〈기술자료〉

프레스 금형의 복합 표면개질 기술의 현황과 금후의 동향*

위 명 용
충북대학교 공과대학 재료공학과

Current Status and Trends of Multi-surface Modification Technics on Press Metal-mould

M. Y. Wey
Dept. of Materials Engineering, ChungBuk National University, Cheongju 361-763, Korea

1. 머리말

앞으로의 표면개질 기술은, IT(정보기술)와 어떠한 관련성을 가지고 출현하여, 어떻게 발전하여 갈 것인가, 언뜻 보면 IT와는 아무런 관계가 없는 것처럼 생각되지만, 실은 그 주변이나 관련기술을 잘 살펴보면 표면개질 기술이 크게 기여하고 있다고 해도 과언이 아닌 예가 많다. 예를 들면 휴대전화나 PC등의 금형에의 적용이나 전자파 차단을 위한 케이스내에 코팅을 하는 것 등도 그 좋은 예라 할 수 있다.

재료표면에 여러 종류의 우수한 표면기능을 창출하는 복합표면 개질 기술에 대한 관심은 점차로 확대되어 가고 있어, 표면개질 기술을 둘러 싼 상황은 크게 변해가고 있다. 이러한 상황 하에서는 마치 금형의 우열은 표면개질로 얻어진 높은 기능의 정도에 따라 결정되어지는 시대로 접어들었다고 통감하기에 이르렀다고 하겠다.

2. 플라즈마 에너지를 이용한 표면개질법

종래의 표면개질법은 고체, 액체, 기체 등을 이용한 처리법이 일반적이었지만, 초경질 세라믹 코팅의 주역으로 비교적 저온에서 처리가 가능한 PVD법의 적용이 급속히 확대되어 가리라 예상된다.

이 처리법은 신규의 용도 확대도 있지만, 현재 이용되어지고 있는 다른 표면처리로부터 플라즈마 에너지를 이용하는 표면개질 법으로 바뀌어가고 있다고 생각된다.

표 1에서 금후, 친환경 즉 환경조화성이라는 관점에서 보다 더 기대될 수 있는 플라즈마 에너지를 이용한 대표적인 표면개질법[1,2]과 그 특성을 나타냈다.

각각의 처리법에 따라 각종 프로세스의 사용방법으로 분류되어 있다. 앞으로의 처리법은 플라즈마 침탄을 제외하고 600°C 이하라고 하는 비교적 낮은 온도에서 처리가 가능하여, 모재의 상변태를 동반하지 않고, 게다가 박막이기 때문에 치수 정밀도의 유지가 가능하여, 후 가공을 필요로 하지 않는 것도 큰 특징이라 할 수 있다.

3. PVD법과 이것을 포함한 복합 표면개질법

3.1 PVD

PVD법(Physical Vapor Deposition)[3~5]은 지금까지 수많은 원리에 의해 성막법이 개발되어 그 용도와 목적에 따라 사용법이 분류되어 있는 것이 현황이다. 주로 내마모성을 목적으로 하여 모재와 코팅막의 밀착성을 필요로 하는 경우, 대표적인 성막법으로서는 AIP법(Arc Ion Plating)과 HCD법(Hollow Cathode Discharge)의 두 종류가 있는데, 공업적으로 적용된 실적이 많다.

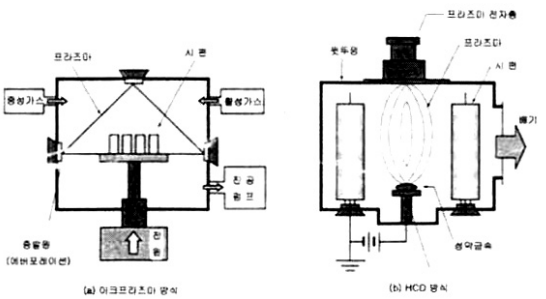
그림 1은 PVD법의 대표적인 성막법인 AIP법과 HCD법의 장치에 대한 개략도다. 표 2에는 AIP법과 HCD법의 각 방식에 따른 특징과 사용법에 따른 분류를 나타냈다.

