

DLC막의 특징과 공업적 응용

위명용

충북대학교 공과대학 재료공학과

Properties and Application of DLC Coatings

M. Y. Wey

Dept. of Material Engineering, ChungBuk National University, Cheongju 361-763, Korea

1. 서 론

재료표면에 여러 우수한 표면기능을 창출하는 표면 개질기술에 대한 관심은 날로 높아지고 있을 뿐만이 아니고, 표면개질기술을 둘러싼 상황은 크게 변해가고 있다. 따라서 표면개질기술로 얻어진 고기능화의 정도에 따라 그 제품의 우열이 결정되는 시대로 돌입했다고 하겠다. 고기능화와 저코스트화, 더 나아가 환경조화성에 초점을 맞추어 발전을 계속해 나아가고 있다.

DLC(Diamond Like Carbon)는 1970년대 초 Aisenberg[1]에 의해 이온빔증착법으로 합성된 것이 최초라고 알려져 있다. 막구조로는, 다이아몬드의 SP³결합과 그래파이트의 SP²결합의 둘 다를 포함하고 있기 때문에, 결정된 결정구조를 갖지 않은 아몰퍼스구조로 되어 있다. DLC는 각종 경질피막 가운데서도 고경도이기 때문에, 우수한 내마모성과 극단으로 낮은 마찰계수를 가진 트라이볼로지 특성에 우수한 경질막으로서의 위치를 확보할 수가 있다.

DLC막은, 내마모성, 내용착성, 내산화성, 섭동성, 이형성 등의 기능을 재료에 부여하여, 재료기능을 현격히 향상시킬 수 있는 점에서, 자동차 산업은 지금보다 더, 각 분야에서 넓게 이용될 수 있게끔 되었다. 그 이유는 DLC막과 모재와의 밀착성에 관한 연구가 활발하게 이루어져, 비약적으로 밀착성이 개선된 때문이다. DLC막의 대표적인 용도는, 절삭공구, 금형, 각종부품 등에서의 기능 향상을 목적으로 한 적

용이다. 이러한 표면개질은 단순한 수명 연장화뿐만이 아니고, 더 나아가 가혹한 사용조건에 견딜 수 있고, 또 효율향상은 물론 신뢰성 확보에도 크게 도움이 된다는 사실이 알려지게끔 되었다. 여기서는 DLC막의 최근의 공업적 응용에 대해 논한다

2. 시장동향

DLC막이 시장에 등장한 지 10년 이상이 되었다. 최초엔 스피커의 진동판에 응용한 것을 시작으로, 금형, 공구, 기계부품에 그 수요분야를 넓혀왔다. 이후에는 자동차 부품에 대한 채용이 DLC의 수요를 크게 좌우하여, 시장규모 확대의 속도는 가속되리라 생각된다. 자동차 메이커가 연구를 추진하고 있는 배경에는, 세계적 규모로 관심을 끌고 있는 자동차의 저연비화에 있다. DLC의 특성의 하나인 트라이볼로지 특성을 각종 섭동부품에 이용, 동작효율을 높여, 저연비화를 가능케 하는 일도 멀지 않다고 생각된다.

경질 코팅막의 사용환경은 다종이며, 용도나 목적에 따라 재료나 제조프로세스를 선택하여야만, 기대효과를 얻을 수 있다. 그 중에서 DLC 코팅은 착실하게 그 용도를 확대하여, 환경문제의 해결이라고 하는 사회적 요청도 있고 하여, 더욱 큰 발전의 가능성을 가지고 있다고 하겠다. 그림 1에 2001년도의 실적과 2010년도까지의 DLC시장 예측[2]을 나타냈다.

2001년도의 DLC시장은 일본의 경우 사내가공 및 수탁가공을 합한, 소위 임가공 베이스 26억 3000만 엔으로 나타났다. 이 그림에 의하면, 성장률은 년 20%로, 2010년도에는 년 65억엔이 되는 것으로 예측할 수 있다.

*이 글은 일본 "표면기술", 53(11) 2002, pp. 711-714에 게재된 내용을 번역한 것임.

