

# 냉간 단조용 펀치의 TiN 코팅처리에 따른 자동차 베어링축의 표면 영향에 관한 연구

김해지\* · 이상욱\* · 강상명\* · 전병윤\*\* · 전만수\*\*\*

## Effect of TiN-Coating on a Punch on Surface Quality of a Cold Forging Automotive Bearing Shaft

H. J. Kim, S. W. Lee, S.M Kang, B.Y Joun and M.S Joun

### Abstract

In this paper, effect of TiN-coating on product quality such as dimensional accuracy and surface roughness is experimentally investigated. A punch of SKD11 material in cold forging of an automotive bearing shaft and its related process found in a cold forging company are selected as the test example. The effect of TiN-coating is revealed in a quantitative manner. It is to be noted that TiN-coating is effective in controlling the dimensional accuracy and surface roughness as well as in increasing tool life.

**Key Words** : Automotive bearing shaft(자동차베어링축), Cold forging punch(냉간단조 펀치), TiN-coating(TiN 코팅), Adhesion capacity(밀착력), Surface roughness(표면조도)

### 1. 서론

최근 자동차, 항공기, 수송기계 등의 부품 제조업체에서는 경량화 설계와 품질고급화 및 생산성 향상에 많은 관심을 가지고 지속적인 기술 투자를 확대시키고 있다. 생산기술차원에서 절삭량을 줄이고, 자동화시키는 공정기술들이 병행되고 있다. 절삭량을 줄이고 고품질을 유지하는 생산 방법으로 소성가공, 특히 정밀 정형 성형기술이 각광을 받고 있다. 일반적으로 성형 공정 개발에 CAD/CAM/CAE 기술<sup>(1-3)</sup>을 접목함으로써 공정개발, 생산성에 큰 향상을 가져오고 있다. 냉간 단조의 경우, 정밀 정형단조가 주관심 분야인데, 산업적 측면에서 보면, 요소기술로써 다이세트 및 금형,

설계기술, 표면 강성향상을 위한 코팅 공정기술, 열처리 등의 소재기술, 품질평가 및 보증기술 등이 있다. 그리고 대표적인 코팅 공정기술에는 PVD(Physical Vapor deposition)<sup>(4,5)</sup>, CVD(Cheical Vapor Deposition)<sup>(6)</sup> 등이 있다. 코팅기술의 경우, 그 중요성에 비해 학문적으로 체계적인 연구가 진행되고 있으나, 미흡한 실정이다. 그 원인은 정교한 장비, 장기적인 정보의 축적, 노하우성 기술 때문에 산업계에서는 공정적용 기술 위주로 발전되어 왔기 때문이다.

본 논문에서는 PVD 코팅 기술의 체계화의 일환으로 냉간 단조용 펀치의 TiN 코팅처리에 따른 자동차 베어링축의 표면 영향에 관하여 실험적으로 고찰하고자 한다.

\* 경상대 대학원 기계공학과

\*\* 경상대 TiC 센터

\*\*\* 경상대 수송기계공학부

## 2. PVD 코팅처리의 메커니즘 및 공정특성

### 2.1 PVD 코팅처리의 메커니즘

PVD 코팅표면처리에서 증발된 입자들의 에너지 측면에서 분류하면 열증발(Thermal evaporation), 스퍼터링(Sputtering), 이온 플레이팅(Ion plating) 공정이다. Fig. 1 에서는 PVD 코팅의 메커니즘을 나타내었다<sup>(7)</sup>. AIP 공정에서 아크 방전은 약 30V 에서 200A 에 달하는 높은 전류에 의해 전기적으로 전도체인 코팅재료의 부분 가열 및 증발에 적용된다.

그리고 어떠한 위치에서도 증발 타겟(Target)의 배열이 가능하다는 특성을 가지고 있다. 전자빔에 의해 타겟 물질들의 금속이 증기화되고 이러한 증기화 된 타겟 물질들이 플라즈마와 같은 코팅 보조기구로 이동하여 이온상태로 전이한 후에 코팅소재에 걸리는 바이어스 전압에 의해 표면에 증착하게 된다. 이러한 이온 플레이팅의 형태로 증착이 진행되면서 모재와 코팅 층간의 밀착력은 증가하게 되며, 표면 코팅 층의 기공도는 크게 감소하게 된다.

