

이종재 브레이징 접합부에서의 중간재(Filler metal) 두께에 따른 열응력 해석 및 고찰

Thermal stress analysis and consideration by thickness of the filler metal of brazing copula

오 환 섭* 김 성 재 ** 김 도 형** 박 래 신***

* 경희대학교 테크노 공학대학 기계공학부

** 경희대학교 대학원

*** 경희대학교 테크노 공학대학 기계공학부 학생

1. 서 론

초경합금과 냉간 가공용 공구강은 기본적 물성의 차이가 크고 사용 중의 큰 충격을 견뎌야 하기 때문에 일반적인 용접방법으로는 불가능하다. 이 경우 일반적으로 Brazing법을 사용하지만 Brazing법에 의해 생성된 두 개의 접합계면은 모두 이종재 접합이므로 냉각시 발생하는 접합계면 주위의 잔류응력으로 쉽게 파괴되는 경우가 있다. 따라서 Brazing에서의 접합강도는 접합계면 및 계면 주위의 잔류열응력에 의하여 결정된다.

이와 관련된 연구결과들을 살펴보면 이종접합재의 접합 쪽으로서 알루미늄 세라믹과 구리⁽¹⁾, 세라믹과 금속의 브레이징⁽²⁾의 접합강도 평가와 Insert metal에 대한 연구로서 Cu-7.5%Zr⁽³⁾ Ag-Cu⁽⁴⁾가 있다. 또 접합계면의 열처리에 관한 연구⁽⁵⁾들도 있다. 그러나 연구 결과들을 종합하면 대부분 조직 및 열응력에 관한 연구가 대부분이고 역학적 입장에서 계면검토는 미흡한 실정이며 단편적이고 체계적이지 못하다. 따라서 본 연구는 Filler metal의 두께 고려한 열응력의 거동을 FEM을 이용하여 해석하고 계면 및 계면주위의 응력 거동을 고찰하여 Brazing 접합계면 강도평가를 시도하고자 한다.

2. Brazing 접합열응력에 대한 FEM을 이용한 응력해석

2.1 FEM에 의한 수치해석 및 방법

유한요소해석은 범용구조용 해석프로그램인 ABAQUS를 사용하여 열 탄소성 해석에 의하여 접합 과정에서 발생하는 접합 잔류응력을 해석하였으며, 해석 모델은 Fig. 2-1과 같다. SCM440 합금강 부분을 피접합재, 초경합금 부분을 접합재로 하여, Ag계의 Insert metal과 Cu계의 Filler metal로 접합되어 있음을 보여주고 있다. 초경합금과 SCM440 합금강의 접합은 고온(약1100℃)에서 행하여지므로 초기에는 열응

력이 발생하지 않으나, 냉각이 진행되어 브레이징 삼입 금속이 강도를 갖게 되면 열팽창계수가 다르므로 접합면에서 열 변형으로 서로 구속하게 되어 열응력이 발생한다. 따라서 본 연구에서는 브레이징 삼입금속이 응고하여 서냉할 경우 발생하는 접합열응력을 해석하였다.

해석 모델에 250℃, 500℃로 온도를 높인 후 다시 상온까지 냉각시키는 방법으로 모든 Node에 하중 대신에 온도를 부하하였을 때의 접합열응력 재 분포에 대하여 해석하였다.

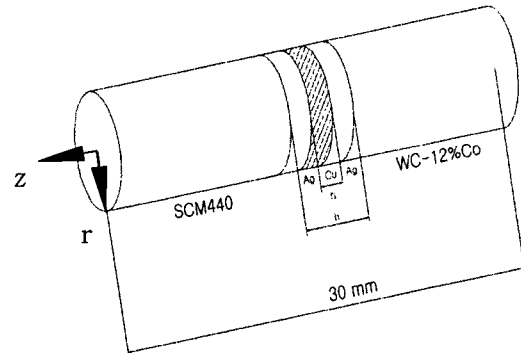


Fig. 2-1. Analysis Model of Case 1

두께 방향 및 축 방향으로의 응력 거동을 해석하기 위하여 실측치를 바탕으로 해석을 시행하였다. 해석에 필요한 온도에 따른 초경합금, SCM440 합금강, Insert metal과 Filler metal의 기계적 성질은 Table. 2-1, 2 와 같다.