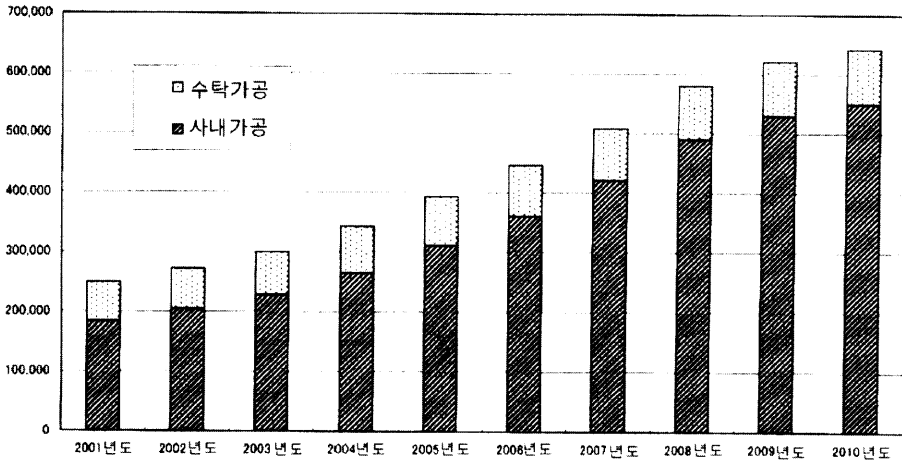


그림 1. DLC 코팅시장규모예측(가공비 베이스).

일본 국내의 DLC성막 장치는, 2000년도로 누계 100대를 넘어, 2002년도에는 150대로 추측되며, 국내 수탁가공 메이커는 약 반을 보유하고 있다. 앞으로 공업적 응용의 확대가 더욱 크게 예측되며, 표면 개질의 최첨단기술로서 신규사업화로서의 진입에 박차가 가해질 것으로 예상된다.

3. DLC의 성막

3.1 각종 성막법

최근, DLC막의 성막방법[3-5]에 대해서는 여러방법이 개발되어 있다. 표[1]에는 각종 DLC성막법의 각각 특징을 비교했다. 이 성막법에는, 기체상의 벤젠(C₆H₆)를 사용하는 이온증착방식, 직접고체 카본원

을 사용하는 아크방전방식, CH₄가스 등을 이용하는 플라즈마 CVD 및 비평형의 자기(磁氣)로서 스퍼터성막시키는 UBMS(Unbalanced Magnetron Sputtering System)방식 등이 있다.

일반적으로 성막두께는 1~3 μm이며, 각각의 성막 방법에 따라 막조성, 경도, 밀착력, 평활성 등의 특징을 갖고 있으며, 용도나 목적에 부응하여 사용법이 분류될 필요가 있다. 지금까지는 양산성에서 유리한 플라즈마 화학기상성장(CVD)법이나, 스무스한 표면 조도를 나타내는 이온화증착법이 공업적으로 비교적 많이 쓰이고 있는데, 최근 고밀착력, 후막 코팅 및 복합 프로세스의 용이함 등으로, UBMS법의 연구개발이 활발하여, 그 막특성이 점차적으로 인정될 수 있게 되었다. 그림 2는 UBMS에 의해 모재 초경합

표 1 각종 DLC성막법의 특징 비교[5]

비교항목 \ 성막원리	이온화 증착법	음극 아크법	플라즈마 CVD 법	언밸런스 마그네트론스퍼터링법
성막원료	C ₆ H ₆	고체 카본	C ₆ H ₆ 또는 CH ₄	고체 카본
성막온도 (°C)	~ 300	~ 200	~ 200	~ 250
막 조성	수소함유	수소프리가능	수소함유	수소프리가능
마찰계수 (μ)	0.1~0.2	0.1~0.2	0.1~0.2	0.1~0.2
경도 * (GPa)	20 ~ 50	20 ~ 90	30 ~ 50	20 ~ 80
표면조도	◎	△	◎	◎
밀착력	○	○	△	◎
그외 · 특징			프라스틱 · 고무위에도 성막가능	메탈도후 DLC, 도전성 DLC 가능