### 2.2 PVD 코팅처리 공정

본 논문의 실험에서는 경상대기술혁신센터(GTIC)의 국내 제작된 AIP-780 코팅기를 적용하였다. PVD 코팅 공정은 전처리, 코팅처리, 검사 공정 등으로 분류된다. 전처리 공정에서는 미세 Burr 제거, T.C.E (Trichloro Ethane)탈지, 초음파 세척 등을 수행한다. 코팅 공정에서는 코팅기의 내부를 진공( $1.5 \times 10^{-5}$  Torr)상태로 유지한다.

Fig. 2 에서는 각각의 공정에 따른 로 내의 유지 온도를 나타내었다. 1 차적으로 진공도를 높이기 위해(탈가스) 400℃로 180 분 정도 가열한 다음 최종적인 세정 단계로 코팅공정 바로 전에 이온세정 단계를 420℃(b)로 10 분간 수행한다. 이는 Ti 전자를 빠른 속도로 발산시켜 제품에 붙어있는 이물질들을 제거하기 위한 것이다. 그리고 450℃(c)에서 110 분간 소재의 본 코팅을 수행한다. TiN 코팅처리 된 소재의 표면층 확인을 위해 고배율 광학현미경( $\times 1000$ ), 두께 측정기, 경도 측정기 등을 사용하여 표면층의 두께, 경도 등을 측정한다.

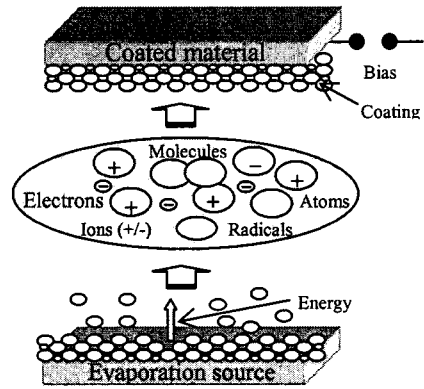


Fig. 1 PVD coating mechanism

Table 1 The process of PVD coating

Pre-process	- Removal of Burr, Removal of fat (T.C.E), Ultrasonic cleaning
Coating	- Maintenance of a vacuum - Furnace heating (400 °C) - Ion plating (420 °C) - TiN Coating (450 °C)
Inspection	- Measurement of Hardness - Valuation of adsorption capacity, Measurement of coating thickness

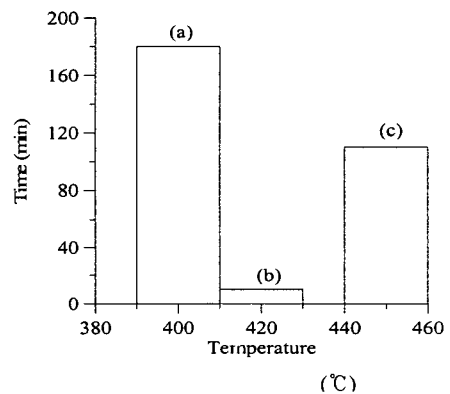


Fig. 2 Furnace temperature by the time

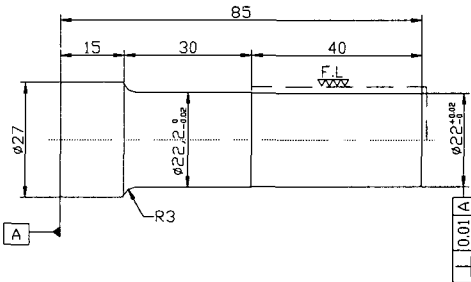
## 3. 실험장치 및 방법

### 3.1 자동차 베어링축의 펀치 금형 설계 및 제작

냉간 단조용 펀치 금형의 경우 연속적인 작업 조건에 의해 표면의 피로 및 균열, 공구마멸 등으로 인한 공구수명 감소를 가져오고 있다. 이러한 과도한 작업조건을 위해 일반적으로 고경도이고 내마모성이 강한 SKD11, SKD61, Hard metal, SKH51 등의 사용되고 있으며, 본 연구에서는 SKD11 소재를 적용하였다. Table 2 는 SKD11 소재의 화학성분을 나타내었다. 그리고 경도는 H<sub>R</sub>C 로 58 을 나타내었다. Fig. 3 에서는 자동차 베어링 축의 냉간 단조를 위한 펀치금형의 설계를 나타내었다. 데이텀 A 를 기준으로 직각도는 0.01 mm 를 유지시켰고, 40 mm 구간에 대하여 2~3 μm TiN 코팅처리를 위해 경면 처리하였다. 또한 후방압출을 위한 압입 부의 외경은 ∅22 +0.02 mm 로 설계하였다. Fig. 4 는 베어링 축의 냉간 단조를 위한 SKD11 재종의 TiN 코팅처리 된 펀치금형을 나타내었다.

