

Cu기 삽입금속을 이용한 크롬동과 2상 스테인리스강의 브레이징에 관한 연구

A study on the brazing between Cr-Cu alloy and Duplex stainless steel with Cu-base insert metal

홍창호*, 김정길*, 우창세*, 강정윤*, 홍석호**

* 부산대학교 금속공학과, ** 현대우주항공(주) 선행기술연구팀

1. 서 론

우주용 로켓 엔진부품은 그 작동 환경이 극저온부터 고온까지 적용온도 범위가 넓고, 고압 및 부식성이 아주 강한 연소가스에 직접적으로 영향을 받게 되므로, 이런 가혹한 환경에서 견딜 수 있는 우수한 물성을 가진 재료가 필요하다. 실제로 로켓 엔진부품의 냉각장치에 사용되는 재료로는 Duplex stainless steel과 Cr-Cu alloy등이 사용되고 있다. 이 재료의 특징을 간단히 언급하면, 우선 Duplex stainless steel은 Ferrite와 Austenite의 혼합조직을 가지기 때문에 이 우수한 응력부식 저항성, 용접성, 가공성, 인성, 공식 및 수소취성 저항성 등 두 조직의 장점을 모두 가지고 있고, Cr-Cu alloy는 기존의 동 합금의 우수한 전기전도도, 열전도도를 유지하면서, Cr의 석출물로 인해 높은 강도와 우수한 가공성, 부식저항성, 연화저항성, 크립저항성이 큰 특징을 가지고 있다. 그러나 이 재료들은 GTAW, EBW, LBW와 같은 용융용접 시 접합부에서는 혼합조직 및 석출강화 등의 모재 강화기구 효과가 없게 되므로 실제 적용이 어렵다. 그러므로 우주항공기기에 적용되는 접합기술은 확산접합 및 브레이징이라고 할 수 있다. 하지만 우주항공기기의 제작의 가장 핵심이라고 할 수 있는 접합기술은, 그 보유국가는 독점적으로 그 기술을 운영하고, 공개하고 있지 않는 실정이고, 국내에서는 거의 연구가 수행된 적이 없는 상황이다.

따라서 본 연구에서는 Duplex stainless steel인 SUS329J₃L, UNS32550과 Cr-Cu alloy의 일종인 C18200을 모재로 하고, Cu기 삽입금속인 AWS 4764를 이용하여 브레이징한 후, 접합온도와 유지시간에 따라 접합부의 미세조직 및 생성상의 변화를 고찰하고, 인장 및 경도시험을 통하여 접합부의 기계적 성질을 평가하여 최적의 브레이징 조건을 확립하고자 하였다.

2. 실험방법

표 1과 표 2는 본 실험에 사용된 모재와 삽입금속의 화학조성과 인장성질을 나타낸 것이며, 삽입금속의 인장강도가 크롬동인 C18200보다 높은 것이 특징이다.

접합전처리로는 모재표면에 산화층과 불순물을 제거하고, 균일한 조도를 가지게 하기 위하여 emery paper #1000까지 연마를 실시하고, 염세, 수세를 행하였다.

접합조건은 삽입금속의 DSC 결과를 바탕으로 접합온도를 1243K, 1273K, 1303K에서, 유지시간을 0분, 7분, 15분, 20분으로, 접합압력은 Ceramic dead weight를 이용하여 약 4.9kPa(50g/cm²)정도 가하였다.

접합장치로는 접합분위기를 1X10⁻⁴torr이상 유지할 수 있는 진공소결로를 이용하고, 가열속도를 20℃/min으로 하고, 냉각은 로냉을 실시하였다.

접합부 미세조직 및 생성상의 변화는 먼저 Cu기의 삽입금속을 사용하므로, Cu용 부식액으로 에칭하여 접합부 및 크롬동의 모재조직 변화를 관찰하고, 이후 스테인리스강에 대한 부식액으로 에칭하여 스테인리스강과 삽입금속과의 접합계면을 관찰하였다.

