 선정하여 접합모재와의 친화성과 접합성이 우수하다<sup>6)</sup>는 이중 효과를 얻으려고 합금을 설계하였다.

Table 1은 실험용으로 제작한 용가재와 시판 용가재인 MBF-20의 성분을 나타낸 것이다.

### 2.2 삽입금속의 제조

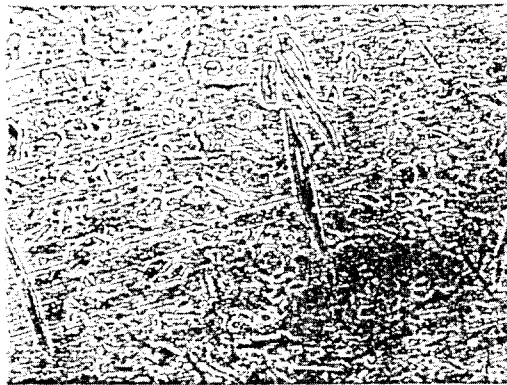
삽입금속을 소정의 비율로 각 분말(순도 99.99%, 평균입도 -325mesh)을 약 30분간 혼합하여 균일한 조성의 혼합 분말을 제조하여  $\phi 12 \times 30$ mm의 환봉형 성형체로 성형한 후,  $10^{-5}$  torr의 진공 분위기하에서 고주파 유도코일을 이용, 용융온도보다 약간 높은 온도로 가열하여 인고트를 제작하였다. Fig. 1은 제조한 인고트의 조직과 EDX분석 결과이다. 원소분석 결과 부분적으로 Cu농도가 높은 조직이 관찰되었으나, 대부분의 조직은 편석이 없는 균일한 조직이며, 경도는 250Hv(100gr)가 나타났다. 또한 열분석 결과 삽입금속의 용점은 1003~1070K 정도로서, 그의 조성이 공정조직에 가까운 합금이다. 따라서 본 연구에서는 Austenite계 304 스테인레스강의 액상 확산접합용 용가재로 C75인 Cu-7.5wt%Mn-7.5wt%Si를 선정하였다.

삽입금속용 비정질 박판<sup>7)</sup>은 액체 급냉 응고법을

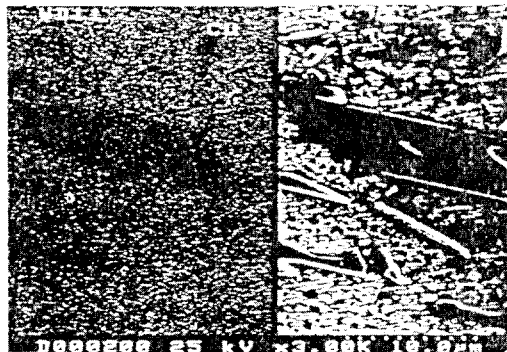
Table 1. Components of Insert Alloy (wt%)

Insert Alloy	Cu	Mn	Si	Ni	Cr	B	Fe	C	melting point temperature (K)	
									Solidus line	liquidus line
C75	Bal.	7.5	7.5	-	-	-	-	-	1003	1070
MBF-20	-	-	4.5	Bal.	7.5	3.0	3.0	0.05	1243	1273

이용하여 제조하였다. 삽입금속용 비정질 박판의 제조방법은, 석영 노즐내에 인코트를 넣고 고속 회전하는 Cu 로울위에 Ar 가스의 분출 압력을 이용하여 용융상태의 금속을 분출시켜 제조하였다. 본 연구에서는 양질의 비정질 박판을 두께 20~30 $\mu$ m, 폭 12mm 정도로 탄성이 우수한 것을 제조하여 사용하였다.



(a)



(b)

Fig. 1 Microstructure (a) and EDX analysis (b) of ingot

### 2.3 접합모재와 접합실험

접합모재로는 Austenite계 304 스테인레스강을 사용하였으며, 이의 화학조성과 기계적 성질은 Table 2와 Table 3과 같다.

