

# 냉간단조 공정에서 TiN 코팅이 제품의 표면특성에 미치는 영향에 관한 실험적 연구

김해지\*, 이상욱\*, 강상명\*, 전병윤\*\*, 전만수#

## Experimental Study on Effect of TiN - Coating on a Cold Forging in Surface Characteristics

Hae Ji Kim\*, Sang Wook Lee\*, Sang Myoung Kang\*, Byung Yun Joun\*\* and Man Soo Joun#

### ABSTRACT

In this paper, the 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 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** : Punch(편치), TiN-coating(TiN 코팅), Automotive bearing shaft(자동차베어링축), Tool life(공구 수명), Surface roughness(표면조도)

### 1. 서론

국내의 자동차 제조업체에서는 제품의 대외경쟁력 향상을 위해 경량화기술, 고품질화기술, 생산성 향상 및 제조원가 절감 기술 등에 투자를 확대하고 있는 실정이다. 특히, 생산기술측면에서는 피삭재의 절삭량을 최소화시키고, 생산공정에 자동화 기술을 접목하는 노력이 병행되고 있다. 가공재의 원가상승 및 소재의 낭비를 줄이고 고품질을 유지하는 생산방법으로 소성가공, 특히 정밀 정형 성형 기술이 각광을 받고 있다. 일반적으로 성형 공정 개발에 CAD/CAM/CAE 기술<sup>1-3</sup>을 접목함으로써 공

정개발에 혁신을 불러일으키고 있다. 냉간단조의 경우, 정밀 정형단조가 주관심 분야인데, 산업적 측면에서 보면, 요소기술로서 다이세트 및 금형 설계 기술, 표면의 내마모성 향상을 위한 코팅 기술, 열처리 등의 소재 기술, 품질평가 및 보증 기술 등이 있다. 그리고 금형 및 공구의 내마모성, 공구수명, 표면조도 등의 향상을 위해 사용되는 대표적인 코팅기술에는 PVD(Physical Vapor Deposition)<sup>4,5</sup>, CVD (Chemical Vapor Deposition)<sup>6</sup> 등이 있다.

코팅기술의 경우, 그 중요성에 비해 냉간단조 공정 적용에 있어 체계적인 연구가 미흡한 실정이며, 장기적인 정보의 축적이 뒷받침되어야 하기 때

접수일: 2004년 6월 17일; 게재승인일: 2004년 11월 19일

\* 경상대학교 기계공학과 대학원

\*\* 경상대수송기계부품기술혁신센터(GTIC)

# 교신저자: 경상대학교 기계항공공학부

E-mail : msjoun@gsnu.ac.kr Tel. (055) 751-5316

문에 산업계에서는 공정적용 기술 위주로 발전되어왔다. 자동차 베어링축은 냉간단조 공정(후방압출)에 의해 생산되고 있고, 베어링 축의 내경은 베어링과 조립되기 때문에 양호한 표면조도를 유지시켜야 한다. 본 논문에서는 냉간단조 공정에 대한 PVD 코팅 기술을 체계화시키기 위해서 편치의 TiN 코팅이 자동차 베어링축의 표면에 미치는 영향에 관하여 실험적으로 고찰하고자 한다.

## 2. PVD 코팅의 공정 특성

### 2.1 PVD 코팅의 메카니즘

이온 플레이팅(Ion plating)공법은 Ti 소스를 질소 가스 속에서 증발시켜 입자들의 에너지 확산운동을 이용하여 표면에 입자금속을 증착시키는 대표적인 PVD 코팅공법이다. 이온 플레이팅 공법은 아크 증발 방식(Arc Ion Plating)으로써, 높은 전류에 의해 전기적으로 전도체인 코팅재료의 부분 가열 및 증발에 사용된다. 특징은 로터의 회전에 의해 어떠한 위치에서도 증발 타겟(Target)의 배열이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 전자빔에 의해 타겟 물질들의 금속이 증기화되고, 증기화된 타겟 물질들이 플라즈마와 같은 코팅 보조기구로 이동한다. 이온상태로 전이한 후에 코팅소재에 걸리는 바이어스 전압에 의해 표면에 증착하게 된다. 이러한 이온 플레이팅의 형태로 증착이 진행되면서 모재와 코팅 층간의 밀착력은 증가하게 되며, 본 공정에 의하여 모재의 표면에 코팅 층이 형성된다. Fig. 1에서는 PVD 코팅의 메카니즘을 나타내었다<sup>7</sup>.