기계적 성질 평가는 조직학적으로 가장 안정한 접합조건을 선정하여, 전단시험편을 준JIS4 sub-size로 제작하고, 시험은 R.T, 573K, 773K에서 2mm/min의 속도로 시험하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3-1. 접합부의 미세조직 및 생성상 변화

1243K에서 0분을 유지한 경우는 접합부가 기계연마 시 떨어질 정도로 접합이 이루어지지 않았는데

이것은 삽입금속이 미처 모재와 반응하지 못하였기 때문으로 생각된다. 이 조건을 제외한 접합온도와 유지시간별로 접합부내의 상변화를 자세히 고찰하기 위하여 SEM/EDX를 이용하여 관찰하였다. Fig. 1은 접합부의 생성상 변화를 관찰하기 위하여 SEM image를 이용하여 모자이크 처리한 것을 나타낸 것이다. 모든 접합조건에서의 접합부를 Fig. 1과 같은 방법으로 관찰하여, 분석한 결과, 2상 스테인리스강의 종류와 관계없이 생성상을 분류할 수 있었고, Fig. 2는 접합부의 생성상을 접합초기와 후기에 따라 분류하여 모식도로 나타낸 것이며, Fig. 3은 각 Type 별로 대표적인 SEM image를 나타낸 것이다.

접합부에 발생하는 생성상은 접합 초기에 4개의 생성상이 발생하며, 접합온도와 유지시간이 증가하면서 6가지로 늘어난다.

Type A상은 광학현미경상으로 물결무늬 형태이고, EDX 분석결과 Cu로 나타났으며, 이것은 액상의 삽입금속이 스테인리스강으로 침식한 결과로 보이며 이 상은 SUS329J₃L의 경우 그 정도가 UNS32550보다 상당히 심하다.

Type B상은 1243K의 모든 조건과 1273K 1303K의 0분유지 시 발생하는 상으로 Mn이 주축으로 된 상이다. 원래의 삽입금속은 Cu-Mn-Ni의 조성이고, 전율고용체를 이루고 있지만, 크롬동 및 스테인리스강과 접합과정에서 일어나는 용해반응으로 액상 삽입금속 내에 Fe, Cr 등의 성분이 유입됨에 따라서 용점이 상승하고, Mn의 고용도가 낮아지게 되어, 냉각 중에 정출하는 것으로 추측된다 이 상이 접합온도와 유지시간이 증가하면서 Fe-Cr계의 화합물인 E상으로 발전되는 것으로 보이며, 이 E 상은 접합온도와 유지시간이 증가함에 따라 그 발생폭이 증가하는 경향을 나타낸다.

Type C상은 전 접합조건에 걸쳐 발생하며, EDX결과로부터 Cr-Mn계의 상임을 알 수 있고, 이 상은 329J₃L/C18200, 12 43K의 7분유지시 크롬동과 삽입금속과의 접합계면에서 가장 먼저 발생한 것으로 관찰되었는데, 이 상이 접합온도와 유지시간이 증가함에 따라 접합중앙부로 모여드는 것으로 보인다. Type D상은 모재의 석출상이다.

Type F상은 액상의 삽입금속과 스테인리스강과의 반응으로 인해 스테인리스강에서 접합부로 떨어져 나온 상으로 보이며, 이 상은 유지시간과 접합온도가 높아질수록 그 양과 크기가 증가하며, 발생위치도 접합 중앙부까지로 이동한다. G는 F상에 존재하는 검은 부분이다. 이 상의 EDX 분석결과 Cr만 나타났는데, 이것은 액상삽입금속과 크롬동과의 반응으로 Cr이 유입되고, 이 Cr이 유입된 액상삽입금속과 스테인리스강과 반응하여 Cr이 농축되어 있는 것으로 보인다. 또한 이것은 스테인리스강과 삽입금속과의 접합계면이 모두 페라이트로 변태되는 이유의 하나로 보인다. 표 3은 접합조건별로 접합부에 발생하는 생성상을 접합조건별로 정리하여 나타낸 것이다. 결국 이상스테인리스강의 종류에 따라 그 현상은 비슷하다, 다만 SUS329J₃L이 UNS32550보다 생성반응이 조금 빠르다는 것을 알 수 있다.