**Table 1 Chemical composition of SKD11**

Chemical composition							
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V
1.5	0.4	0.6	0.03	0.03	11	0.8	0.2



**Fig. 3 Design of punch mold**



**Fig. 4 The Cold forging punch of TiN coated**

### 3.2 TiN 코팅 및 냉간단조를 위한 실험조건

본 논문에서는 냉간단조용 펀치 금형의 소재 인 SKD11 시편의 TiN 코팅처리를 위해 AIP(Arc

Ion Plating)-780 코팅기를 적용하여 시편, 펀치 금형에 TiN 코팅 하였다. 그리고 SKD11 시편의 코팅전과 후의 기계적성질 고찰을 위해 펀치 금형과 동일한 코팅조건을 적용하였다. 주사 전자 현미경(S.E.M)을 이용하여 표면조직, 흡착력, 코팅두께층 및 표면경도 측정을 위해 Rockweel Hardness Tester(150 kgf)를 적용하였다. Table 3 은 SKD11 소재의 펀치금형 및 시험시편의 TiN 코팅 조건을 나타내었다. Table 4 는 SCM440 재질의 자동차 베어링축의 냉간 단조를 위한 가공조건을 나타내었다.

**Table 3 Coating conditions**

Coating machine	AIP(Arc Ion Plating)-780			
Coating process	Target	Time (min)	Vacuum (Torr)	Temp. (°C)
Ion plating	Ti	10	4.0E-5	420
Coating	TiN	110	7.5E-3	450
Coating specimen	SKD11			

**Table 4 Cold forging conditions**

Machine	KOMATSU MKN-300
Process name	Cold forging
Tool(SKD11)	Uncoated punch, coated punch
Specimen	SCM440
Fluids	No
Load	100 Ton

## 4. 실험결과 및 고찰

### 4.1 SKD11 시편의 TiN 코팅 특성

Fig. 5 에서는 SKD11 금형공구강 시편의 TiN 코팅 전과 후의 표면경도를 나타내었다. 표면조도 측정을 위해 Rockweel Hardness Tester(150 kgf)를 적용하였고, 각각의 시편에 대하여 5 점을측정한 결과 TiN 코팅전의 평균값은 54.06(H<sub>R</sub>C), 후의 값은 50.36(H<sub>R</sub>C) 이었고, TiN 코팅후의 경도 값이 3.7 정도 다소 낮아지는 경향을 알 수 있었고, 소재의 변형 및 치수의 변화에 크게 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있었다. 일반적인 SKD11 공구강의 경도는 H<sub>R</sub>C 58 이상으로 규정하고 있고, 본 실험에 사용된 소재의 경우 실제 측정을 통해 다소 경도가 떨어지는 것을 알 수 있었다.

Fig. 6 은 주사전자현미경(S.E.M)을 통하여 SKD11 실험 시편의 밀착력 형상을 나타내었다. TiN 코팅 층의 밀착력 등급 판정 기준은 1 등급에서 6 등급까지 이다. 압흔을 찍었을 때 코팅이 벗겨지지 않고 작은 크랙만 생성되었을 경우 1 등급으로 간주하고 크랙이 많거나 코팅막이 벗겨져 있을수록 등급수는 낮아진다. 보통 1-2 등급의 제품이 양품이 된다. Fig 6 에서와 같이 TiN 코팅 층은 원 중심을 기준으로 사선형태의 크랙이 생성되었고, 이를 통해 SKD11 금형공구강에 대한 TiN 코팅층의 밀착력이 우수한 것으로 사료된다.