Table 2. Chemical Compositions of Base Metal (wt%)

Materials	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Zn	Fe
STS304	0.07	0.32	1.59	0.02	0.004	19.8	8.54	-	Bal.

Table 3. Mechanical Properties of Base Metal

Materials		Y. S. MPa	T. S. MPa	E %	R. A. %	Hv
STS 304	as received	683	1177	38.89	52	320
	after annealing at 1073K	510	755	50	62	250

(annealing temperature; 1073K,  
annealing time; 10min.)

본 실험에서는 고주파유도가열식 진공로를 이용하여 각 재료에 대한 접합성을 연구하였다.

$\phi$ 10 환봉재의 스테인레스강을 50mm씩 절단하여 접합면을 선삭한 후 표면거칠기가  $R_{max}=0.1\sim 0.3\mu$ m이 되도록 #2000까지 에머리지로 폴리싱한 다음 아세톤중에서 초음파 세척하여 접합시편을 제작하였다. 시편 준비후 동종 금속간을 맞대기한 후 Fig. 2의 유도가열식 접합장치에 시편을 세팅하였다. 액상화산접합시 각 접합면간에 두께 20~30 $\mu$ m의 Cu-7.5Mn-7.5Si 용가재를 삽입시켜 유압 펌프로 5MPa으로 양 모재를 가압하고, 진공펌프를 이용하여 10<sup>-4</sup>torr까지 노내를 진공시킨 다음에 소정의 열Cycle에 의해 가열, Holding한 후에 자연 냉각시켰다.

접합실험에 의해 얻어진 접합체는 인장시험과 접합부 단면의 조직관찰 및 SEM/EDX에 의한 원소분석 등을 행하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1. 고상화산접합 결과

본 연구에서는 STS/STS 접합체를 비교 검토하기 위하여 먼저 고상화산접합 실험을 행하였다. Fig. 3은 접합온도 1073K와 접합시간 10min.으로 일정하게 했을때, STS/STS 고상접합체의 기계적 성질과 접합압력과의 관계를 나타낸다. 접합강도는 접합가압력의 증가에 따라 상승해 가며, 가압

력 10MPa에서 급격히 상승하여 30MPa의 경우 638MPa로 접합효율이 80%이상이지만 접합부의 연성이 풍부하지 않으며, 모든 접합조건에서 시편이 접합부에서 파단이 일어났다.

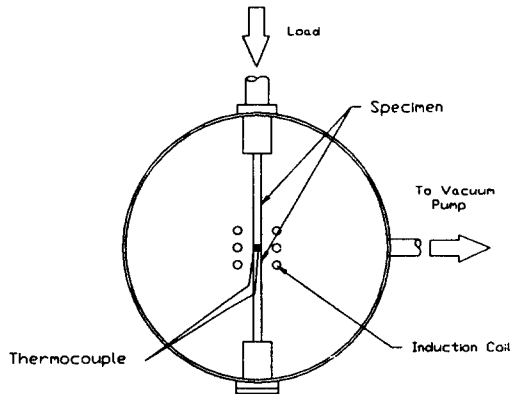


Fig. 2 Schematic diagram of high frequency vacuum induction furnace

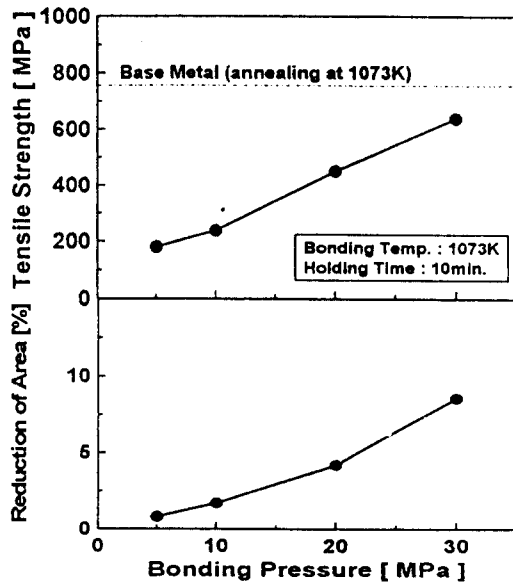


Fig. 3 Relation between bonding pressure and mechanical properties of STS/STS joints in solid state diffusion bonding