3-2. 전단시험 및 경도변화

1303K에서 20분 유지시킨 접합부가 조직학적으로 가장 안정한 것으로 생각되어지고, 이 조건으로 전단시험을 R.T, 573K, 773K에서 실시한 결과, 모두 크롬동 모재에서 파괴하였다. 그 이유는 크롬동 모재와 삽입금속의 강도 차이가 많이 나기 때문으로 생각되고, 이와 같은 경우는 모재의 연화를 더 고려해야 할 것이다. 그래서 접합온도를 1243K, 1273K, 1303K로, 유지시간을 10분, 15분으로 다양한 접합조건에서 전단시험편을 제작하여, 573K에서 2mm /min으로 전단시험을 실시하였다. Fig. 4는 다양한 접합조건에서 전단시험을 실시한 결과를 나타낸 것이다. 1243K에서 10분 유지한 접합조건을 하나를 제외하면, 모두 크롬동 모재에서 파괴되었다. 1243K는 삽입금속의 액상선 이상의 온도이나, 유지시간이 짧아서 모재와 액상삽입금속과 충분히 반응하지 못하였기 때문으로 보이며, 조직학적으로 가장 안정한 조건인 1303K, 20분유지시에는 모재의 연화가 다른 조건 보다 심한 것으로 나타났다. 이는 접합부에 발생하는 생성상이 접합부의 기계적 성질을 악화시키는 것보다, 접합으로 인한 모재의 연화정도가 심하였기 때문으로 보인다.

Fig. 5는 접합부 근방의 경도 변화를 접합조건별로 나타낸 것이다. 2상 스테인리스강의 경도는 접합 후 증가하는 경향이 있는데, 이것은 접합온도가 2상 스테인리스강에서 내식성에 악영향을 미치는 σ

상에서 기인된 것으로 보이며, 이 σ 상은 냉각속도의 조절로 제어가 가능하였다. 접합후 크롬동의 경도는 크게 떨어져 접합부의 생성상들의 경도값 보다 떨어지는 것을 알 수 있는데, 이는 앞의 진단 시험결과와 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

이상과 같은 결과를 통해 SUS329J₃L/C18200, UNS32550/C18200의 이종재료의 브레이징에서 접합은 도 및 유지시간이 증가함에 따라 스테인리스강의 모재, 접합부 계면, 삼입금속층 및 크롬동 모재 계면의 미세조직이 모두가 다양하게 변화하는 것이 특징이다.

브레이징 조건은 조직학적으로는 1303K, 20분 유지시킨 접합부가 가장 안정하였으나 기계적 성질은 가장 낮았고, 1243K에서 15분 이상 유지 시 접합부에 많은 생성상을 가지고 있으나, 진단시험결과, 접합부에 있어서 크게 문제가 되지 않는다는 것을 알 수 있다..

Table 1 Chemical composition of materials

Materials	Chemical composition(wt,%)													Creq	Nieq
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	Ti	V	N ₂	Fe		
SUS 329J ₃ L	0.028	0.403	1.490	0.022	tr	21.88	2.840	6.02	0.244	0.005	0.051	0.18	Bal.	26.39	9.9
S32550	0.021	0.320	1.270	0.019	0.001	24.62	3.050	6.22	1.6	-	-	0.215	Bal.	29.28	11.73
C18200	-	0.009	-	-	-	0.97	-	-	Bal.	-	-	-	0.036	Pb 0.003	-
AWS476 4	-	-	38	-	-	-	-	9.5	Bal.	-	-	-	-	-	-

