

금형 · 공구의 복합표면개질과 그 특성

河村 新吾¹ · 春山 義夫²

Complex Surface Modification and Its Characteristic on Mold and Tool

S. Kawamura, Y. Haruyama

1. 서 론

확산경화처리와 경질막 피복을 조합한 복합표면개질은 각각의 단독처리와 비교하여 뛰어난 내마모성, 피가공재에 대한 내이착성이 기대되며 소성가공용 금형·공구에의 유효한 표면개질로서 연구가 진행되어[1~2] 실제의 생산에도 적용되고 있다. 그러나 표면개질한 금형·공구에 있어서 그 가공표면이 어떻게 손상되는가는 충분히 이해하지 못하는 경우 많다. 이 손상형태를 분명히 이해하고 개질면의 특성을 향상 시키면, 금형·공구의 고성능화를 한층 더 꾀할 수 있으리라 여겨진다.

확산경화처리인 질화처리와 경질막 피복인 PVD 법에 의한 TiN 피복을 조합한 TiN 복합개질막은 복합표면개질의 기본적인 예의 하나이다.

저자들은 소성가공용의 금형·공구에의 응용을 생각하여 이 TiN 복합개질막을 이용하여 알미늄 합금을 상대재로한 무운활하에서의 마찰·마모시험, 스테인리스강을 상대재로 한 운활하에서의 마찰·마모시험을 시행하여 개질면의 손상형태, 개질면의 특성향상에 대하여 검토해오고 있다.

본고에서는 이것들의 TiN 복합개질막에 관한 연구에서 이제까지 얻어진 결과의 개략적인 내용에 대하여 소개하였다

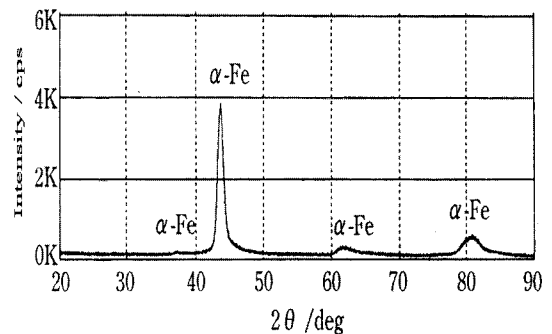


Fig 1. X-ray diffraction pattern of plasma nitride layer, Cu-K α incident angle $\phi=99.5\text{deg}$

2. TiN 복합개질막[3~5]

2.1 TiN 복합 개질막의 제조

TiN 복합개질막은, 열처리 후 기계가공한 열간 다이스강 SKD61 (47 \pm 1HRC)의 표면에 플라즈마 광휘질화처리[6]에 의해 질화층을 형성한 후, 표면의 파괴인성을 향상 시킬 목적으로 수소 분위기 중 550 $^{\circ}$ C에서 다시 4 시간 어닐링처리를 하여 최종으로 HCD ion 프레팅법에 의해 약 2.5 μm 의 TiN 막을 피복하여 제조 되었다. 또 플라즈마 광휘질화처리로 제조한 질화층은 Fig. 1에 X 선회절 패턴의 예를 보이는 것 같이 피막과의 부착강도에 악영향을 주는 화합물층[7]인 $\epsilon\text{-Fe}_2\text{}_3\text{N}$ 의 회절은 확인되지 않았으며 질소의 확산층 만으로 된 경화층이었다.

1.YYK(株)工機事業部生産技術 (우)938-8601 黒部市吉田 200, Japan

2. 富山県立大學工學部 (우)939-0398射水市黒河5180, Japan
- 技術解説: 塑性の加工(日本 塑性加工 學會誌) 第48卷 第 561号 pp. 883-886(2007.10)

- 번역자 : 박정서(자유번역가), 김인수(금오공과대학교 신소재 시스템공학부, 교수)

