

유한요소해석을 이용한 TiN 코팅의 특성평가 Characteristics Evaluation of TiN Coating using Finite Element Method

*이준혁¹, #박태조², 김현석³, 김병우³

*J. H. Lee¹, #T. J. Park(tjpark@gnu.ac.kr)², H. S. Kim³, B. W. Kim³

¹경상대학교 대학원 기계항공공학부, ²경상대학교 기계공학부, ³삼성중공업 조선해양연구소

Key words : Coating, Spherical indentation, Finite element method, Contact analysis, MARC

1. 서론

상대운동을 하는 대부분의 기계에서는 다양한 작동조건에 따라 마찰, 마모문제가 필수적으로 발생하며 이는 기계요소의 수명을 크게 감소시킬 뿐 아니라 전체 시스템의 손상을 야기한다. 기계산업의 급속한 성장으로 가공기술의 고숙화, 고정밀화가 요구되며 특히, 생산성에 큰 영향을 미치는 금형, 절삭공구에 대한 수명향상이 필히 요구되고 있다. 최근 박막 증착기술의 급성장으로 세라믹 코팅(Coating)재 (TiN, TiC 등), 다이아몬드, DLC(Diamond-like carbon) 등의 재료로 기계 부품 요소의 표면 코팅방법이 널리 적용되고 있으며 이중, 세라믹 코팅은 내충격성, 내마모성, 내식성, 내산화성, 낮은 마찰계수, 높은 경도 등의 장점으로 널리 사용되고 있다[1].

지금까지 많은 연구자들은 실험적, 수치적 해석 방법을 통해 다양한 코팅재의 기계적 특성, 재료의 파손에 대해 연구하였다[2-4]. 본 논문에서는 기계 부품의 트라이볼로지 특성을 향상을 위한 연구의 일환으로 구형의 압입자와 TiN 코팅된 스틸면 사이의 접촉해석문제를 비선형문제해석 S/W인 MARC[5]를 사용하여 해석하고자 한다.

2. 해석방법

Fig. 1에는 접촉해석에 사용된 전체 격자계와 적용된 경계조건을 개략적으로 나타내었다. 해석의 단순화를 위해 2차원 축대칭요소를 적용하였으며 사용된 격자종류는 2D Quad Full Integration 10이다. 정확한 해석결과를 위하여 압입자와 코팅층의 접촉부 격자를 조밀하게 구성하였다. 코팅층과 압입자는 선형탄성(linear-elastic)으로, 스틸면은 완전탄소성(elastic-perfect plastic)으로 각각 정의하였다. 경계조건으로는 압입자 상단에 강체

(Rigid)요소를 접촉하여 2N의 수직하중을 작용하였으며 하중단계(loadng), 제하중단계(unloading)로 나누어 해석하였다. Table 1에는 해석에 사용된 주요물성치를 나타내었다. 여기서, 압입자의 반지름(R)은 20 μ m, 코팅층의 두께(t)는 0~5 μ m이며, 압입자와 코팅층 사이의 마찰계수는 0.1이다. 해석시 접촉부에서의 과도한 변형에 의해 수렴되지 않는 경우를 피하기 위해 Time Table[5]을 정의하였다.

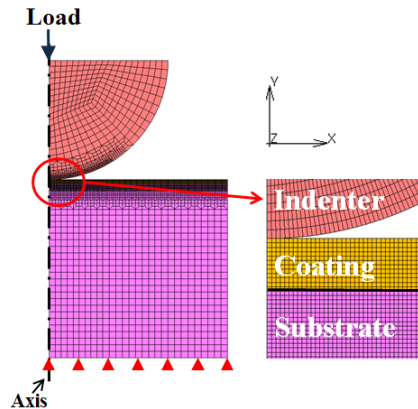


Fig. 1 Schematics of finite element mesh and applied boundary condition.

Table 1 Mechanical properties

	Material	Young's modulus, GPa	Poisson's ratio	Yield strength, GPa
Indenter	Diamond	1,140	0.07	-
Substrate	High speed steel (HSS)	200	0.29	1
				2
Coating	TiN	300	0.22	-

3. 결과 및 고찰

Fig. 2는 모재인 스틸층의 항복응력이 1GPa인

경우 상대적인 코팅두께(t/R_i)에 따른 하중-제하중 곡선을 나타낸 그림이다. 코팅을 하지 않거나 코팅 두께가 얇은 경우에는 작은 하중에서도 모재층의 상당한 소성변형이 발생하였다. 반면에 코팅이 두꺼우며 코팅층의 하중지지능력이 증가하며 이는 모재의 소성변형을 감소시키므로 탄성회복량이 크게 증가하는 것을 알 수 있다.