Table 2 Tensile properties of materials

Material	T.S (MPa)	Y.S (MPa)	El.(%)
SUS 329J ₃ L	620	450	25
S32550	760	550	15
C18200	230.3	127.4	40
AWS 4764	588	402	-

Table 3 arrangement of phases in the brazed zone

C18200 /SUS	Temp (K)	Time (min)	A-Cu	B-Mn	C Cr-Mn	E Fe-Cr	F Fe-Cr-Mo
SUS 329J ₃ L	1243	7	×	○	○	×	×
		15	○	○	○	○	○
	1273	0	○	○	○	×	○
		15	○	×	○	○	○
UNS 32550	1303	0	○	○	○	×	○
		15	○	×	○	○	○
	1243	7	×	○	○	×	○
		15	×	○	○	×	○
1273	0	○	○	○	×	○	
	15	○	×	○	○	○	
1303	0	○	×	○	○	○	
	15	○	×	○	○	○	

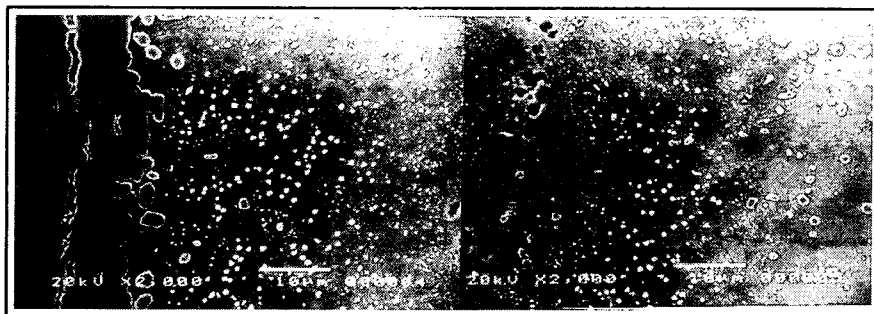


Fig. 1 Mosaic image of the joint by SEM

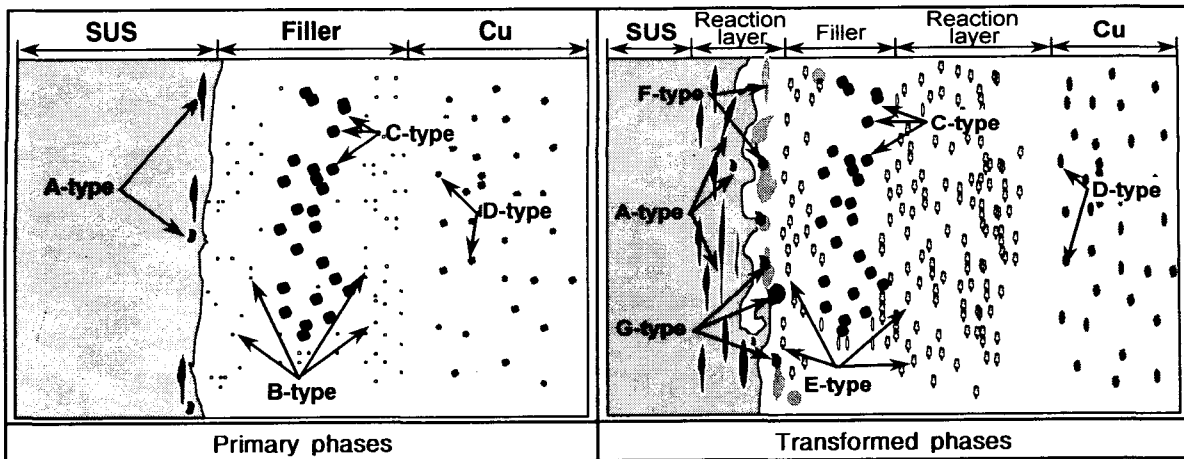


Fig. 2 Schematic diagrams for classification phases around the brazed zone

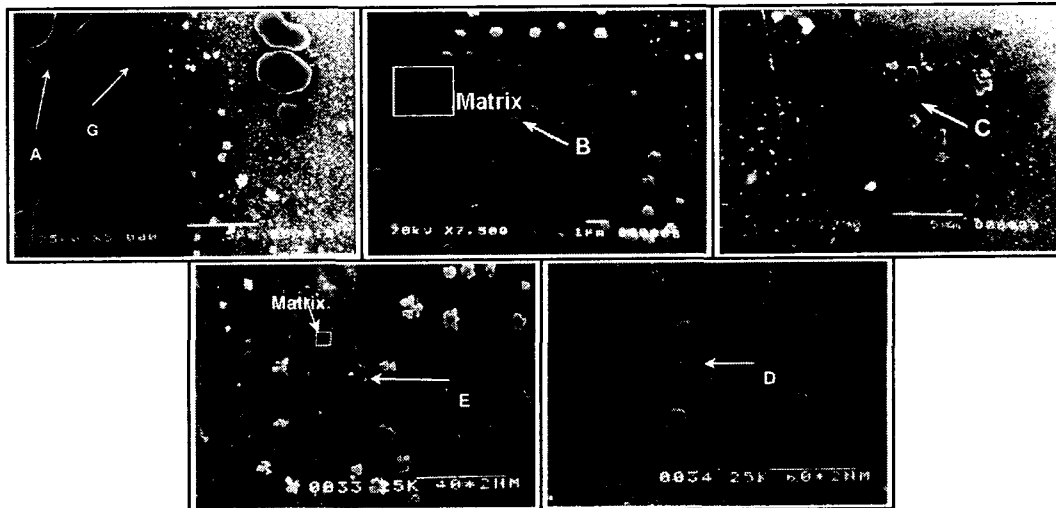


Fig. 3 typical features of phases in the joint

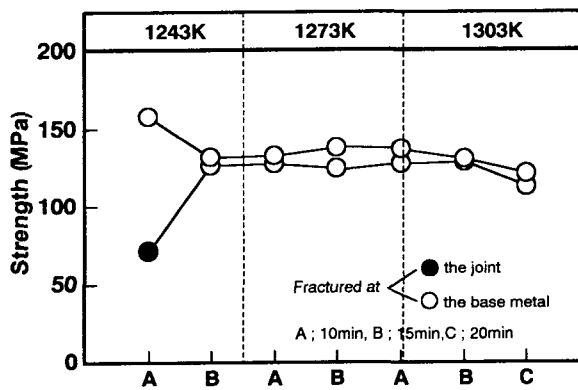


Fig. 4 Results of shear stress test at 573K

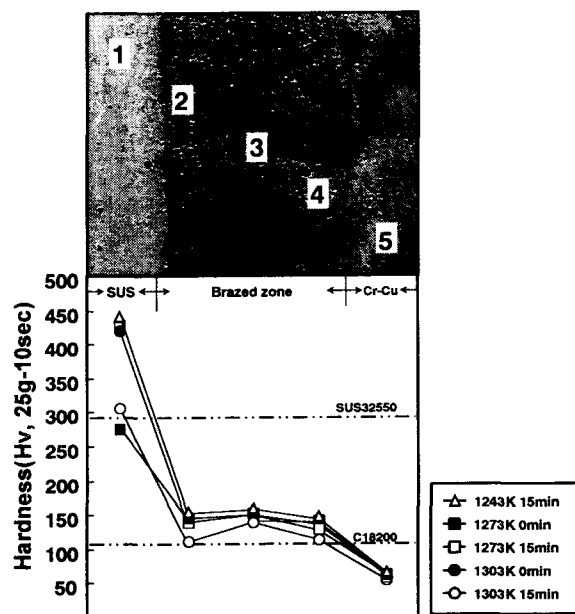


Fig. 5 Hardness change around the joint (Hv, 25g-10sec)