

압축하중법에 의한 금속/세라믹 브레이징부의 잔류응력 감소에 관한 연구

한국과학기술원 정밀공학과 김 원 배*
나 석 주

1 서 론

본 연구에서는 세라믹재의 접합시 가장 많이 사용되고 있는 공정중의 하나인 브레이징 접합시의 발생하는 잔류응력을 감소시키는 방법으로 접합공정중에 기계적인 하중 사이클을 접합부에 가하는 접합공정 제어법을 유한요소법을 통해 모델링하고 각 공정변수의 영향을 알아보았다. 접합부에 가한 하중의 크기는 하중을 가한 온도에서의 금속의 항복강도를 기준으로 0%에서 130%까지 변화시켜가며 잔류응력의 감소효과를 조사하였으며, 또한 X선회절을 이용하여 잔류응력을 측정하고 해석결과와 비교하였다.

2 공정 모델링

2.1 열 탄소성 해석

유한요소법을 이용하여 *AISI1045/SiC* 브레이징 접합부의 잔류응력을 해석하였다. 본 연구에서 사용한 금속과 세라믹의 치수는 각각 12mm(W) x 4mm(D) 이고, 용가재는 Ag-Cu-Ti 합금을 사용하였으며, 이의 두께는 0.1mm에서 0.5mm까지 변화시켰다. 압축하중법의 유한요소해석에 사용한 해석영역은 Fig.1과 같이 y-z평면중 우측반평면을 대상으로 하였으며, 진공로 브레이징을 선택하고 이에 따른 열적 경계조건하에서 열유동을 해석하였다. 또한 열응력 및 잔류응력의 해석을 위해 사용한 경계조건은 Fig.2와 같으며, x방향으로의 변형에 변화를 주기위하여 해석영역내에 유한한 미소길이를 포함하였다.

2.2 압축하중법 모델링

압축하중법은 접합공정중에 소재에 압축하중을 가함으로써 재료내에 탄성압축응력의 발생 및 소성변형을 일으킴으로서 세라믹 선단부에 발생하는 인장잔류응력의 크기를 줄이는 방법이다. 본 연구에서 적용한 압축하중법을 이용한 브레이징 공정은 다음과 같은 4단계의 공정으로 나뉘어지며, 열 사이클과 기계적 하중사이클의 관계를 Fig.3에 개략적으로 나타내었다. 압축하중법의 첫 단계는 통상의 로 브레이징 공정과 동일한 방법으로 브레이징 온도까지 가열하고 용가재를 용융시킨 뒤 미리 정해놓은 온도까지 냉각한다. 이때의 온도는 금속의 소성변형을 용이하게 하기위하여 상온보다 200~400°C 정도 높은 온도를 설정하였다. 두번째 단계는 온도는 일정하게 유지시킨 상태에서 압축하중을 z방향으로 가한다. 세번째단계는 재료에 일정한 압축하중을 가한 상태에서 접합부의 온도를 상온까지 냉각시킨다. 그리고 마지막으로 하중을 제거하는 단계가 있다. 하중사이클에 사용한 압축응력의 크기는 하중을 가하는 온도에서의 *AISI1045*의 항복응력을 기준으로 30%에서 130%까지 단계적으로 변화시켜 하중크기가 잔류응력의 크기에 미치는 영향을 계산하였으며, 압축하중을 가하는 온도에 대한 영향도 조사하였다.

3 해석결과 및 고찰

압축하중법의 적용에서 가하는 하중의 크기는 브레이징 접합부의 잔류응력 분포 및 응력감소에 중요한 영향을 미치는 인자이다. Fig.4는 하중을 가하는 온도 300°C로 하고 접합부에 가하는 하중의 크기를 300°C에서의 *AISI1045*의 항복응력을 기준으로 0%, 30%, 70%, 100% 그리고 130%로 변화시켰을 경우의 접합부 표면에서의 잔류응력 분포를 나타낸 것이다. 작용하는 하중의 크기가 증가할 수록 접합부 특성에 심각한 영향을 미치는 z방향응력, 특히 세라믹 선단부에서의 인장잔류응력이 상당히 많이 감소하고 있다. 이와같은 잔류응력의 감소는 접합부내에서 접합소재간의 열팽창 계수의 차이에 기인하여 발생하는 탄성변형량중의 일부가 압축하중하에서 소성변형량으로 전