* 나노 인덴터에 의한 소성변형 경도

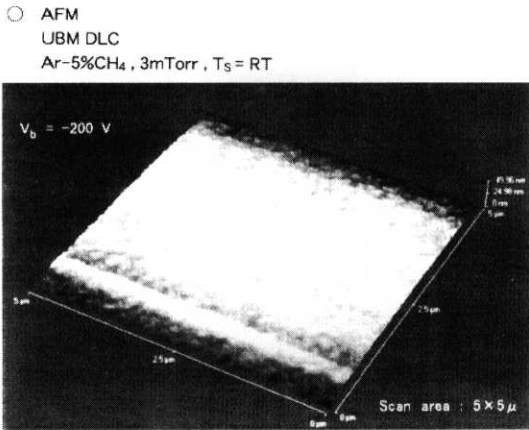


그림 2. 기판바이어스전압-200V로 제작한 UBM DLC막의 표면형상.

금(WC-6.0%Co)상에 바이어스 전압-200V의 조건으로 성막한 DLC의 표면현상을 원자간력 현미경(AFM)으로 조사한 결과다. 그 결과, DLC막의 특징인 표면현상은 대단히 균일할 뿐만이 아니고, 평활함을 알 수 있었다. 표면조도는 Ra=2.1 nm였다. 그림 3에는 UBMS법으로 성막한 고경도 및 저속도의 단층 DLC막 및 고경도/저경도를 nm오더로 적층한 DLC막의 마찰계수[6]를 나타냈다. 이 그림으로 적층막은 각 단층막보다 낮은 마찰계수를 나타내고 있음을 알 수 있다.

3.2 복합처리

최근, 각 회사가 새로운 프로세스 개발에 힘을 쏟는 것은, DLC막을 포함하는 복합처리[7-9]다. 표면개질법을 복합화함으로써, 각각의 표면개질법이 갖는 특성이 추가되고, 더 나아가 그의 상승효과를 겨냥한 것이다. 이미, 금형이나 자동차부품 등의 분야에서는 공업적으로 응용분야로 들어가, 소프트 노하우로서

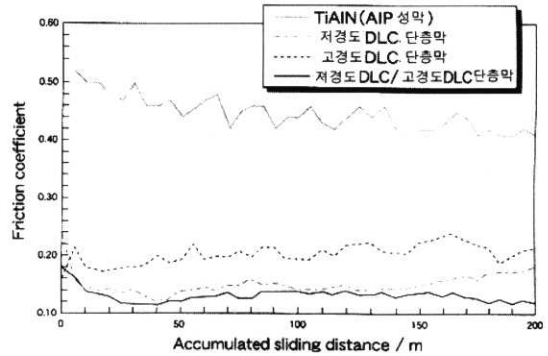


그림 3. 단층막과 적층막의 마찰계수.

그 제품에 적합한 처리 프로세스를 보이고 있고, 또 상품화가 되어있다. 이 복합처리의 겨냥은 ① 모재의 강화, ② 밀착성의 향상, ③ 피막특성의 향상 등으로, 거기에 맞는 목적별 사용방법이 분류되어 있다. 그림 4에는 금후에 유망하다고 생각되는 DLC막을 포함한 표면개질의 피막단면 모델 예[10]를 나타냈다. 특히 그림 5에 나타난 것 같이, 래디칼질화법[11]에 의해 모재가 강화되어, 고하중의 면압이나 스크래치 테스트에 대해 DLC막 단독보다도 2~3배로 개선된 효과가 얻어지고 있다. 래디칼질화법에서는, 질소화합물층을 생성시키지 않고 DLC와 밀착성이 좋은 질소 확산층만을 생성시킬 수가 있다. 표 2에는 DLC막을 포함하는 복합표면개질법의 각종 적용 예와 그의 효과를 나타내었다. 이 복합 프로세스는, 각각의 적용 분야에 있어서 까다로운 수요자에 대응될 수 있는 유력한 수단으로, 차별화된 상품을 생산하는 원동력이 되고 있다. 예를 들면, 자동차 부품 등에도 가까운 장래에 넓게 채용되리라 예측된다.

DLC를 포함하는 복합처리, 이제로부터의 표면처리의 새로운 스타일로서 주류를 점하리라 생각된다.