종래까지는 막 종류로서 황금색을 나타내는 TiN막이 일반적이었으나 최근에는 이것에 더하여 여러 종

* 이 글은 일본 "프레스 기술(3)", 41(3) 2003, pp. 69~75에 게재된 내용을 번역한 것임.

표 1. 프라즈마 에너지를 이용한 여러 표면개질 처리법과 그 특성

처리법	표면생성법 또는 막종류	처리온도	처리특성	비고
프라즈마 질화	Fe_3N, Fe_4N	400~570	내마모성 내피로성	다른연질화 프로세스로부터 프라즈마질화로이행
래디칼 질화	Fe_3N (확산층만)	400~570	내마모성 내피로성	표면 광휘유지가능 , PVD 와의 복합처리에최적
프라즈마 침유질화	FeS, Fe_3N, Fe_4N	400~570	내마모성 내피로성	기계부품 , 금형등 내긁힘성을 필요로하는 대상품에 적용
프라즈마 침탄	마르텐사이트 층 탄화물	800~1,100	내마모성 내피로성	오스테나이트계 스테인리스강 및 Ti 함량의 표면경화에 적용
PVD (AIP 법 , HCD 법 , UBMS 법 등)	TiN, TiCN, TiAlN, CrN, DLC	200~600	내마모성 저마찰계수	고치수정밀도유지
프라즈마 CVD	TiN, TiCN, DLC	~600	내마모성 저마찰계수	약간 조작조건 컨트롤 필요



류의 특성에서 우수한 TiCN, TiAlN, CrN 막 등의 코팅 기술이 개발되어 주로 내구수명 연장이나 특성 향상을 목적으로 하여, 적용범위의 확대에 박차를 더 해가고 있다.

표 3에 PVD법에서 공업적으로 가능한 코팅막의 특성 및 그 용도를 나타냈다.

이제로부터의 피막은 용도에 따라 사용법이 분류된다. 종래의 TiN막으로부터 근년엔 TiCN 또는 CrN, TiAlN, DLC막으로 이행되어 가고 있다. 또 막 구조로서는 복합막이나 다층막의 적용이 증가하고 있다.

3.2 DLC 성막법

DLC(Diamond Like Carbon)[4,5]는 그 이름이 나타내는 것 같이 다이아몬드에 유사한 성질을 갖는 탄소재료로서, 탄소원자가 규칙적인 구조를 갖지 못한 비정질(아몰퍼스)막이다.

이 성막법으로서는 기체상의 벤젠(C_6H_6)을 쓰는 이온원 방식, 직접 탄소원을 쓰는 아크 방전방식, CH_4 가스등을 쓰는 프라즈마CVD, 비평형의 자기중에서 스퍼터 성막시키는 UBMS(Unbalanced Magnetron

표 2. PVD 방식에 의한 사용분류[12]

방식	증착법	코팅막종류	처리온도 (°C)	밀착성	표면조도	다층 (복합) 막	처리가능치수 및 중량	피처리재료
아크프라즈마 (AIP)	아크방전	TiN TiCN CrN ZrN TiAlN 각종금속	200~600	◎	○또는△	◎	◎ Max2,500 L 1,000 Kg	초경합금 SKH 계 SKD 계 SKS 계 SC, SCM, SNCM 프레하든강 Al 합금 ,Ti 합금 , Cu 계 , 써멧
HCD	전자총	TiN TiCN CrN	400~600	◎	◎	△	○또는△ Max450 L 20 g	초경합금 SKH 계 SKD 61 SKS 11 (고온소려재) SUS 오스테나이트계 써멧

표 3. PVD로 공업적으로 가능한 코팅피막의 특성 및 용도[6]