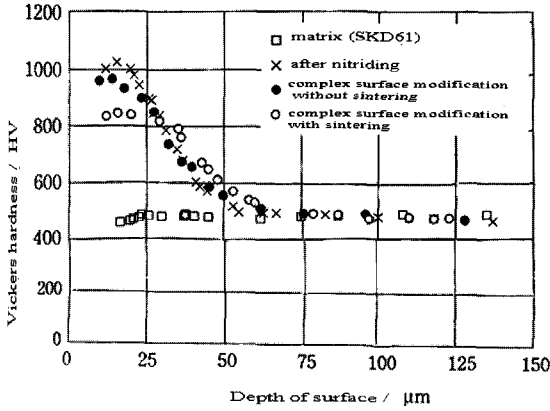


Fig 2. Hardness distribution of annealed and without annealed complex surface modification[4]

Fig. 2 는 질화 후의 수소분위기중에서 어닐링처리의 유무에 의한 복합표면개질한 질화층의 깊이 방향에의 경도 분포를 비교한 예이다. 어닐링한 후의 질화층 깊이는 약 70 μ m 이며, 어닐링에 의해 어느 정도 질화층이 깊어 지는 것과 더불어 표면 경도는 저하 하지만, 표면의 파괴인성, 피막의 부착강도는 향상되었다.

2.2 어닐링처리에 의한 개질면의 파괴인성 향상, 피막 부착강도 향상

Fig. 3 (a), (b)는 끝 곡률반경 0.2mm 의 로크웰 C 로 압입시험한 파괴인성과 피막 부착강도 시험결과를 비교한 것이다. Fig. 3 에서 정성적으로 명확하게 알 수 있는 바와 같이, 어닐링처리에 의하여 스크래치 흔적내의 크랙 수, 압입 압흔 주위에 발생하는 크랙의 수 및 그 크기가 감소하고 개질면의 피막인성이 향상되고 있는 것을 알 수 있다. 또 스크래치를 비교하면 개질면 파괴가 생기는 임계하중 L_c 값은 모재 표면경도의 저하와 반대로 커져 있으며, 이것은 피막과 모재와의 부착강도자체가 향상된 것을 보이는 증거이다.

파괴인성의 향상을 정량적으로 구하기 위해 직경 1/8 인치 강구 압입자를 사용한 압입자 압입시험에 의해 개질면의 압흔 주위에 원형크랙을 발생시켜 그때의 하중을 AE 센서로 측정했다. 이 시험에 의하면 어닐링을 할 경우, 원형크랙이 발생하는 하중은 어닐링을 하지 않는 경우의 380N 에서 어닐링한 경우가 650N 으로 되어 70%이상 커진다는 결과를 얻었다.

Sample	L_c, N	Shape of scratch	
		near L_c	Load about 100 N
without annealing	67		
annealing	78		

(a) Shape of scratch after scratch test

Sample	Shape of indentation	
	Load of indentation 441N	Load of indentation 981N
No sintering		
sintering		

(b) Traces of indentation test

Fig 3. Evaluation of fracture toughness and adhesive strength of surface modification after indentation test[4]

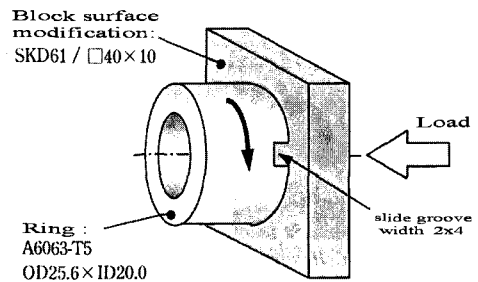


Fig 4. Ring on block type friction-wear tester[3]

3. 무윤활하에서의 특성평가[1~3]

3.1 마찰·마모시험

소성가공에서 피가공재료 금형·공구의 마모, 이착에 문제가 되는 대표적인 재료인 알루미늄 합금

의 가공공정의 합리화와 환경보전 등을 위해 무윤활가공에 대한 요구가 높다. 또 압출가공은 실제 무윤활에서 행해지고 있다. 이와 같은 무윤활가공의 상황에서 금형-공구에의 복합표면개질의 적용을 생각하여, TiN 복합개질막에서 알루미늄 합금을 상대재로 하는 마찰·마모특성을 평가했다. 마찰·마모시험에는 접촉면적을 일정하게 지탱할 수가 있는 횡형의 링 온 블록시험을 채용하고 Fig. 4에 보이는 같이 링측은 상대재가 되는 알루미늄 합금은 A6063-T6로 하였으며 블록측은 표면개질한 SKD 61 시험편으로 했다. 실험 조건은 무윤활, 하중 50~300N, 슬립속도 0.04~0.36m/s의 범위이다.