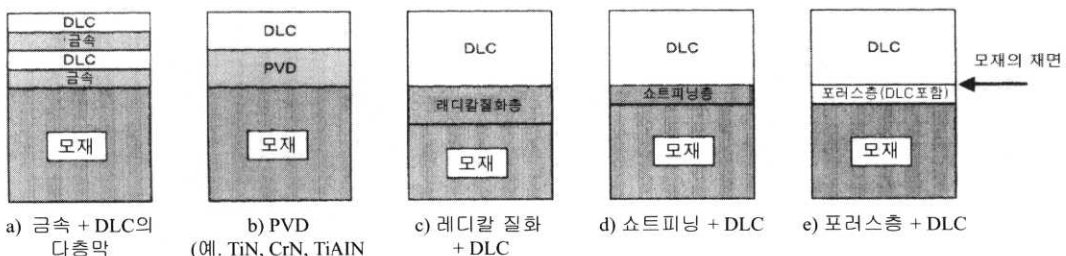


그림 4. DLC막을 포함한 복합표면개질 프로세스의막구조 예.

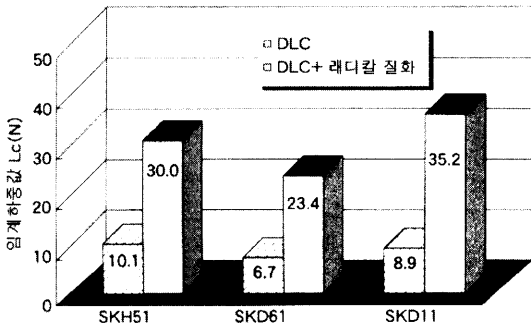


그림 5. 레베테스트형 스크래치 시험에 의한 DLC막의 밀착성 평가.

DLC막은, 그 고경도, 표면평활성, 저마찰계수, 내용착성에 있어서, TiN 등 종래의 경질막으로서는 충분히 대응될 수 없는 분야에서 뛰어난 성과를 올리고 있다.

DLC막의 연결금속에 대한 내용착성을 이용하여, Al나 Cu합금, 납도금재, 강재의 각종 소성가공용 금형이나 치공구류 등에 대한 적용이 확대되고 있다. 그 효과는 가공면 품질의 향상, 유지빈도(장치의 정지시간)의 비약적 저감, 장수명화, 무윤활 또는 윤활제의 저점도화, 유해폐기물의 저감 등 다방면에 걸쳐 있어, 생산비의 저감에 크게 공헌하고 있다. 특히 알루미늄 음료캔이나 반도체 리드 프레임 같은 대량생산 라인에서도 현저하다.

절삭공구에의 적용은, DLC자체가 다이아몬드 공구와 같이 철계재료의 가공이 곤란하다는 점에서, 그의 용도가 한정되어 있다. 알루미늄합금 등의 비철재료,

그래파이트, 수지 등에서 실적을 올리고 있다. 절삭공구 관계에서는 알루미늄합금 등의 드라이 가공용으로 절삭에 적용하고 있다. 알루미늄합금을 절삭하면, 절단날 끝부분에 피삭재가 응착하여 구성날끝(Built-up edge)을 생성하였는데 이것을 해결하였다.

DLC막의 우수한 트라이볼로지(Tribology)특성 [12,13]은, 섭동부품에의 적용을 발전시키고 있다. 적용분야는 자동차 부품, 가전제품, 민수기기, 일반산업 기계부품 등에 걸쳐서, 여러 가지의 섭동재료의 조합이나 사용환경에서 쓰여지고 있다. 상대재질, 부하조건에 따라 필수적으로 고경도가 적용되지 않는 경우도 있기 때문에, 전술한 바와 같이 적용하는 DLC막의 특징을 잘 살펴서 막질을 선택할 필요가 있다.

최근, DLC코팅된 정밀금형등의 리사이클 시스템이 주목되고 있다. 사용하여 마모등으로 수명이 다 된 금형을 재이용하기 위해, 에칭이나 봄바드먼트로 DLC막을 제거하고, 다시 재코팅하여 금형의 재생 및 부착물제거 등으로 유지비용의 삭감에 효과를 올리고 있다.