환되었기 때문으로 판단된다. 한편 접합부에 가하는 하중이 큰 경우, 즉 130% 항복응력에 상당하는 하중을 가하는 경우, 금속재중에 압축잔류응력이 급속히 증가하고 있음을 알 수 있으나, 압축응력은 일반적으로 기계적 특성에 나쁜 영향이 거의 없으며, 발생하는 잔류응력의 크기도 재료의 강도에 비해 상당히 작은 값이므로 압축하중법의 적용에 문제는 되지 않을것으로 생각된다.

압축하중법을 적용하는데 고려해야 되는 다른 인자로는 하중을 가하는 온도가 있다. Fig.5는 하중을 가하는 온도는 변화시키고 하중의 크기는 각각의 작용온도에서의 AISI1045항복강도의 100%에 상응하는 값을 작용시켰을 경우 접합부 표면에서의 잔류응력의 분포를 나타낸 것이다. 발생하는 잔류응력의 크기 및 분포는 각 조건별로 거의 동일한 분포를 나타내고 있음을 알 수 있는데 이는 각 작용온도에서 작용하는 하중의 상대적인 크기가 동일하기 때문에 이에따라 발생하는 변형량의 크기도 거의 동일하게 되기 때문으로 생각된다. 따라서 브레이징 접합부의 인장응력 감소를 위해서는 될수록 고온에서 적은 하중으로 압축하중법을 적용하는것이 바람직 할것으로 판단되고 있으나, 너무 높은 온도에서 작업을 수행할 경우 금속부의 변형이 과다하게 발생함으로써 품질에 악영향을 끼칠수 있기 때문에 압축 하중법의 적용을 위한 최적 접합조건의 도출을 위해서는 접합재료의 물리적 특성을 충분히 검토하고 공정변수를 선정해야 할것으로 생각된다.

Fig.6은 압축하중을 가하는 온도를 300°C로 하고 압축하중의 크기를 AISI1045의 300°C의 항복응력의 30%, 70% 및 100%로 변화시켜가며 브레이징 시험편을 제작하고 시험편 표면에 존재하는 잔류응력의 크기를 측정 한 결과를 유한요소법에 의한 해석결과와 같이 나타낸 그림이다. 30% 항복응력에 상당하는 하중을 가한 경우에는 Fig.6a에서 보는바와 같이 측정되는 최고인장응력의 크기가 여전히 세라믹의 파괴강도이상으로 나타나고 있어 인장잔류응력의 감소효과가 그다지 크지 않은 것을 알 수 있으나, 하중의 크기를 증가시키면, 특히 100% 항복응력에 해당하는 압축하중을 가한 경우에는, 세라믹 선단부에서의 측정된 최대인장응력이 압축하중을 가하지 않은 경우의 약 50%이하 수준까지 감소함을 알 수 있으며, 또한 세라믹의 파괴강도 이하의 잔류응력을 유지시킬 수 있어 접합부의 기계적 특성의 향상에 좋은 영향을 가져올 것으로 판단된다.

4 결 론

AISI1045/SiC의 브레이징 접합부에 발생하는 잔류응력을 감소시키기 위해 압축하중법을 적용시키고 이를 유한요소법을 통해 해석한후, X선회절법을 이용하여 응력을 측정 한 결과와 비교한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 브레이징 접합부의 표면에 발생하는 인장잔류응력은 압축하중법에 의해 상당히 감소시킬 수 있었다.
2. 압축하중법의 적용시 하중의 크기가 클수록, 하중작용시의 온도가 높을수록 그 효과는 크게 나타난다.
3. 하중을 가하는 온도가 다른 경우에도 작용하는 하중의 크기와 재료의 항복응력과의 비가 동일할 경우 압축하중법의 효과는 동일하게 나타났다.