막종류	색깔	경도 (HV)	마찰계수	내식성	내산화성	내마모성	내소착성	용도
TiN	금색	2,000~2,400	0.45	○	○	○	○	절삭공구, 금형, 장식품
ZrN	화이트골드	2,000~2,200	0.45	○	△	△	△	장식품
CrN	은백색	2,000~2,200	0.30	◎	○	○	◎	기계부품, 금형
TiC	은백색	3,200~3,800	0.10	△	△	◎	○	절삭공구
TiCN	바이오레트 ~ 회색	3,000~3,500	0.15	△	△	◎	○	절삭공구, 금형
TiAlN	바이오레트 ~ 흑색	2,300~2,500	0.45	○	◎	○	○	절삭공구, 금형, 장식품
Al_2O_3	투명 ~ 회색	2,200~2,400	0.15	○	◎	○	○	절연막, 기능막
DLC	회색 ~ 흑색	3,000~5,000	0.10	○	○	○	◎	절삭공구, 기능막, 금형

Sputtering System)방식 등이 있다.

DLC막은 각종 성막법에 따라 그 특성은 다른데, 일반적으로, 비커스경도는 3,000~8,000, 마찰계수는 0.1이하이다. 그러므로 섭동마찰저항을 적게 하려는 금형이나 기계부품에서는, 그 밖의 표면개질법과의 복합처리나 복합막을 만듦으로써, 폭넓게 채용되어질 날도 멀지 않다고 생각한다.

3.3 래디칼 질화법

래디칼 질화법[6,7]은 피처리재의 가열원으로 전기히터를 사용하고, 원료가스로는 암모니아와 수소를 사용한다. 피처리물을 음극으로 하여 프라즈마 반응의 이온화율을 제어하고, 질화에 유효한 래디칼(활성종)을 주로 발생시켜, 질화처리를 하는 방법이다.

이 처리의 특징은, 취약한 화합물층을 생성시키지 않고, 인성이 풍부한 확산층만을 형성할 수 있는 데에 있다. 컵핑방지나 히트체크의 억제 등에도 효과가 있다. 또 표면조도의 변화가 대단히 적기 때문에, 질화처리 후의 연마공정을 생략할 수도 있다.

그림 2는, 각 강종에 래디칼질화를 하였을 때의 단면경도 분포를 나타낸 것이다. PVD법이나 프라즈마 CVD법에 의한 경질 세라믹 피막의 모재위의 사전처리, 다시 말해서 래디칼질화 + 프라즈마 증착법의 복합처리로서, 폭넓게 쓰여지게 되었다.

3.4 복합 표면개질법

최근에 새로운 프로세스 개발로 주목받고 있는 것은, 증착법을 포함한 복합표면개질처리[8~17]이다. 이미 공업적 응용단계로 들어가, 각 기업이 소프트노하우로서 그 제품에 맞는 처리 프로세스를 찾아내어 상품화하고 있다. 증착법을 포함한 복합처리를 목적별로 분류하면, ① 모재의 강화, ② 밀착성의 향상, ③ 피막특성의 향상으로 분류할 수가 있다.

그림 3에, 증착법을 포함한 복합표면개질의 피막단면 모델 예를 나타내었다. 이것은 표면처리를 복합함으로써, 상승효과를 얻어냄을 겨냥한 프로세스로서, 각각의 적용분야에서 까다로운 수요자에 대응할 수

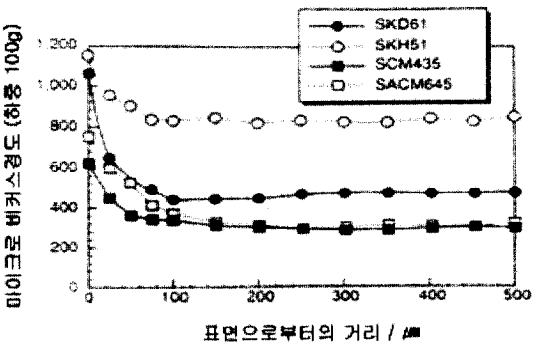


그림 2. 래디칼 질화처리후의 단면경도 분포(표면상태 유지조건).