5. 금후의 개발과제

DLC성막기술에서는, 요 수년사이에 급속히 주목이 집중되어, 공업적 응용도 증가하고 있지만, 많은 과제가 남아 있기도 하다. 이제부터의 기술개발연구로서는 다음과 같은 과제를 더 발전시켜야만 된다.

- (1) 성막기술; ① 모래와의 밀착성 향상, ② 전처리

표 2 DLC막을 포함한 복합 표면개질법의 각종 적용 예와 그 효과

적용대상품	모 재	복합표면개질프로세스	효 과	
금 형	알루미늄판디프드로잉용펀치	SKD 11	래디칼질화+DLC	무윤활로 비틀림가공 가능 미처리와 비교하여 150배 향상
	알루미늄용 뚫이펀치	SKH 51	Cr+DLC	무윤활로 수명연장
	초경분발성형용펀치	초경합금	Cr+DLC	이형성 양호 미처리와 비교하여 5배 향상
절삭 공구	알루미늄또는강용스릿터컷터	초경합금	Cr/C+DLC	미처리와 비교하여 8배 향상
	그래파이트절단용엔드밀	초경합금 (WC-Co)	Si+DLC	TiN 단층막 보다 5배 향상
날붙이	알루미늄박막용재단날	SKD 11	래디칼질화+DLC	절단구의 형상 정밀도 양호 미처리재와 비교하여 10배, DLC 단독처리와 비교하여 2배 향상
기계 부품	컴퓨터사용레일가이드	SCM 415	침탄+Cr+DLC	내구수명 향상 및 코스트다운
	특수베어링	SUJ 2	Cr/W+DLC	무윤활로서 사용가능, 저마찰

프로세스, ③ 막두께, 다층, 복합막 및 복합처리[14] (슈퍼고기능 DLC의 개발), ④ 각종 성막설비(원리·방식)의 특징과 선별 사용분류

- (2) 성능평가기술; ① 코팅피막의 물성평가법 확립
 (3) 경제성; ① 코팅설비 투자의 저감, ② 자동차 부품에의 채용을 좌우하는 런닝 코스트(처리비용)의 저감
 (4) 적용분야의 개발확대; ① 신규분야에의 적용

6. 맺음말

최근 특히 느끼는 바는, 풍부한 정보사회 중에서 과대하게 평가된 데이터나 신뢰성이 떨어지는 정보를 충분한 확인없이, 공업적으로 그대로 적용하려고 하기 때문에 기대한 성과를 얻지 못하는 경우가 종종 있다. 지금이야말로, 이제로부터의 기술동향을 꿰뚫어 검토하여, 표면개질 프로세스와 막종류의 선택을 잘못하는 일이 없도록 하는 일이, 21세기에 살아남는 포인트라고 통감한다. 마지막으로, DLC막의 공업적응용은 아직은 초보단계의 수준으로, 금후 고기능화를 목적으로한 예상치도 못했던 적용분야로의 발전

도 기대될 수 있다고 사료된다.

인용문헌

1. S. Aisenberg, R. Chabot J. Appl. Phys., 42 (1971) 2953.
2. (株)矢野經濟研究所 DLC 코팅 시장 2002 (2002).
3. 池永 勝, 鈴木秀人 熱處理, 41 (2001) 305.
4. 池永 勝, 鈴木秀人 超硬質皮膜の原理と工業的應用(日刊工業新聞社, 2000).
5. 池永 勝 表面技術協會材料機能ドライプロセス部會, 第50回例會資料, (2002) 233.
6. (株)神戸製鐵所 UBMS 法, 技術資料 (1999).
7. 池永 勝 表面技術, 52 (2001) 201.
8. 池永 勝 日本機械學會 茨城講演會, (2001) 247.
9. 池永 勝 表面技術協會 第101回講演大會講演要旨集, (2002) 333.
10. 池永 勝 日刊工業新聞, 11월 15일 (2001).
11. 日本電子工業(株); ラジカル窒化技術資料.
12. 川名淳雄, 鈴木秀人, 中村雅史, 池永 勝 日本機械學會 論文集, 66 (2000) 895.
13. 熊谷 泰 表面技術, 52 (2001) 548.
14. 池永 薫: 日本機械學會 年次大會, (2002) 712.