

스크린 질화/DLC 복합 코팅이 정밀 플라스틱 사출금형용 Fe-3.0%Ni-0.7%Cr-1.4%Mn-X강의 기계적 특성 및 고주기 피로 특성에 미치는 영향

The Effects of Screen Nitriding/DLC Multi Surface Treatment on High Cycle Fatigue and Mechanical Properties of Fe-3.0%Ni-0.7%Cr-1.4%Mn-X Steel for High Precision Plastic Injection Mold.

김송희^{a*}, 장재철^a

^a강원대학교 나노응용공학과(E-mail:songhee@kangwon.ac.kr)

초 록: 금형 내부의 마모를 줄이기 위한 경질 박막의 안정성 향상과 표면에 인가된 압축 잔류 응력이 고주기 피로 특성에 미치는 영향을 연구하기 위해 정밀 플라스틱 사출 금형강에 주로 사용되는 Fe-3.0%Ni-0.7%Cr-1.4%Mn-X강에 스크린 질화 처리와 DLC 코팅을 시간과 단일, 복합처리의 변수를 두어 코팅하였다. PAPVD법으로 DLC(3 μ m), 스크린 질화(3h, 50 μ m)/DLC(3 μ m) 코팅 후 고주기 피로 시험을 행하여 고주기 피로 특성을 평가하였다. 스크래치 시험, 마모 시험, 잔류응력 측정을 통해 질화 처리 여부에 따른 코팅의 안정성을 평가하였다. DLC, 스크린질화/DLC 코팅한 경우 압축 잔류 응력의 영향으로 모두 피로 수명이 향상되었고 스크린질화/DLC 코팅한 경우 그 향상폭은 더 컸다. 질화 처리 후 DLC 코팅한 경우 질화층은 버퍼레이어로 작용하여 코팅의 박리를 억제함을 확인하였다.

1. 서론

플라스틱 제품은 자동차, 가전제품, 휴대용 전자 기기 등 광범위한 분야에서 사용되고 있으며 소재 성형 기술의 발전으로 일반플라스틱 뿐만 아니라 섬유 강화 플라스틱(FRP)이나 엔지니어링 플라스틱(EP)과 같은 고기능, 고강도 플라스틱 제품의 활용 범위는 더욱 확대될 것으로 예상된다[1,2]. 플라스틱 제품의 제조 방식 중 널리 사용되는 사출 방식은 점차 대형화, 양산화, 정밀화의 경향을 보이고 있다[3]. 그중 정밀한 플라스틱의 제조를 위해서는 금형 내부의 경면성이 매우 중요하다.

이러한 플라스틱의 제조 방식에서 플라스틱 사출품의 품질은 금형 내부의 경면성에 의해 결정되므로 정밀한 플라스틱 제품의 제조를 위해서는 높은 경면성을 갖는 금형의 제조가 중요하다. 그러나 반복적인 사출 과정에서 발생하는 금형의 경면성 저하와 그에 따른 균열 전파는 사출품의 품질을 저해하고 수명을 감소시키는 요인이 되므로 이의 개선이 필요하다. 최근 오스테나이트 스테인레스강의 DLC 코팅이 고주기 피로 수명에 미치는 영향에 관한 연구[4]가 진행된 바 있으나 내마모성, 접착성과 피로 특성을 동시에 향상시키는 코팅 조건에 대한 연구는 아직 보고되지 않고 있다.

본 연구에서는 플라스틱 금형강에 PAPVD법을 이용하여 DLC 단일층, 스크린 질화/DLC 복합 코팅을 증착하고 각 코팅의 고주기 피로 특성을 평가하였다.

2. 본론

2.1 시험 재료

시험 재료는 Fe-3.0%Ni-0.7%Cr-1.4%Mn-X강에 특수 원소를 첨가하여 국내 P사에서 개발한 pre-harden 강으로 ESR(Electroslog remelting)공정 이후 열간압연하여 판재로 제조하였으며 그 화학조성은 표 1과 같다. 제조된 판재는 900 $^{\circ}$ C에서 용체화처리, 550 $^{\circ}$ C에서 시효처리 한 후 EDM을 이용하여 가공하였다. 시편은 다양한 크기의 알루미늄 분말을 단계적으로 이용하여 연마하였으며 0.3 μ m 입도의 분말을 이용하여 최종 연마한 뒤 PAPVD법으로 DLC 코팅과 스크린 질화 후 DLC 코팅 두 가지 조건의 표면처리를 행하였다.

2.2 고주기 피로 특성 평가

피로 시험은 만능재료시험기(MTS 810, USA)를 이용하여 응력비 R=-1, 주기 f=10Hz, 하중 제어 조건 하 시험을 진행하였으며 시험편의 치수는 그림 1과 같다. 시험 중 파단이 발생하는 사이클 수인 Nf의 1%, 10%, 25%, 50%의 횡수만큼 하중을 가했을 때 시험편을 장치로부터 제거한 뒤 AFM(XE-70, Park Systems)을 이용하여 시험편 표면의 균열 발생 여부와 균열 길이 및 평균 표면 거칠기를 측정하였다.

