

Cold Working을 적용한 AL7075소재의 피로수명에 관한 연구

Fatigue life research of AL7075 materials which apply Cold Working

*김제현¹, #김태훈¹, 허광호¹

*J. H. Kim¹, #T. J. Kim(tjkim@ghi.re.kr)¹, G. H. Hor(hor0514@ghi.re.kr)¹

¹(재)경북하이브리드부품연구원

Key words : Cold Working, Fatigue Life, AL7075, Compressive residual stress, Fatigue Analysis

1. 서론

항공기의 스피드 브레이크(Speed Brake)는 일종의 에어 브레이크(Air Brake)이며, 브레이크 스파 러그(Spar Lug)와 연결된 액츄에이터(Actuator)를 작동시킴으로써 브레이크를 접었다 펼치는 방식으로 구동된다.

러그의 경우 액츄에이터의 반복 하중에 의해서 피로균열이 발생한다. 피로균열 발생 시 Fig. 1과 같이 부품 전체를 교환해야 한다. 때문에 경제적 손실을 방지하고, 항공기의 안전한 운행을 위하여 러그의 피로수명 연장 방안 연구를 수행하였다.

본 연구에서는 러그의 고장분석과, Coldworking을 적용한 경우의 피로수명을 해석적으로 평가하였다.



Fig. 1 Speed Brake and Spar Lug

2. 고장분석 - 3차원 정밀 측정

Fig. 2와 같이 러그 홀의 3차원 정밀 측정 결과, 러그홀에서 액츄에이터가 작용되는 방향으로 홀의 외부로 변형이 발생하였으며, 러그홀에서 액츄에이터의 수직 방향으로는 홀의 내부로 변형이 발생하였다. 이것은 액츄에이터 작용 방향으로 압축, 수직 방향으로 인장이 작용하였음을 알 수 있다.



Fig. 2 Precision Measurement Results of Lug Hall

3. 고장분석 - 경도측정 및 조직관찰

Fig. 3과 같이 경도측정 및 조직 관찰을 하였다. 경도의 경우 부시(Bush)와의 경계로부터 0.3mm간격으로 내부로 측정하였다. 각 위치별 경도값은 표면에서 가장 큰 차이를 보였으며, 내부로 갈수록 평준화 됨을 알 수 있다. 액츄에이터 방향은 8,4번이며, 8번이 가장 경도값이 높고, 7번이 가장 낮게 나타났다. 압축효과에 의해 8번과 4번의 경우 조직이 액츄에이터 방향으로 연신되어 있으며, 인장효과에 의해 3번의 경우 부시와 러그 사이의 틈이 발생한 것으로 나타났다.

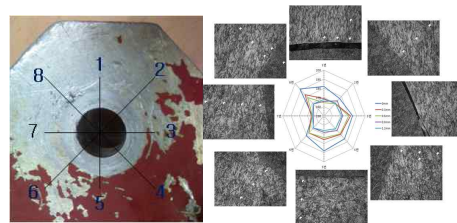


Fig. 3 Vicker's Hardness and Microstructure

4. 고장분석 - 잔류응력 측정

러그홀 표면에서 직경방향으로 2mm 떨어진 위치의 잔류응력 측정을 하였다. 액츄에이터 방향은 2,6번이며 잔류응력 측정 결과는 Table. 1과 같다. Fig. 4와 같이 포인트별 경향을 보면 경도측정시 가장 낮은 포인트가 압축잔류응력도 가장 낮게 나타났다.

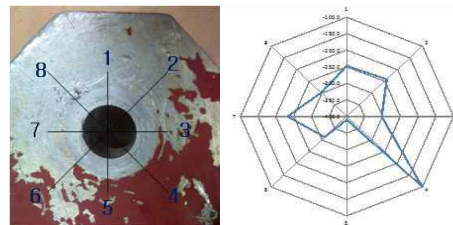


Fig. 4 Residual Stress Measurements

Table 1 Residual Stress Measurement Data(Unit:mm)

Position	Residual Stress	Position	Residual Stress
1	-247.2	5	-389.7
2	-242.2	6	-311.6
3	-302.9	7	-233.8
4	-99.5	8	-298.3

액츄에이터 작동 전후의 영향을 판단하기 위해 리그와 동일한 모양의 시편을 제작하여 내구시험을 수행하고, 내구시험 전과 후의 잔류응력을 비교하였다.