참고문헌

1. A.Levy,"Thermal residual stresses in ceramic-to-metal brazed joints", *J.Am.Ceram.Soc.*, 74(1991), p.2141-2147
2. Y.-S.Yang and S.-J.Na,"A study on the thermal and residual stress by welding and laser surface hardening using a new two-dimensional finite element model", *Proc.Instrn.Mech.Engrs., Part B:J. of Engineering Manufacture*, 204(1990), p.167-173
3. W.-B.Kim and S.-J.Na,"A study on residual stress reduction method through mechanical loading cycle in metal-to-ceramic brazed joints", *Proc.Instrn.Mech.Engrs., Part B:J. of Engineering Manufacture*, in press

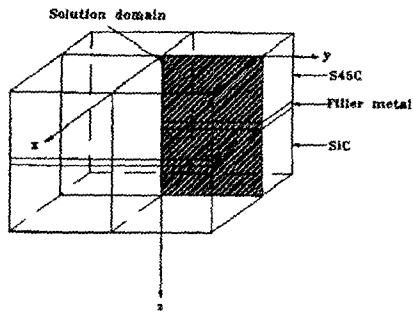


Fig.1 Solution domain and coordinate system

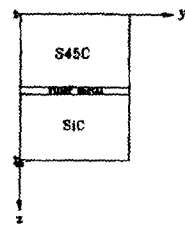


Fig.2 Boundary conditions of thermal and mechanical cycle for metal-to-ceramic brazing

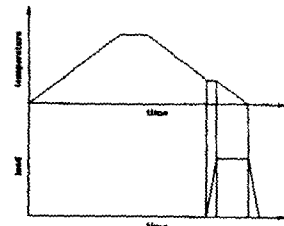


Fig.3 Schematic diagram of thermal and mechanical cycle for metal-to-ceramic brazing

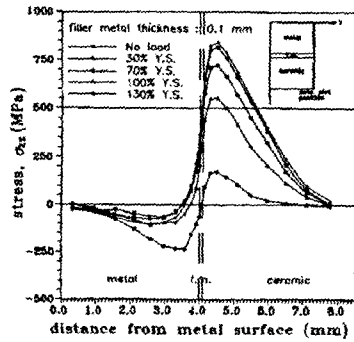


Fig.4 Distributions of z-directional residual stress after mechanical loading cycle with various loads

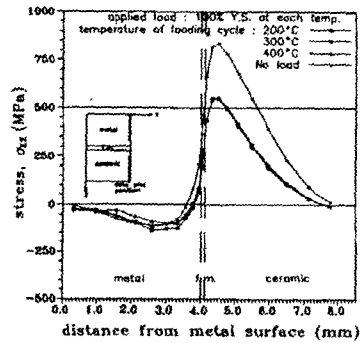
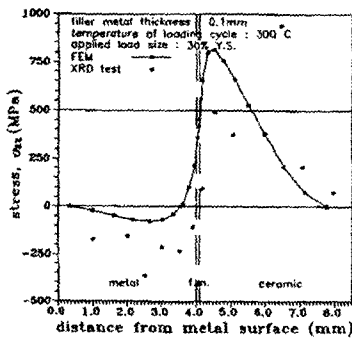
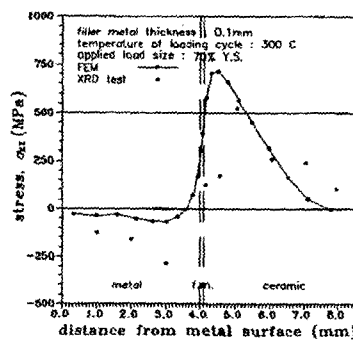


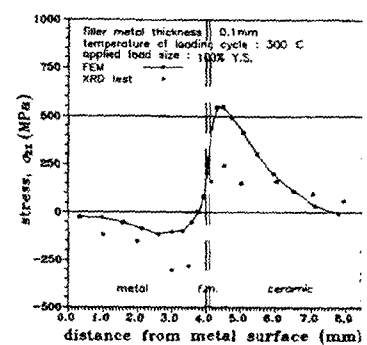
Fig.5 Distributions of z-directional residual stress along free edge for various temperatures at mechanical loading with different loads



(a)



(b)



(c)

Fig.6 Comparison of FEM and XRD results with mechanical loading cycle for different loads : (a)30% Y.S. (b) 70% Y.S. (c) 100% Y.S.