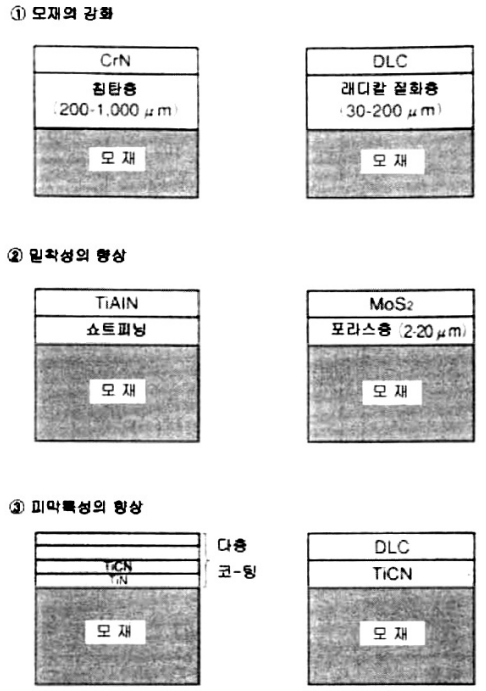


그림 3. PVD법을 포함한 복합개질 처리의 피막단면 모델 예.

있는 유력한 수단이며, 차별화 상품을 낳는 원동력이 되고 있다. 특히, 금형이나 공구, 부품 등 폭 넓은 적용분야로의 확대가 기대되고 있다.

예를 들면, 높은 면압에 견딜 수 있는 금형이나 자동차 부품관계 등에도 멀지 않은 장래에 폭넓게 채용되어지리라 예측되고 있다.

PVD처리를 포함한 복합처리는, 이제로부터의 표면처리의 새로운 스타일로서 그 주류를 점하리라고 생각된다.

현재 잘 쓰여지고 또 효과를 얻고 있는 복합처리 프로세스로서는, 침탄+PVD, 래디칼질화+PVD, PVD+스퍼터법, 쇼트피닝+PVD, CVD+PVD등을 들 수가 있다. 금후에도 복합처리는 지금껏 생각지 못했던 복합처리가 고안되어, 놀랄만한 고기능화를 찾아내는 수단으로 크게 기여되리라 생각된다.

4. 공업적 응용

PVD법으로 얻어진 여러 종류의 피막은 재료기능을 향상시키기 위해, 까다로운 수요자의 요구에 맞추어 내마모성, 내소착성, 섭동, 이형특성 등이 얻어지는 분야에 넓게 쓰여질 수 있게 되었다. 그 대표적인 용도는 절삭공구를 위시하여 금형부품, 기계부품 등에의 적용이다.

이러한 표면개질에 의해, 단순히 종래 제품보다 수명을 연장시키는 것만이 아니고, 더욱 가혹한 사양조건에 대해서도 사용될 수 있을 뿐만이 아니라, 능률향상, 품질향상이나 코스트 다운에도 공헌하고 있는 예는 적지 않다.

이 코팅기술이 널리 이용되게 된 이유는, 코팅피막과 모재와의 밀착성이 요 10년 사이에, 장치의 개발과 처리 프로세스나 막구조의 연구에 의해, 비약적으로 개선된 점을 들 수가 있다.

절삭공구 관계에서는 피삭재의 다양화와 더불어 이들 코팅막에 의한 고기능, 고정밀도, 장수명화 등의 가일층의 개선에 기대가 걸려 있다. 특히, 신소재의 난삭성에 대응될 수 있을 것과 가공속도의 향상 및 환경보전이나 오일리스화 , 소위 드라이 가공이 크나큰 과제로 될 것이다.