무윤활에서는 알루미늄의 가공 금형-공구의 표면 상황을 정확하게 파악하는 것이 어렵지만 분위기는 대체로 대기중에서 사용되기 위해 공구표면이 산화 분위기로 있는 경우와, 알루미늄 합금의 이착 발생을 동반하면서 공구표면에 산소의 공급이 불충분하게 되는 경우의 양극단의 상황 사이에서 분포하는 것이라고 생각된다. 그래서 마찰·마모시험의 분위기는 산화가 진행되는 대기중과 산소의 공급이 불충분하게 되는 상태를 나타내기 위해 질소를 혼합하여 사용하기로 했다.

3.2 대기중에서 마찰·마모특성

대기중 무윤활하에서 알루미늄 합금을 상대재로 하는 경우, Fig. 5에 마찰·마모시험에서 하중, 슬립속도와 마모량의 관계로 나타냈다. Fig. 5에 하중과 슬립속도의 조건에 의해 개질면의 마모가 진행되는 영역(마모영역)과 개질면에 알루미늄합금의 이착이 발생하여 개질면의 마모는 거의 진행하지 않는 영역(이착 영역)이 존재함을 알 수 있다.

마모영역에서는 경질의 알루미늄 산화물이 이동면에 발생하여 개질면의 마모가 진행되지만, 그 마모량은 Fig. 5에 보이는 것 같이 고하중·저속조건의 경우가 더욱 크다. Fig. 6은 고하중·저속조건이 250 N, 0.1m/s 일 때의 TiN 복합개질막 손상의 모양이다. Fig. 6에 보이는 것과 같이, 손상은 TiN 피막자체의 특성에 의존하는 미소한 치핑과 그것보다 규모가 크며 슬립에 따라 이동방향, 직각방향으로 개질면에 생기는 여러 개의 크랙이 기점이 되는 스크래칭에 의해 진행된다.

슬립거리와 개질면의 마모량의 관계(Fig. 7)는 피막이 유효하게 기능하고 있을 때 피막의 낮은

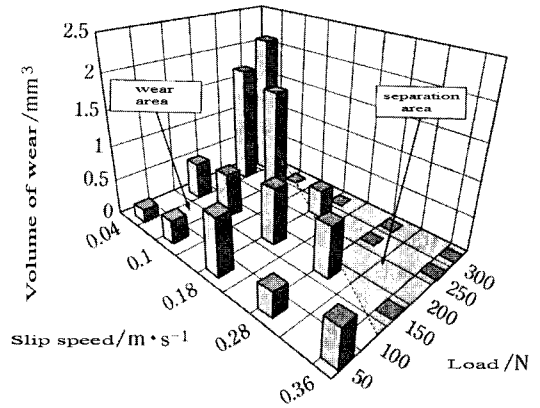


Fig. 5. Wear volume in wear and separation area of Al alloy vs TiN modified Al alloy under without lubrication, various speed and load[4]

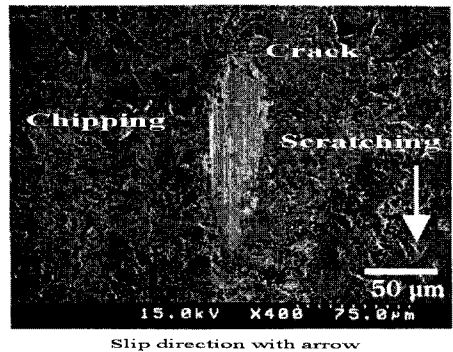


Fig. 6. Example of scratching on TiN surface modified sample under air condition[4]

마모속도를 보이는 직선과, 그 후의 모재가 높은 마모속도를 보이는 직선으로 나타낼 수 있다. 또 마찰계수는 전자에서는 0.35 전후의 낮은 값을 보이나, 후자에서는 0.38~0.76으로 높아진다.