2.3 실험 결과

DLC 코팅 및 스크린 질화 후 DLC 코팅한 경우 모두 피로 수명이 향상되었고 스크린 질화 후 DLC 코팅한 경우 향상 폭이 더 컸다. 항복 강도의 70% 수준인 ± 700 MPa의 응력 범위에서 하중제어피로실험을 행한 결과 시험편의 파단 직전까지도 표면에서의 균열이 관찰되지 않았다. SEM을 이용한 파면조사결과 피로균열이 코팅층 바로 아래서 시험내부로 성장하였기 때문이었다. DLC, 스크린 질화 후 DLC 코팅한 경우 모두 균열이 발생하지 않았으나 ± 800 MPa의 피로응력을 주었을 때 DLC 코팅한 두 가지 경우의 표면에서 피로균열 발생이 관찰되었다. 보다 높은 피로응력 진폭이 가해진 경우 표면부근의 압축잔류응력이 존재하더라도 인장시 취성인 DLC 코팅 층에 표면 균열이 생성되었기 때문이라고 생각된다.

Table 1. Chemical composition of Fe-3.0%Ni-0.7%Cr-1.4%Mn-X [wt.%]

Fe	C	Ni	Cr	Mn	A, B
bal.	0.07~0.12	3.0	0.7	1.4	Xwt.% added

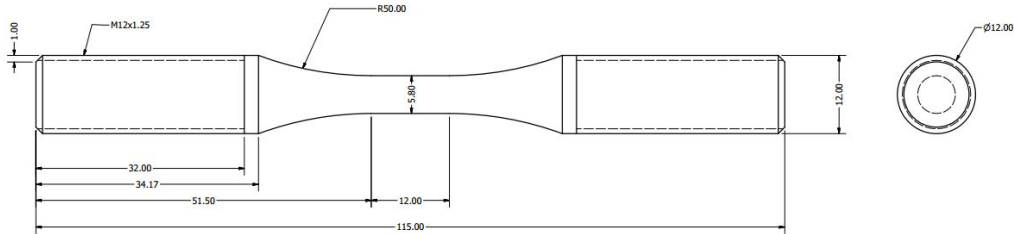


Fig. 1. Schematic Diagram of Specimen.

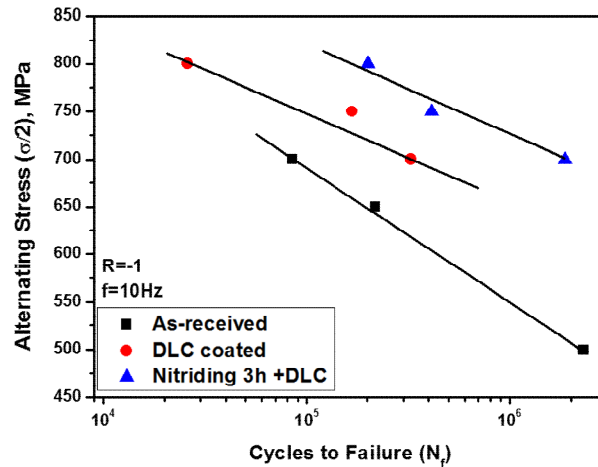


Fig. 2. The effect of DLC and nitriding/DLC coating on the fatigue life of Fe-3.0Ni-0.7Cr-1.4Mn-X at various stress amplitude level.

3. 결론

DLC 코팅과 스크린 질화 후 DLC 코팅한 경우 모두 피로 수명이 향상됨을 확인하였으며 스크린 질화 후 DLC 코팅했을 때 향상 폭은 더 컸다. 고응력 범위에서 발생하는 DLC 코팅의 균열은 스크린 질화에 의한 압축 잔류 응력의 증가로 인해 생성되지 않았다. 따라서 DLC 코팅 전 적절한 표면 처리는 코팅의 안정적 증착과 피로 수명 향상에 기여함을 확인하였다.

참고문헌

1. J. Y. Yu, *et. Al.*, 2010 roadmap for integrating technologies in small and medium business-Analysis of current situation in strategy field, vol. 3, KISTI, (2010) 463.
2. Martinez-Mateo I, Carrión-Vilches FJ, Sanes J, Bermúdez MD. *Wear.* 271 (2011) 2512.
3. S. J. Kim, C. D. Lee, E. S. Woo, Development of Stainless Steel for Plastic Dies, KIMM, (1993) 3.
4. Jens Schaufler, *et. Al.*, *International Journal of Fatigue.* 37 (2012) 1.