또한 이 고상확산접합의 조직을 관찰해 보면, Fig. 4와 같이 접합면에 부착 또는 존재한 산화막

이나 부동태막이 충분히 파괴 또는 소멸되지 않아 전시편의 접합부 계면에 이들 막의 일부가 잔존하는 접합불량<sup>8)</sup>으로 모재와 같은 충분한 접합강도 및 연성을 얻을 수 없었다고 판단된다. 따라서 양호한 고상확산접합체를 얻기 위해서는 접합온도 1073K이상과, 접합가압력 40~50MPa 이상이 요구되고, 접합표면의 산화층 및 Void의 소멸을 위한 화학적, 물리적 방법으로 접합표면층의 제거가 필요하다<sup>8-10)</sup>고 사료된다.

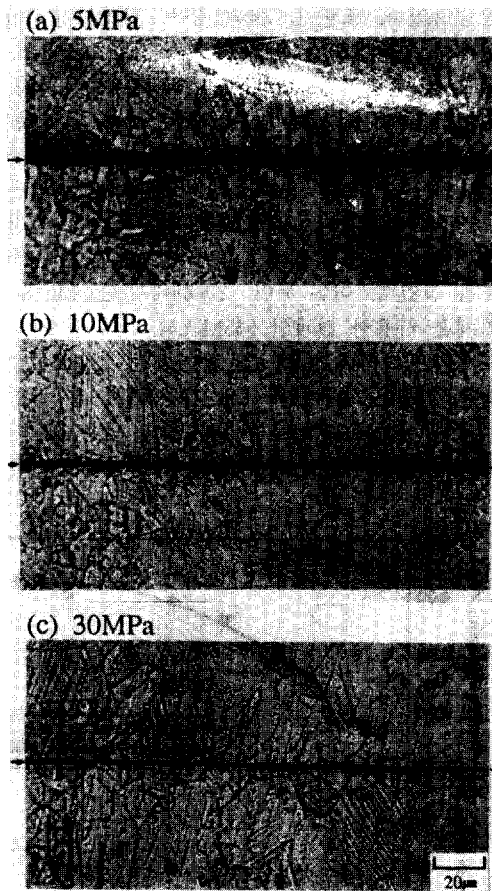


Fig. 4 Microstructures of STS/STS joints in solid diffusion bonding (1073K, 10min.)

### 3.2 액상확산접합 결과

Fig. 5은 STS/STS를 접합시간 30min., 접합압력

5MPa하에서 접합온도를 1073K에서 1423K까지 50K씩 승온시켰을 경우의 기계적성질을 나타낸 것이다. 접합온도 1073K에서 1123K까지는 인장강도가 서서히 증가하고 연성도 좋지 않았다. 그러나 1173K의 경우 인장강도는 급격히 증가하여 1273K이상에서는 거의 모재강도와 유사한 높은 강도와 연성을 나타내고 있다. 접합온도 1173K의 경우, 접합시간 0min. 일때 인장 강도가 294MPa로서 접합효율이 40%정도였으나, 접합시간이 30min. 일때는 418MPa로서 접합효율이 60%까지 급격히 상승하였다. 또한 1273K의 경우, 접합시간 0min. 일때의 인장강도가 438MPa로서 접합효율이 62%였으나, 접합시간 30min에는 586MPa로서 접합효율이 83%에 달하는 높은 인장강도가 얻어졌다. 이 결과와 비교하기 위하여 Table 1에 표시한 Ni-base인 MBF-20 용가재를 사용하여 접합온도 1323K와 접합시간 30min. 으로 접합한 결과 인장강도는 655MPa로서 접합효율이 93%의 높은 인장강도를 얻었다. 이는 동일 조건하에서 Cu-Mn-Si 용가재를 사용한 결과인 645MPa과 거의 유사한 강도이다. 그러나 MBF-20 용가재는 1323K이상의 높은 접합온도에서만 사용 가능하나, 본 실험에 사용한 용가재는 이보다 100K정도 낮은 1223K나 1273K에서도 거의 동등한 강도를 유지하고 있음을