Fig. 8에서 피막의 수명은 모재의 마모를 나타내는 직선과 슬립면의 마모를 나타내는 직선이 만나는 슬립거리에서 결정되는 것을 보여주고 있다. 피막의 수명은 Fig. 7과 Fig. 9에서 보여 주는 것과 같이, 복합표면개질에 의해 개선된다. 또 질화처리 후에 수소분위기 중에서 어닐링처리를 한 것과, 어닐링을 하지 않은 경우를 비교하면 어닐링한 후에 2배 이상으로 수명이 연장되는 것을 알 수 있다. 이것은 TiN 피막을 화학적으로 제거하여 얻어지는 두 모재의 손상을 비교하여도 확실한 결과를 얻을 수 있다. 이와 같이 어닐링 처리에

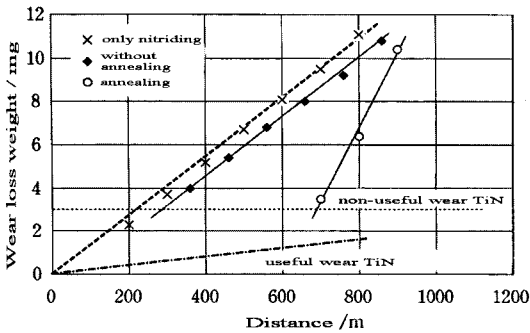


Fig 7. Wear weight loss change with the slip distance[4]

의해 개질면의 파괴인성이 향상하는 것은 슬립에 의해 모재에 생기는 크랙이 성장하기 어렵게 되며 동시에 피막의 부착강도도 향상하는 것에 의해 스크래치의 발생에 억제되기 때문으로 판단된다. 또 Fig. 9에 병기 한 바와 같이 수명연장의 효과는 2 시간 어닐링함으로써 얻어졌다.

3.3 질소분위기중에서 마찰·마모특성[8~9]

질소분위기중의 마찰·마모시험에서는 이동면에 산소의 공급이 거의 없어서, Fig. 5의 하중과 슬립 속도의 모든 조건에서 이동 전면에서 알루미늄합금의 이착의 발생하며 경질의 알루미늄 산화물의 마모분이 생성되지 않기 때문에, 개질면의 마모는 거의 생기지 않는다.

대기중과 같은 250 N, 0.1m/s의 조건으로 이 동 시험을 했을 경우, 슬립은 주로 이착층과 링 사이에서 일어나 마찰계수는 대기중보다 높아져서, 0.6에서 1.2까지 불규칙으로 변동하였다. 이착층하의 피막은 어느 슬립거리에서 부분적으로 Fig. 10(a)에 보이는 것과 같은 특징적인 조개껍질상의 손상이 생긴다. 이 손상은 피막과 모재와의 계면 및 피막 중에서 파괴에 의해 생기고, 일단 이와 같은 손상이 이동면의 일부에 발생하면, 짧은 슬립거리에서 이동 전면체로 손상은 확대된다.

이와 같은 손상의 발생형태에서, 알루미늄합금의 이착이 발생한 곳에서의 개질면의 손상은 되풀이 되며 응력을 받아 피로에 의해 파괴가 생기는 것이 분명하다. 또 이 손상형태는 열 CVD 법에 의해 하중에서 TiC/TiCN/TiN의 3층피복한 압출다이에서 보이는 손상(Fig. 10(b))과 유사하며, 동일한 상황이 실제의 알루미늄의 압출 다이에도 생긴다고 판단된다[10].