Fig. 3은 모재층의 항복응력에 대한 코팅층의 영향을 확인하기 위하여 코팅두께가 $2\mu\text{m}$ 인 경우 모재층의 항복응력 대 탄성계수 비에 따른 하중-제하중 곡선을, Fig. 4는 2N의 수직하중 작용시 최대 주응력분포를 나타내었다. 항복응력 대 탄성계수 비(Y_s/E_s)가 큰 경우에는 최대 압입깊이가 얕고 모재층의 소성변형이 크게 감소한다(Fig. 3). 동일한 하중작용시 항복응력 대 탄성계수 비가 작은 경우에 입자와 코팅층의 접촉면적이 증가하며 입자 접촉부 바깥쪽(A)에 높은 인장응력에 의한, 이의 비가 큰 경우 입자 아래(B)에서 상대적으로 높은 압축응력에 의한 코팅층의 크랙(Crack)과 같은 손상이 발생할 것으로 추정된다(Fig. 4).

후기

이 논문은 지식경제부 산업융합원천기술개발사업 [10042662]으로 지원된 연구결과입니다.

참고문헌

- Holmberg, K., et al., "Coatings Tribology - Contact Mechanisms and Surface Design," *Tribology International*, **31**, No. 1-3, pp. 107-120, 1998.
- Tang, K. C. and Arnell, R. D., "Determination of Coating Mechanical Properties using Spherical Indenters," *Thin Solid Films*, **355-356**, pp. 263-269, 1999.
- Rehman, H. U., et al., "Study on the Deformation Mechanics of Hard Brittle Coatings on Ductile Substrates using in-situ Tensile Testing and Cohesive Zone FEM Modeling," *Surface and Coatings Tech.*, **207**, pp.163-169, 2012.
- Kot, M., et al., "Analysis of Spherical Indentations of Coating-substrate Systems: Experiments and Finite Element Modeling," *Materials and Design*, **43**, pp.99-111, 2013.
- "MSC. MARC/MENTAT 2012 User's Guide," A-E, 2012.

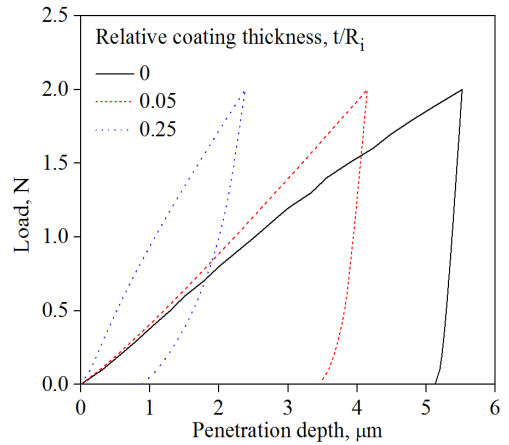


Fig. 2 Indentation curves for relative coating thickness: $R_i=20\mu\text{m}$, yield strength of substrate $Y_s=1.0\text{GPa}$

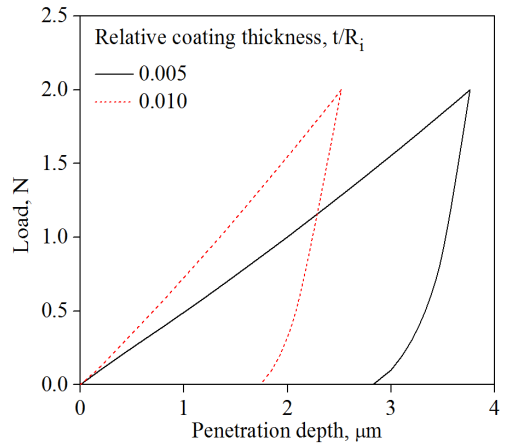


Fig. 3 Indentation curves for relative yield strength: coating thickness $t=2\mu\text{m}$

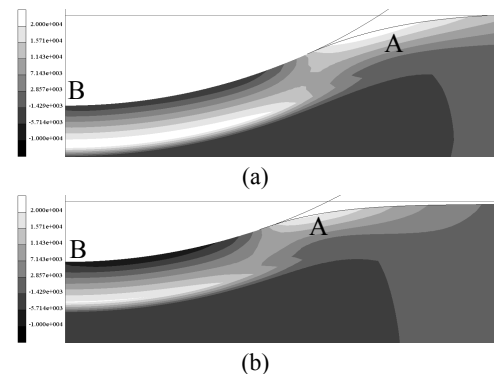


Fig. 4 Max. principal stress distribution with relative at load=2N, $t=2\mu\text{m}$: (a) $Y_s/E_s=0.005$ (b) $Y_s/E_s=0.01$