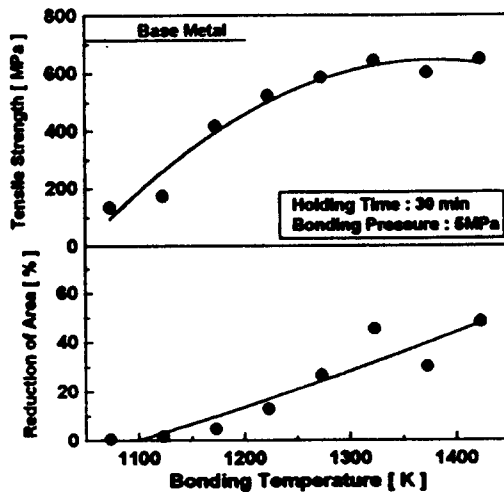


Fig. 5 Relation between bonding temperature and mechanical properties of STS304 joints brazed with Cu-7.5Mn-7.5Si fillers

확인할 수 있었다.

Fig. 6은 접합온도 1273K, 접합압력 5MPa하에서 접합시간을 0, 5, 30, 60, 120 및 240min. 으로 변화시켰을때의 접합부의 기계적성질을 나타낸 것이다. 접합시간 0min. 과 5min. 의 경우 인장강도는 거의 같았으나, 접합시간 30min. 에서는 급격히 상승하여 586MPa를 얻었으며, 연성도 크게 향상되었다. 접합시간이 30min. 에서 120min. 까지는 강도의 변화가 거의 없으나, 240min. 의 경우에는 접합효율이 98%인 687MPa의 높은 인장강도를 얻었으며, 연성도 모재와 거의 같았으며, 인장실험시 모재파단이 일어났다.

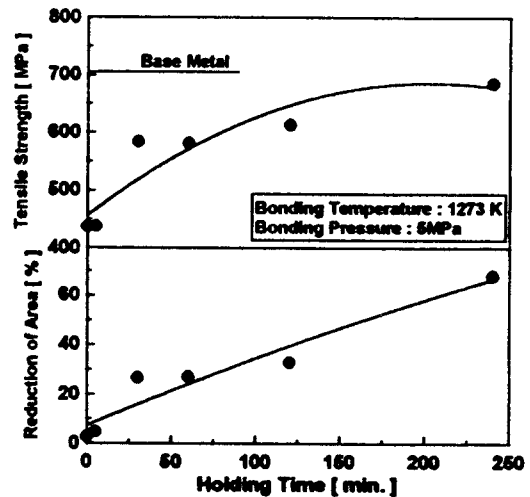


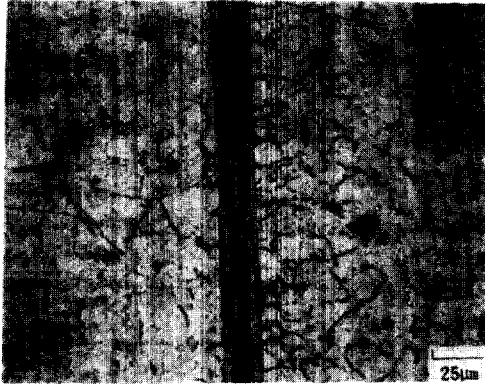
Fig. 6 Relation between bonding holding time and mechanical properties of STS304 joints brazed with Cu-7.5Mn-7.5Si fillers

이들 접합부에 대해 조직관찰을 한 결과, Fig. 7은 1273K, 5MPa하에서 접합시간을 0, 30. 및 240min. 간 액상확산접합을 행한 단면조직사진이다. 접합시간 30min.까지는 전형적인 브레이징 조직으로 나타났다. 그러나 240min.의 경우 액상부가 약간 남아 있으나 액상확산접합이 거의 완료된 조직임을 알 수 있다.