Fig. 5와 같이 내구시험전의 잔류응력은 인장압축이 혼재 되어 있지만, 내구시험 후의 잔류응력은 하중부가 방향인 2번과 6번 포인트에서 압축잔류응력이 생성되어 있다. 하중방향과 수직인 4번과 8번 포인트에서는 인장잔류응력이 생성되었다.

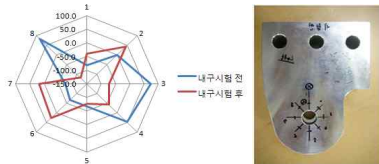


Fig. 5 Comparison of Residual Stress before and after Fatigue analysis

5. 유한요소해석

유한요소 해석을 위하여 Fig 6과 같이 모델링(1/2모델)을 하였다. 또한 압축잔류응력 생성이 피로수명에 미치는 영향 판단을 위해, Coldworking에 의한 압축잔류응력을 생성 시킬 수 있도록 맨드레일(Mandrel)을 모델링 하였다. 해석 S/W는 Ansys Workbench이며, 소성물성치와 접촉조건을 적용하였다.



Fig. 6 FEM model applied Coldworking

Coldworking을 적용하여 압축잔류응력을 생성한 해석결과는 Fig. 7과 같다. 맨드레일이 리그홀을 통과하면서 반경방향으로 소성변형을 일으키며, 변형에 의한 압축방향 응력이 발생한 것을 알 수 있다.

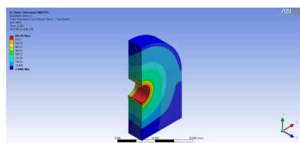


Fig. 7 Result of compressive residual stress analysis

Coldworking 적용 유무에 따른 피로수명을 평가하기 위하여 피로해석을 수행하였다. 해석 결과는 Fig. 8과 같다. Coldworking을 적용한 모델의 경우에는 균열발생지점의 수명이 적용전 모델에 비해 높게 나타났다. 응력 벡터로 분석한 결과 Coldworking을 적용한 경우 압축응력과 인장응력이 서로 상쇄되는 역할을 하는 것으로 나타났다.

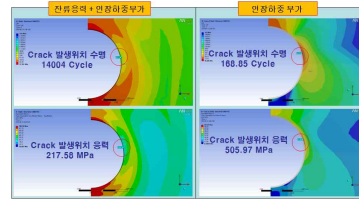


Fig. 8 Result of Fatigue analysis apply Coldworking

균열발생지점에서의 표면부터 반경방향으로의 피로수명은 Fig. 9와 같다. 내부로 가면서 Coldworking 적용 유무와 관계없이 비슷한 경향을 보이지만 표면에서의 피로수명은 Coldworking을 적용한 모델이 훨씬 높다는 것을 알 수 있다.

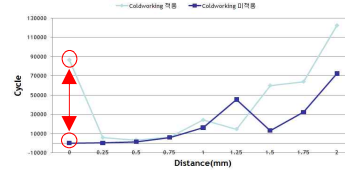


Fig. 9 Hall radius direction distance by fatigue life

6. 결론

AL7075 소재의 리그는 인장 반복하중을 받는 부위에서 피로균열 발생 가능성이 높은 것으로 나타났다. 리그 홀의 피로해석 결과 Coldworking에 의한 압축 잔류응력이 부가된 경우가 피로수명이 높으며, 압축 잔류응력에 의해서 표면 균열을 억제 시켜 피로수명을 증가시키는 것을 확인할 수 있었다.

후기

본 연구는 공군 항공기술연구소 외주용역사업 수행결과의 일부이다.

참고문헌

1. 우창기, 김희승, "반복인장-압축하중을 받는 이온질화 처리한 SM45C의 부식피로 파괴거동에 관한 연구" 대한기계학회 논문집, 13-3, pp. 451~460, 1989.
2. 서창민, 김성진, "TiAlN 코팅된 로터장재의 고온하 피로균열의 발생 및 성장 거동", 한국해양공학회 춘계 학술대회 논문집, pp. 79~84, 1999.