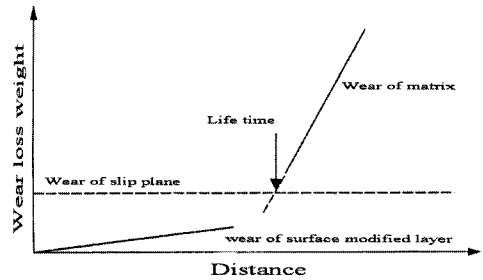


Fig 8. Life time of surface modified layer

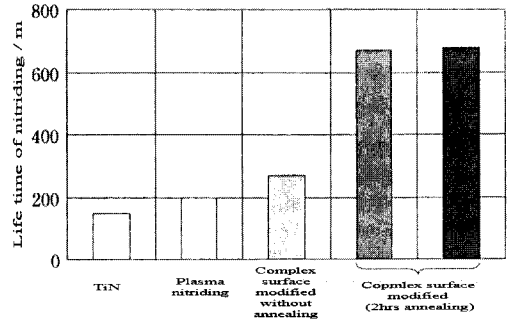
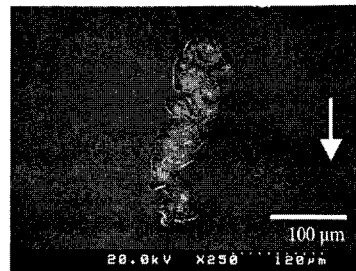
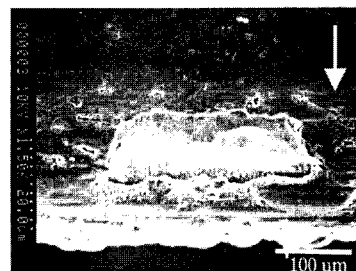


Fig 9. Life time of surface modified layer under air atmosphere



(a) Example of damage of TiN surface modified layer under Nitrogen atmosphere



(b) Example of damage of heat CVD coated extrusion dies

Fig10. Damage of surface modified layer under nitrogen atmosphere. Arrow means (a)slip direction (b)extrusion direction[10]

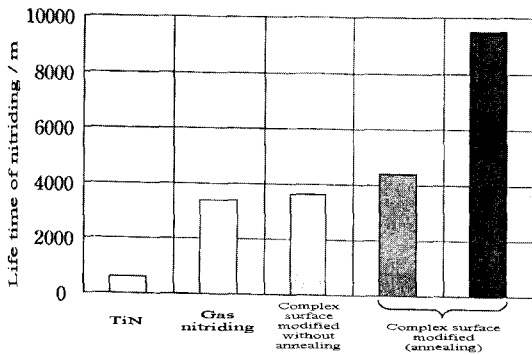


Fig. 11. Life time of surface modified layer under nitrogen atmosphere.

Fig. 11 은 손상의 크기가 50~100 μ m 정도의 크기로 될 때, 슬립 거리를 피막수명으로 하여 각 개질면에 대하여 그 값들을 비교한 결과이다. 복합표면개질은 질화처리나 TiN 피복의 단독처리 보다 피막수명이 길며, 또 어닐링처리의 효과가 분명하며 2 시간 어닐링을 행한 경우가 행하지 않은 경우에 비해 피막수명은 약 20% 개선되었고 4 시간으로는 2 배 이상 연장되는 것을 알 수 있다. 이 수명연장은 손상이 피막과 모재의 계면에서 생기는 부착강도가 항상에 의한 것으로 생각된다.

4. 윤활에서의 특성평가[11]

스테인리스강의 가공은 보통 윤활하에서 행해지며 공구마모, 굽힘을 억제하기 위한 공구재료로 고속도공구강 등의 고합금, 고경도재를 일반적으로 사용하고 있다. 그래서 열간강을 모재로하여 TiN 복합개질막에 의한 개질면과 고속도공구강 (SKH 51, 62 \pm 1 HRC)에 TiN 피복을 한 개질면과 비교하는 것을 목적으로 하여 스테인리스강을 상대재로 하는 윤활하에서 마찰마모시험을 하였다.

실제의 가공에서는 가공압력이 급격하게 높아질 수 있다는 것을 고려하여 시험에서는 고압력이 얻어지는 편식의 횡형핀 온 블록 타입의 시험(Fig. 12)을 이용하고 있다. 여기서 핀 시험편은 오스테이트계 스테인리스강(STS 304계), 윤활제는 합성계 기름 PAO 를 사용하였다.