Table. 2-1 Mechanical Properties to Brazing Material

Temp. (°C)	WC-12%Co			SCM440		
	20	250	500	20	250	500
E (GPa)	615	615	615	210	190	165
α (/°C)	4.50×10^{-6}	4.50×10^{-6}	4.50×10^{-6}	1.22×10^{-5}	1.37×10^{-5}	1.46×10^{-5}
ν	0.27	0.27	0.27	0.3	0.3	0.3

Table. 2-2 Mechanical Properties to Filler and Insert Metal

Temp. (°C)	Cu			Ag		
	20	250	500	20	250	500
E (GPa)	110	100	90	76	65	60
α (/°C)	1.70×10^{-5}	1.80×10^{-5}	1.90×10^{-5}	1.96×10^{-5}	1.99×10^{-5}	2.06×10^{-5}
ν	0.27	0.27	0.27	0.3	0.3	0.3

2.2 FEM 해석 결과의 실용성

접합 후 발생하는 접합 잔류 응력에 대하여 X선 측정 장치(XRD)를 이용하여 잔류응력을 측정하였고, 유한 요소 해석한 결과와 비교 검토하였다. 아래 Fig.2-2의 비교결과를 보면 FEM의 결과가 XRD의 측정결과에 비해 열응력이 과대평가되는 경향이 있고 두께가 2.5mm에서 27%, 0.5mm에서 23%의 범위에서 거동이 일치하는 것을 알 수 있다.

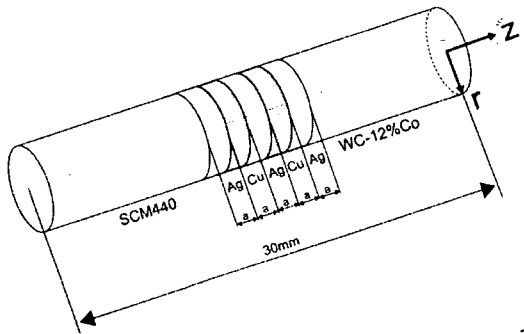


Fig. 2-2 brazing condition(a=0.2mm)

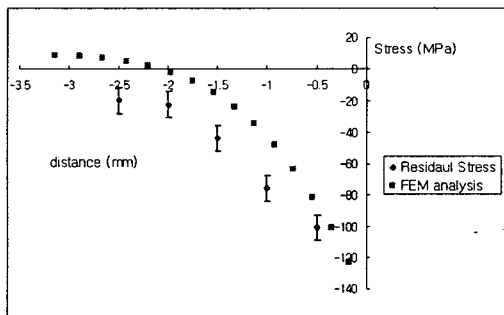


Fig. 2-3 Comparison between Residual Stress and FEM analysis

3. 접합부 열응력 해석 결과 및 고찰

접합 열응력 평가를 목적으로 FEM범용 프로그램인 ABAQUS를 이용하여 Filler metal의 두께를 변화시키면서 접합중심부와 표면부에서의 접합계면의 응력해석을 통하여 접합강도 평가시 예상되는 기초적 사항에 대해 고찰하고자 한다.

3.1 접합부 열응력에 대한 Cu계 Filler metal 두께의 영향

접합부 열응력에 대하여 접합 시 열팽창계수의 차이에 의하여 발생하는 접합 잔류응력을 완화시키기 위하여 사용된 Filler 두께의 영향에 대하여 접합 중심부와 표면부에서의 접합 열응력 거동에 대하여 고찰하고자 한다. Filler metal은 Cu를 사용하였는데 이는 온도에 따라서 초경합금 및 SCM440 합금강, 그리고 Insert metal에 비하여 열팽창계수가 작기 때문이다. 하지만 탄성계수는 Insert metal과 비교하여서 큰 값을 보인다. Filler metal 및 Insert metal의 총 두께는 1mm로 하였으며, Insert metal의 두께는 0.2mm로 고정하면서 Filler metal의 두께를 변화시켰다.

3.2 반지름방향으로의 열응력 거동

수치해석상 결과는 Fig. 3-1에서와 같이 접합 중앙부에서 반지름 방향으로의 응력성분 σ_{rr} 은 Filler metal의 두께가 커질수록 초경합금 부분은 증가하는 경향을 나타내고 있으나 SCM 합금강 부분은 감소하는 경향을 나타내고 있다. 하지만 표면부에서 σ_{rr} 은 중앙부와 비교하였을 때 그 값이 매우 작았으며 Filler metal이 커질수록 초경합금 부분이 급격히 감소하는 것을 알 수 있었다. 표면부에서 SCM440 합금강 부분은 반지름 방향으로의 응력성분이 거의 변화가 없었고 그 크기 또한 아주 작은 값을 나타내었다.

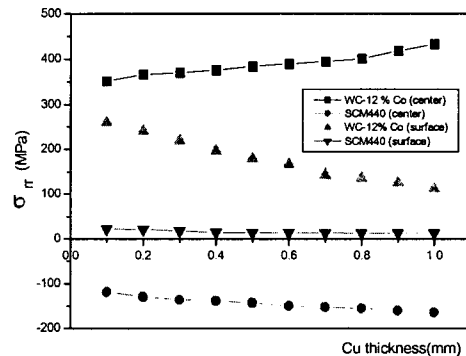


Fig. 3-1. σ_{rr} according to Cu thickness of Brazing Case 1

3.3 축 방향으로의 열응력 거동

수치 해석상 결과는 Fig. 3-2에서와 같이 축 방향으로의 응력성분 σ_{zz} 는 접합 표면부에서 중앙부보다 큰 값을 보임을 알 수 있었다. 접합 중앙부에서는 Filler metal의 두께가 커질수록 초경합금 및 SCM440부분은 증가하는 경향을 보였다. 접합 표면부에서는 Filler metal의 두께가 커질수록 초경합금 부분은 그 값이 작게나마 증가하였으나 SCM440부분은 그 값이 감소하는 경향을 보였다.