본 제목의 금형관계에 있어서는, 종래로부터의 코팅기술이 이용되고 있는 단조형이나 프레스형에서는 폭넓은 실적이 있어, 내구수명의 연장은 이전보다, 금형 설계단계로부터 새롭게 하여 공정의 단축 등에서도 크게 개선되고 있다. 또 프라스틱 사출형 금형이나 고무 금형에서는, 내마모뿐만이 아니라, 메인트넌스프리나, 내식, 이형, 유동성 등에 효과를 발휘하고 있다.

금후, 가혹한 금형조건에 대해서는 고면압에 견디고, 게다가 내소착성에서 우수한 여러 종류의 복합처리가 채용되어 금형에서의 적용범위가 더욱 더 확대되리라 생각된다.

그림 4는 각종 처리한 파인블랑킹의 내구수명의 예다[17].

본 처리 또는 TiN막 단독처리 보다, 래디칼질화 플러스 TiN막의 복합처리로서 모재의 강화와 표면의

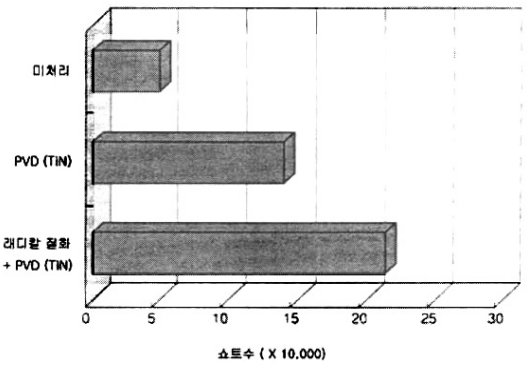


그림 4. 파인블랑킹용 펀치의 내구수명 공구: DC53, 피가공재:SUS420J2, ϕ60×1.2t.

TiN막으로 인한 내소착성 향상, 내구수명 연장의 예를 나타냈다.

그림 5는 십자나사용 헤딩펀치에 각종 표면개질을 수행한 경우의 내구수명을 비교한 것이다.

CVD는 내구수명의 편차 폭이 크다. 이것은 CVD 후, 모재의 재소입, 소려처리가 필요하게 되어, 인성 등에 영향을 끼친다고 생각된다. 한편, 래디칼질화 플러스 PVD(TiN)에 의한 복합처리는 내구수명의 편차 폭이 작고 안정하여 내구수명효과도 우수하다.

그림 6은 자동차 부품용 냉간성형 펀치의 내구수명의 결과[3]이다. 고속도강의 성형펀치에 프라즈마 질화를 하여줌으로서 모재의 경도가 상승하였다. 이것은 모재의 강화 PVD로서 TiN을 코팅한 복합표면개질법이 가장 우수한 내구수명의 결과를 나타내고 있다. 단지, 이 경우의 플라즈마 질화는 최표층에 Fe_3N의 화합물이 생성되기 때문에 PVD 처리에 앞서 Fe_3N층의 제거를 수행한다.

표 4는 그 외 각종 금형에 PVD와 이것을 포함한 복합처리를 한 대표적인 적용 예와, 그 효과에 대해 나타낸 것이다.

5. 금후의 개발과제와 전망

금후, PVD법을 금형에 적용하는 경우의 기술개발 과제로서는 다음과 같은 항목을 들 수 있다.