Fig. 7 에서는 TiN 코팅 층 두께 측정을 위해 두께 측정기를 사용하여 TiN 코팅된 표면에 볼을 회전시켜 표면에 원형의 흔적을 발생시킨다. 발생한 흔적을 주사현미경을 통해 a 와 b 거리를 측정하여 식 1 에 의해서 계산된다. 이는 강구의 크기에 따라 다르지만 본 논문에서 실험한 강구는 지름이 15.09 mm 이다. 측정거리 a=5 μm, b=85 μm 를 식 1 에 대입한 결과 2.83 μm의 코팅 층을 확인하였다. 일반적으로 TiN 코팅은 2~3 μm 수준에서 우수한 내마모성 및 공구의 수명을 유지하게 된다<sup>(8)</sup>.

$$T = [(a \times b \times 100) / 15,000] \mu\text{m} \quad \text{---- (1)}$$

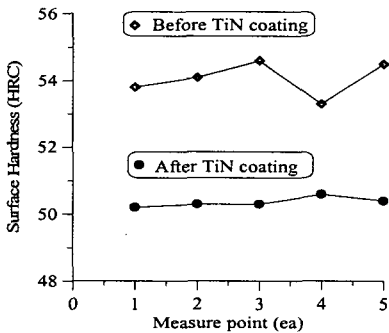


Fig. 5 Surface hardness of TiN coating before and after at SKD11 specimen

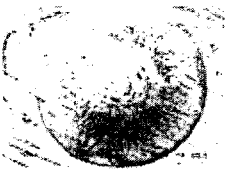


Fig. 6 Valuation of adsorption capacity at SKD11 specimen (S.E.M : ×140)

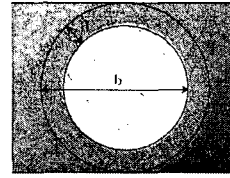


Fig. 7 Thickness of TiN coating layer (S.E.M : ×140)

#### 4.2 TiN 코팅에 따른 표면조도 특성

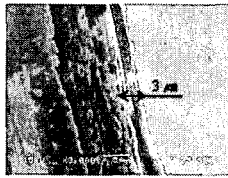
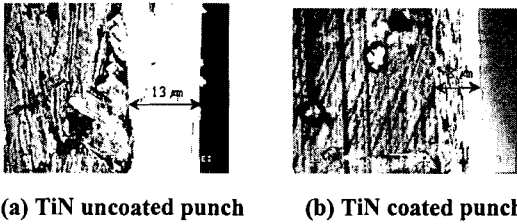
냉간 단조에서 소재의 전처리 과정 중 하나인 표면 윤활처리는 생산제품의 품질과 금형 수명을 결정하는 매우 중요한 공정중의 하나이다. 일반적으로 냉간 단조에서 사용되는 표면 윤활제의 약 80% 이상이 반고체 윤활제인 인산염피막을 적용하고 있다. 그 외에 분말이나 액상의 MoS<sub>2</sub> 윤활제 및 최근에 개발되어 일부 품목에 단조용 오일을 적용하고 있다. 일반적으로 냉간 단조에서 양호한 윤활효과를 얻기 위해 인산염피막 층은 15 μm ~ 20 μm 사이에서 피막 층이 생성된다. 본 실험에서는 소재의 인산염피막 및 MoS<sub>2</sub> 윤활제의 표면처리에 따른 TiN 코팅, 비코팅처리 된 편치금형을 적용하였다. 소재내의 잔류 피막 층의 측정을 위해 냉간 단조공정이 완료된 제품의 단면 상부 1 mm 를 절단하여 주사현미경을 통해 TiN 코팅에 따른 제품의 표면에 미치는 영향을 고찰하였다.

Fig. 8(a) 에서는 TiN 코팅되지 않은 편치금형을 사용하였을 때 약 13 μm 인산염피막 층을 나타냈으며, Fig. 8(b) 에서는 TiN 코팅된 편치금형을 사용한 후 인산염피막층은 약 8 μm 로 나타났다. 그리고 Fig. 8(c) 에서는 MoS<sub>2</sub> 윤활제를 표면처리 한 후 TiN 코팅된 편치금형을 사용한 후의 피막 층은 약 3 μm 으로 나타났다.

전처리 공정에 따른 소재의 인산염피막 및 MoS<sub>2</sub> 표면처리에 대한 TiN 코팅 및 비코팅 처리된 편치금형을 적용하였을 때 결과에서, MoS<sub>2</sub> 표면처리를 하였을 때 윤활에서 우수하였다. 그리고 TiN 코팅, 비코팅 처리에서는 TiN 코팅 편치금형에서 원활한 피삭재의 윤활작용에 의해 작업이 수행됨을 알 수 있었다.