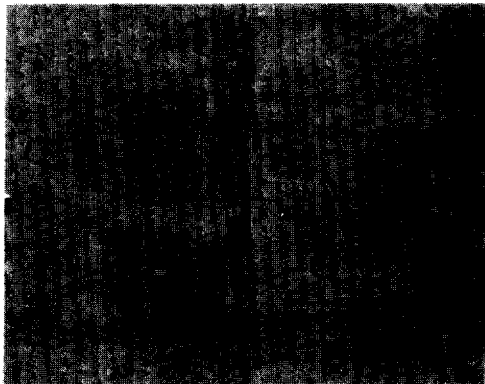
Fig. 8은 접합온도 1273K, 접합압력 5MPa하에서 접합시간 0, 30 및 240min.으로 STS/STS를 액상확산접합한 경우의 EDX분석 결과이다. 접합부 중심부의 농도분포는 SEM/EDX분석에 의하면,

용가재의 성분인 Cu, Mn 및 Si은 거의 균질하게

a) 0min.



b) 30min.



c) 240min.

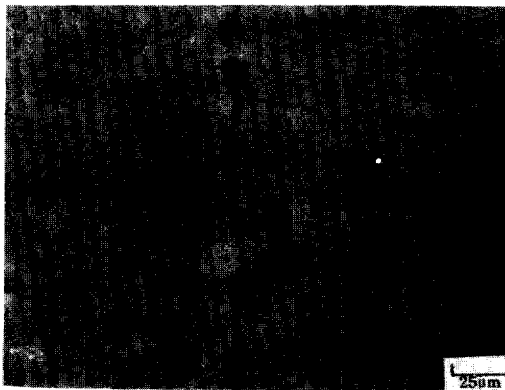


Fig. 7 Microstructures of STS/STS joints made with Cu-7.5Mn-7.5Si fillers(1273K, 5MPa)

모재측으로 확산되어 있으나, 액상층의 두께는 a)의 0min.인 경우 약 24µm정도임에 비해서 b)의 30min.인 경우 1/2정도인 12µm로 줄었으며, c)의 240min.일 경우에는 액상층이 거의 남아있지 않은 확산접합이 완료된 결과를 나타내고 있다.

이상의 결과로 부터 본 연구에서 개발한 Cu-base 용가재는 STS의 액상확산접합용으로 적용 가능하며, 고상확산접합시에 야기되는 접합계면에서의 탄화물 생성도 억제할 수 있으며, 접합대상물의 자중 정도의 경하중으로도 강인한 접합강도를 얻을 수 있는 합금인 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

STS/STS 접합체는 Cu-7.5wt%Mn-7.5wt%Si의 용가재를 사용하여 액상확산접합한 경우, 고상확산접합시보다 접합강도는 상대적으로 다소 낮은 결과치를 나타내고 있지만 가압력 측면에서는 유리하고, 그 접합과정이 전형적인 액상 확산접합의 기구를 나타내고 있으므로 접합인자의 최적화를 통해 접합성을 개선하면 그 적용 가능성이 높다고 판단된다.

(1) STS/STS의 동종간 액상확산접합 결과, 접합대상물의 자중 정도의 가압력으로도 모재의 기계적 성질과 동일한 접합체를 얻을 수 있었다.

(2) Cu에 용접강화 원소를 첨가한 3원계 Cu-base 용가재를 설계하여 시험재로 제조한 결과, 1073K의 공정조직에 가까운 저용점 합금임이 판명되었고, 액체급냉법을 이용하여 비정질 박판화가 가능하였다.