① 각종 성막 원리와 그의 PVD막 종류의 사용 분류 및 표준화
② 모재에 대한 PVD막의 보다 낮은 밀착력 및 막 파괴강도의 개선, 막과 모재 및 막과 막 경계의 성질, 구조의 해명
③ 전처리, 후처리 기술의 PVD처리에 동반하는 부대 처리 기술, 소프트 노하우의 개발
④ 고기능화를 겨냥한 신규 초경질막의 개발, 복합(하이브릿드) 표면개질법의 개발
⑤ 보다 높은 신뢰성 피막의 특성 평가 방식의 개발확립

금후, 표면개질법으로서는, 조업성(가혹한 제어가 가능)이나 처리후의 치수 정밀도의 유지가 가능해야만 하는 시대가 되었다. 통상, 처리온도가 낮은 편이 변태나 잔류응력에 의한 변형으로부터 기인하는 치수 정도의 저하에 대해서 유리하지만, 피처리물의 설계 사양에 대해서는, 각각의 처리법의 특질을 잘 이해하

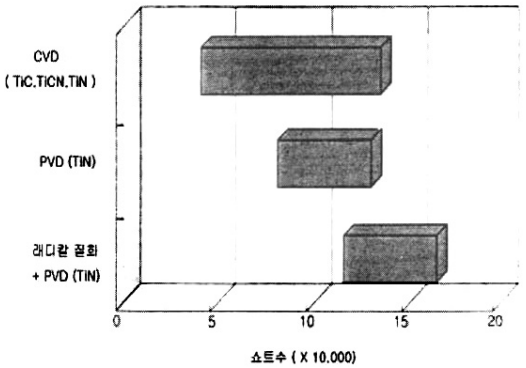


그림 5. 십자나사용 헤딩펀치의 내구수명 공구: SKH51, 피가공재:SAE1015, MP 6×20.

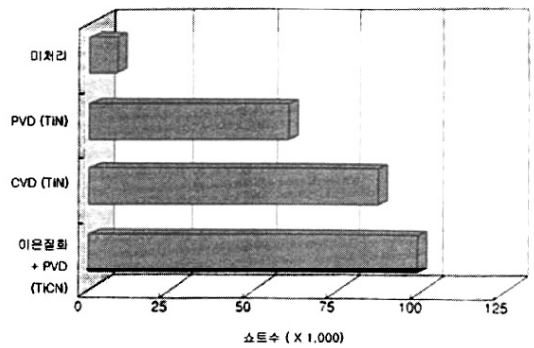


그림 6. 자동차 부품용 펀치의 내구수명 공구: SKH55, 피가공재:SCH415, ϕ 50×70L.

표 4. 각종 금형에의 적용 예와 그 효과

종류	금형재료	표면개질처리	효과	
프레스 및 단조형	냉간단조용 펀치	SKH51, SKH57, HAP40	래디칼질화 +PVD (TiN 또는 TiCN)	내압 강도향상, CVD 처리로 변형 막의 박리발생이 크게감소 형수명 PVD 처리 단독과 비교하여 2 배이상
		초경합금 (WC-Co)	DLC	알루미늄재 단조 내구성 5 배 이상 향상
	스퀴즈펀치 · 다이스	SKH51, SKD11, DC53, SLD	래디칼질화 +PVD (TiN, TiCN, CrN)	금형소착개선, 미처리에비해 2~3 배 내구수명 향상
	볼트용드리밍다이스	SKH51, SKH57	래디칼질화 +PVD (TiN 또는 TiCN)	PVD 처리단독보다 2~3 배 내구수명 향상
	파인블랭킹용 펀치	SKH51 mataha 초경합금 (WC-Co)	PVD (TiN 또는 TiCN)	미처리에 비해 2~3 배 내구수명 향상, 치수정밀도 양호
	십자나사용 펀치	SKH51, SKH57	PVD (TiN 또는 TiCN)	미처리와 비교하여 2~3 배 내구수명 향상, 내구수명의 편차 CVD 처리보다 적음
성형롤	전조	SKH51, SKH55	래디칼질화 +PVD (TiN 또는 TiCN)	2~3 배 PVD 처리 단독에 비해 내구성향상
	포밍	SKH51, SKH55	래디칼질화 +PVD (TiCN)	2~3 배 PVD 처리 단독에 비해 내구성향상
	퍼니싱	초경합금 (WC-Co)	PVD(TiCN) 또는 DLC	2 배 이상 내구성향상
수지성형형	캐비티	NAK55, HPM38	PVD(TiN, Cr/CrN)	미처리에 비해 2~3 배 내구수명 향상 블라싱 불필요
	코어, 핀	SKH51	래디칼질화 +PVD (TiN 또는 CrN)	래디칼질화후 랫핑불필요, 미처리와 비교하여 약 3 배 형수명 향상
압출형	고무압출다이스	SKD61, DC53	래디칼질화 +PVD (TiN, CrN)	형수명, 미처리와 비교하여 3 배이상