이 시험에서 슬립 속도 0.1mm/s, 마찰계수는 0.1 정도로 하여 개질면에 손상이 발생하는 하중을 구한 결과를 Fig. 13 에 보였다. Fig. 13 에 나타낸 것과 같이, 질화 후에 어닐링 처리를 한 TiN 복합개질막의 손상발생하중이 TiN 피복한 고속도공구

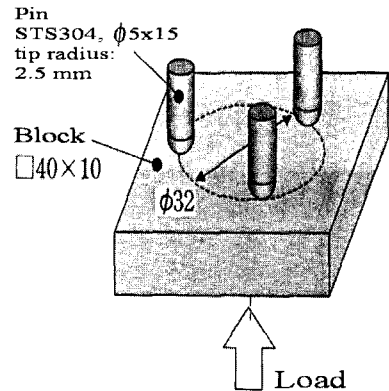


Fig. 12. Pin on block type for friction-wear test

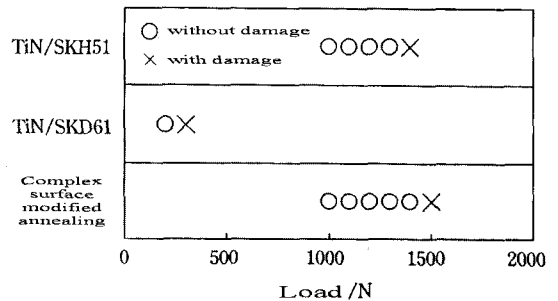


Fig. 13. Damage load of stainless steel vs surface modified materials under with lubrication and high wear testing load[11]

강의 개질면 값 이상인 것을 알 수 있다. 따라서 TiN 복합개질막이 뛰어난 내하중 특성이 있다는 것을 알게 되었다.

이 시험에서 보이는 바와 같이 복합표면개질은 고속도 공구강에 비해서 열간 다이스 강과 같이 재료가격, 가공비용의 면에서 유리한 재료로 만들어진 금형·공구를 이용하여 전자에서 만들어진 것과 동등 이상 성능을 부여할 수 있다는 것을 알 수 있다.

5. 결론

확산경화처리와 경질막피복을 조합한 복합표면개질에 의한 제작된 개질면의 특성은 파괴인성, 피막의 부착강도에 크게 영향을 준다. 저차 등은 복합표면개질의 기본이 되는 TiN 복합개질막에 의하여 질화처리 후에 수소분위기중에서 어닐링처리를 한 후 개질면의 특성이 크게 향상 되는 것을 밝혔다.

이미 이 복합표면개질에 의해 프레스가공, 굽힘가공, 다이가공 있어서 공구성능 향상효과가 확인되고 있으나 앞으로 확산경화층의 특성향상, 뛰어난 기능을 갖는 피막재료의 개발함으로써 개질면의 특성이 더욱 향상되고 복합표면개질이 소성가공용 금형·공구에 널리 응용될 것이 기대된다.

본 논문은 한국소성가공학회와 일본소성가공학회의 번역 게재협정에 의하여 저자의 허락을 생략하고 번역하여 게재합니다.

참 고 문 헌

- [1] Fjoik, T., Westerård, R. & Hogmark, S. : *Wear*, 249-3/4, (2001), 316~323.
- [2] 寺門一桂 : 塑性の加工, 45-518, (2004), 167~171.
- [3] 河村新吾, 春山義夫, 横井新安, 木村好次, 塩澤和章 : *機論 C*, 65-640 (1999), 4846~4853.
- [4] 河村新吾, 春山義夫, 横井新安, 木村好次, 塩澤和章 : 上同, 66-646 (2000), 1988~1995.
- [5] Kawamura, S., Haruyama, Y., Yokoi, N., Kimura, Y. & Shiozawa, K. : *Proc. 27th Leeds-Lyon Symp. On Tribology* (2000), 587~597.
- [6] 塩澤和章, 大谷利宏, 岡根正樹, 河村新吾, 長續毅, *機論 A*, 64-628 (1998), 3050~3057.
- [7] Sun, Y. & Bell, T. : *Mater. Sci. Eng.*, A140 (1991), 419~434.
- [8] 河村新吾, 春山義夫, 横井新安, 田中克典, 木村好次, 塩澤和章 : *機講論*, No. 007-1 (2000), 191~192.
- [9] 春山義夫, 河村新吾, 木村好次, 小西慶明 : *トライボロジー會議豫告集*
- [10] 春山義夫, 横井新安, 河村新吾, 木村好次, 塩澤和章, *富山県立大學紀要*
- [11] 春山義夫, 大川淳, 河村新吾, 堀川教世 : *機講論*, No. 047-1 (2004), 143~144.