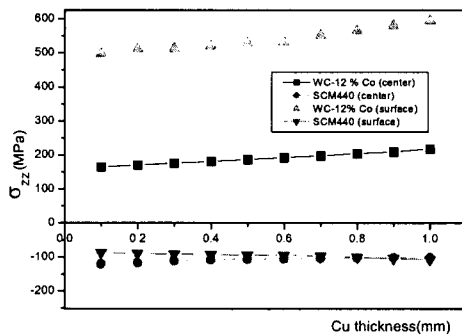


Fig. 3-2. σ_{zz} according to Cu thickness of Brazing Case

3.4 열응력 거동에 대한 Von-Mises 응력으로서의 고찰

수치해석상 결과는 Fig. 3-3에서와 같이 Filler metal의 두께가 커질수록 접합 표면부 및 중앙부에서 초경합금과 SCM440부분 모두 증가하는 경향을 나타내고 있다. 접합 표면부에서 중앙부보다 큰 값을 보이고 있으므로 파단이 일어나는 곳은 초경합금 부분의 접합 표면부라는 것을 나타낸다.

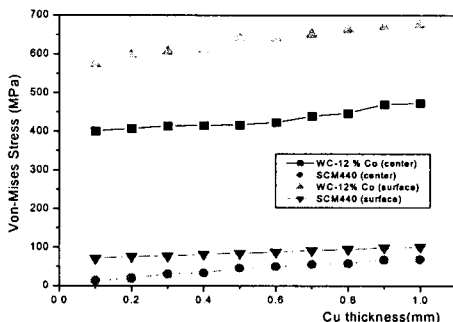


Fig. 3-3. Von-Mises Stress according to Cu thickness of Brazing Case 2

4. 결 론

본 연구는 초경합금 / SCM440합금강의 Brazing

접합강도 평가를 목적으로 X선을 이용한 접합 잔류응력을 측정하였고, FEM 범용 프로그램인 ABAQUS를 이용하여 Filler Metal의 두께가 변화하는 경우, Brazing 접합방법의 영향에 대하여 해석 검토하였다. 그 결과 얻어진 내용은 아래와 같다.

1) 반지름 방향으로의 응력(σ_{rr})을 해석한 결과 Filler Metal의 두께가 커질수록 초경합금 부분은 응력치가 감소하는 반면, SCM440합금강 부분은 응력치가 증가하였다. 중심부에서의 σ_{rr} 이 표면에서보다 큰 값을 보이므로 중심부에서 반지름방향으로의 늘어나려는 거동이 크다는 것을 알 수 있다.

2) 축 방향으로의 응력(σ_{zz})을 해석한 결과 초경합금 부분의 접합 표면부에서 가장 큰 값을 나타내었다. Filler Metal의 두께가 커질수록 약간 증가하는 경향은 볼 수 있었지만 그 증가치의 차이는 그리 크지 않다는 것을 알 수 있다.

3) Von-Mises 응력을 구하여 비교 검토한 결과 초경합금 표면부에서 가장 큰 값을 보였으며 초경합금 및 SCM440 합금강 부분 모두 두께가 커질수록 소폭 증가하는 구배를 보였다. 이는 Filler Metal의 열팽창계수는 다른 금속에 비해 작은 반면 탄성계수치가 Insert Metal 보다 크기 때문이다. 하지만 온도 변화에 따른 Von-Mises 응력의 크기변화가 작기 때문에 Filler Metal의 유용성을 입증하였다.

참 고 문 헌

- 1) 양영수, 전창훈, 나석주, "알루미나 세라믹과 구리의 브레이징 접합물에 대한 열응력의 유한요소법 해석에 관한 연구" 대한기계학회논문집 제14권 제3호, pp. 547-553, 1990
- 2) 구형희, 이대길, 이수정, 정명영, "세라믹-금속 브레이징 접합조인트의 고온 접합강도에 관한 연구" 대한기계학회논문집(A) 제20권 제2호 pp 520-528, 1996
- 3) 김병무, 한원진, 강정윤, 이상래, "Cu-7.5%wt Zr 삽입 금속을 이용한 Al₂O₃-STS 304 접합체 계면 조직에 관한 연구" 대한용접학회지 제11권 제1호, pp 62-72, 1993
- 4) 김종현, 유연철, "알루미나/Ag-Cu-Zr-Sn 브레이징 합금계면의 미세조직" 소성·가공 제7권 제5호, pp 481-488, 1998
- 5) 정하윤, 박경채, 김종철, "WC-9%Co와 SUJ2 강의 접합특성에 미치는 열처리 영향" 대한용접학회지 제15권 제5호 pp 55-63, 1997