여, 사용 · 분류를 하는 일이 중요하다.

21세기의 신조류는 「에커와 에코」(Economy and Ecology)이고, 이것을 중심으로 전개가 시작한다.

PVD를 주로한 코팅기술은, PVD 이외의 방법이나 그것을 포함한 복합 표면개질법으로, 고기능화를 겨냥하게 될 것이다.

6. 끝 맺음

최근, 특히 느끼는 바는 정보량이 풍부한 정보사회 중에서 과대평가된 데이터나, 신뢰성이 떨어지는 부정확한 정보를 충분한 확인도 없이, 공업적으로, 직접 적용하려고 하는 예가 적지 않다는 것이 사실이다. 이 때문에, 기대했던 성과가 얻어지지 않았다고 하는 경우를 가끔 듣고 있다.

재료나 열처리, 표면개질법의 잘못된 선택 때문에, 개발이 큰 폭으로 지연되는 결과를 가져와, 그 상품이 기업간 경쟁에서 지고 말았다고 하는 사실을 종종 들었다. 지금이야말로, 이제로부터의 기술동향을 꿰뚫어 봄으로서, 표면개질의 선택을 잘 못하는 일이 없도록 하는 것이, 21세기에 살아남는 중요한 키 포인트임을 절감한다. 마지막으로, 자동차 산업을 중심으로하는 금형 수요자에 대해, 고부가 가치를 줄 수 있는 기술이나 시스템을 제공해야만 하는 방향으로 나아가야 할 줄로 생각한다. 그러기 위해서는, 본고에서의 프레스 금형에 대해 복합표면개질 기술의 적용은, 고기능화를 가능하게 하기 위한 피할 수 없는 불가결한 기술 수단의 하나임을 명심해야 한다고 생각한다.

참고문헌

1. 池永 勝 : 表面技術, **52** (2001) 35.
2. 池永 勝 : 表面技術, **46** (1995) 105.
3. 表面技術協會編 : PVD/CVD 皮膜の 基礎と 應用, (1994).
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 : 日刊工業新聞社, (2001,11.15) 30.
6. 日本電子工業(株) : ラジカル窒化技術資料 (1999).
7. 鎌田正彦, 須磨浩之 : 特殊鋼, **49** (2000) 26.
8. M. Yakushiji, K. Arai and M. Ikenaga : Technology Reports of Kansai University, **42** (2000) 183.
9. 池永 勝 : 熱處理, **37** (1997) 148.
10. 鈴木秀人, 片平和俊, 池永 勝 : 日本機械學會論文集, **66** (2001) 755.
11. 鈴木秀人, 池永 勝 : 日本機械學會 JSMA Annual Meeting 講演要旨集 (1999) 451.
12. 木村敏夫, 千葉祐二, 市村博司, 池永 勝 : 特許番號 (1994) 196.
13. M. Ikenaga : Journal of the Korean Society for Heat Treatment, **13** (2000) 373.
14. 池永 勝 : 成形加工, **12** (2000) 603.
15. 木道雄太郎, 池永 勝 : Plastic, **12** (2000) 603.
16. 河野通弘, 池永 勝, 市村博司 : 表面技術, **44** (1994) 708.
17. 池永 勝, 鈴木秀人 : 熱處理, **41** (2000) 305.