Fig. 9 는 인산염피막, MoS<sub>2</sub> 윤활 처리된 피삭재에 TiN 코팅 및 비코팅 편치금형을 냉간 단조 후의 내경의 표면조도를 나타내었다. 내경의 표면조도 측정을 위해 Rank Taylor Hobson Surtronic 4+를 적용하여 측정길이 4mm, Cut-off 0.8mm, 각 시편에 대하여 5 점을 측정하여 중심선 평균조도(Ra)값으로 나타내었다. 자동차 베어링축의 냉간 단조 후

일반적인 내경의 표면조도 값은 1  $\mu\text{m}$  이내의 양호한 조도 값을 유지해야 한다. 측정결과 모두 1  $\mu\text{m}$  이하의 표면조도 값을 나타내었고, 인산염피막처리에 대한 TiN 코팅 및 비처리 펀치 금형을 적용한 결과에서는 TiN 코팅 펀치 금형이 표면조도가 우수하였다.



(c) TiN coated punch at applied  $\text{MoS}_2$

Fig. 8 The residual characteristic of phosphoric acid a film (S.E.M :  $\times 3,000$ )

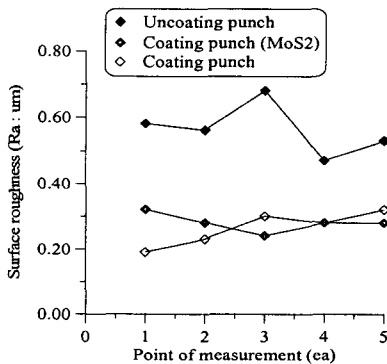


Fig. 9 Surface roughness of when applied TiN coating and uncoating punch

## 5. 결 론

냉간 단조용 펀치의 TiN 코팅처리에 따른 자동차 베어링축의 표면 영향에 관하여 실험적으로 고찰한 후 다음의 결과를 얻었다.

SKD11 공구강의 TiN 코팅후의 기계적 성질은 변함이 없었고, TiN 코팅 온도 특성은 450 $^{\circ}\text{C}$ 에서

2.83  $\mu\text{m}$ 의 양호한 코팅층 및 밀착력을 형성하였다. 그리고 자동차 베어링 축의 냉간 단조 후 표면조도에서는 측정결과 모두 1  $\mu\text{m}$  이하의 표면조도 값을 나타내었고, 인산염피막처리에 대한 TiN 코팅 및 비처리 펀치 금형을 적용한 결과에서는 TiN 코팅 펀치 금형이 표면조도가 우수하였다. 냉간 단조용 펀치 금형의 TiN 코팅 전, 후의 결과에서 보듯이 TiN 코팅이 제품의 표면조도에 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 그리고 향후 단조 작업에 의한 공구수명 평가가 필요함.

## 참 고 문 헌

- (1) Kudo, H., "Academic- Industrial Cooperation to Improve and Expand Cold-Forging Technology in Japan ", J. Mat. Proc. Tech., Vol. 35, pp. 259-274, 1992.
- (2) Joun, M. S., and Lee, M. C., "Quadrilateral Finite-Element Generation and Mesh Quality Control for Metal Forming Simulation", Int. J. Num. Methods Eng., Vol. 40, pp. 4059- 4075, 1997.
- (3) Joun, M. S, Moon, H. K and Shivpuri, R., "Automatic Simulation of a Sequence of Hot -Former Forging Processes by a Rigid-Thermoviscoplastic Finite Element Method", ASME Trans., J. Eng. Mat. Tech., Vol. 120, pp. 291- 296, 1998.
- (4) Bergman, E., "Mechanical and Tribological properties of wear protection coatings produced by PVD methods" ; H. K. Pulker et al., "Wear and Corrosion resistant coating by CVD and PVD", expert verlag, Ehningen, 1989.
- (5) Yang, S.W., Kim, Y.S., Shin, H.S., "Preparation of YBaCuO system superconducting thin films on Si(111) substrates by chemical vapor deposition", KSIEC., Vol.8, No.4, pp. 589 ~ 594, 1997.
- (6) Kim, K.S., Yoon, Y.S., Jung, I.H., "Optical characteristics of Iron Silicide Films prepared by Plasma CVD", KSIEC., Vol.10, No.3, pp. 343 ~ 348, 1999.
- (7) <http://www.balzars.co.kr>
- (8) Kim, J. S., "Tendency of PVD coating technology on Metal cutting tools", KSPE., Vol. 18, No. 8, pp. 11 ~ 17, 2001.