(3) 본 용가재를 사용하여 STS 동종간 액상확산접합을 행한 결과, 고상확산접합보다 훨씬 낮은 접합가압력하에서도 우수한 강도를 얻을 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

1. D. S. Duval, W. A. Owczarski, D. F. Paulonis : J. Weld. , 53(1974) 203
2. 鈴木曉男, 恩澤忠男, 高明玩: Ni基超合金及び Ti基合金の液相擴散接合, 溶接學會 輕構造

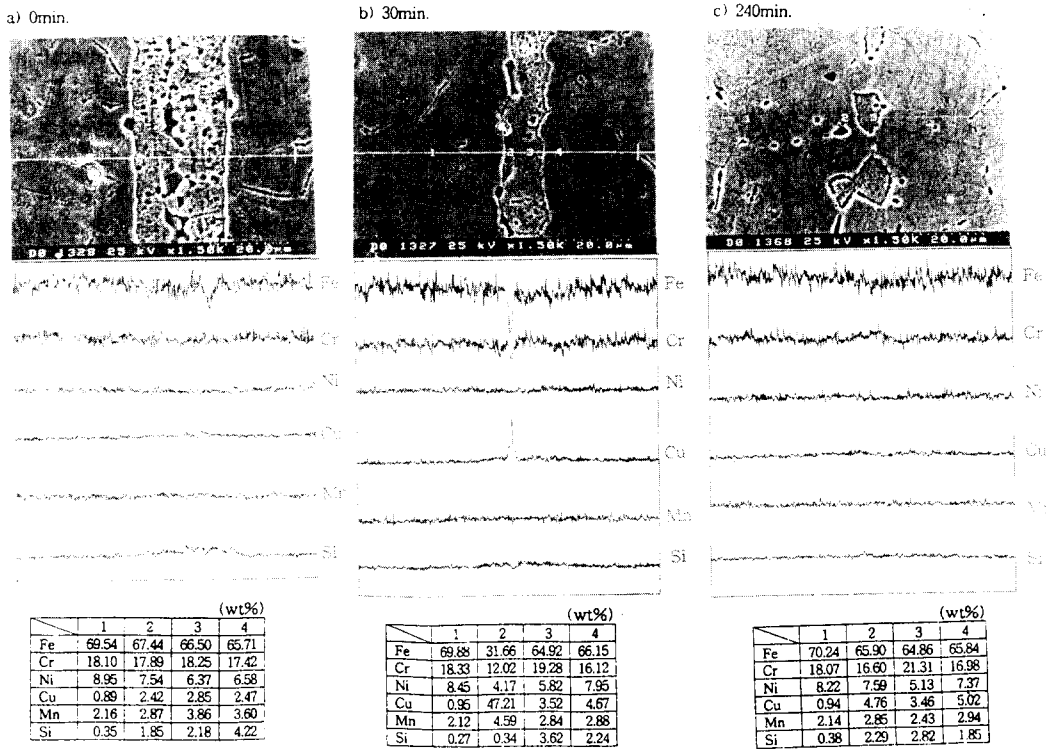


Fig. 8 ELX analysis of STS/STS joints in liquid phase diffusion bonding(1273K, 5MPa)

接合加工研究委員會資, MP-16-88

- 久森洋一 : NiろうによるSUS304継手強さの特性に関する研究, 溶接學會論文集, 第10巻(1992)第2號, 211
- 鈴木曉男, 恩澤忠男, 田村博: 各種Ni基耐熱合金のTLP接合性の比較, 溶接學會誌, 49-7(1980), 462-465
- 恩澤忠男, 鈴木曉男, 田村博: 金ろうによるろう付継手の組織と高温引張特性, 溶接學會論文集, 第3巻(1995)第2號, 92-98
- 竹本正, 岡本郁男: ステンレス銅銀ろう付部の組織と耐食性におよぼすろうへの添加元素

の效果, 溶接學會論文集, 第2巻(1984)第2號, 300-308

- 鈴木曉男, 恩澤忠男, 田村博: 液相擴散接合性に及ぼすインサート金屬のアモルファス化の效果, 溶接學會論文集, 第3巻(1985)第2號, 321-327
- 大橋修, 吉原一紘, 田沼欣司: 擴散溶接部の空隙表面における酸化皮膜の舉動, 溶接學會論文集, 第3巻(1985)第3號, 477-483
- 大橋修, 田沼欣司, 吉原一紘: 擴散溶接部の表面皮膜のオージェ解析, 溶接學會論文集, 第3巻(1985)第1號, 152-158