### 2.2 PVD 코팅의 공정

Fig. 2에서는 경상대수송기체부품기술혁신센터(GTIC)의 보유 장비인 아크 타입의 AIP-780 코팅기 사진을 나타내었다. Table 1에서는 PVD 코팅의 공정을 나타내었고, 코팅공정은 전처리, 코팅, 검사 등으로 이루어진다. 전처리 공정에서는 미세 Burr 제거, TE (Trichloro Ethane)탈지, 초음파 세척 등을 수행한다. Fig. 3에서는 코팅 공정에 따른 로 내부의 유지 온도를 나타내었다. PVD 코팅에서는 로 내부의 진공상태에 따라 코팅두께에 크게 영향을 미침으로써, 내부를 진공( $1.5 \times 10^{-5}$  Torr)상태로 유지한다. 1차적으로 진공도를 높이기 위해 400℃ (a)로 180분 가열한 후 이온세정 단계 (b)를 420℃에서 10분간 수행한다. 이는 Ti 전자를 빠른 속도로 발산

시켜 제품에 붙어있는 이물질들을 제거하기 위한 것이다. 그리고 450℃ (c)에서 110분간 소재의 본 코팅을 수행한다. TiN 코팅처리 된 소재의 표면층 확인을 위해 고배율 광학현미경(1,000배), 두께측정기, 경도측정기 등을 사용하여 표면층의 두께와 경도를 측정한다.

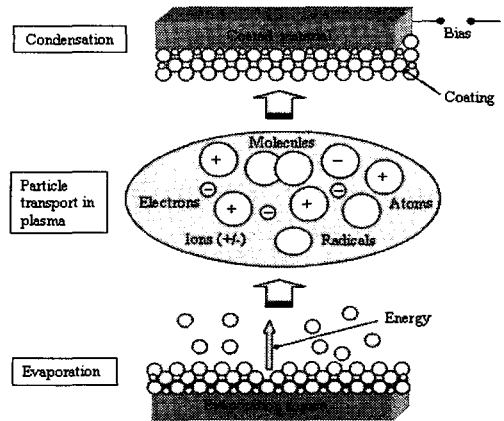


Fig. 1 PVD coating mechanism

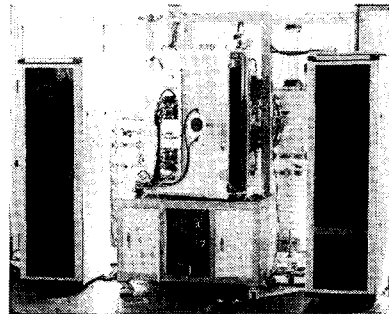


Fig. 2 AIP-780 coating machine of arc type

Table 1 The process of PVD coating

Pre-process	- Removal of burr, fat, etc. - Ultrasonic cleaning
Coating	- Maintenance of a vacuum - Furnace heating (400℃), ion plating (420℃), TiN coating (450℃)
Inspection	- Measurement of hardness, adsorption capacity, coating thickness

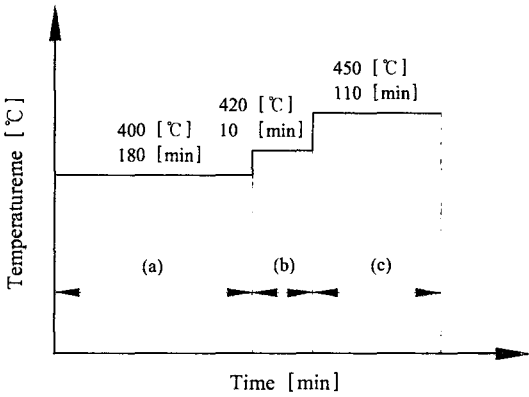


Fig. 3 Furnace temperature schedule

### 3. 실험장치 및 방법

#### 3.1 자동차 베어링축의 펀치 설계 및 제작

냉간단조용 펀치의 수명은 연속적인 작업조건에 의해 표면의 피로, 균열, 공구마멸 등에 큰 영향을 미치고 있다. 이러한 과도한 작업조건을 고려하여 고경도이고, 내마모성이 강한 SKD11, SKD61, SKH51 등의 소재가 사용되고 있으며, 본 실험에서는 경도(H<sub>R</sub>C)가 58 이상인 SKD11 소재를 사용하였다. Table 2 는 SKD11 소재의 화학성분 및 경도를 나타내었다. Fig. 4 는 코팅에 사용된 Ø 20× 10 mm 시편의 코팅 전(a)과 후(b)의 모습을 나타내었다.

Fig. 5 에서는 자동차 베어링 축의 냉간단조에 적용된 펀치의 설계도를 나타내었다. 기준면 A를 기준으로 직각도는 0.01 mm 를 유지시켰고, 40 mm 구간의 펀치 표면에 경면 처리하였다. 후방압출을 위한 압입부의 외경은 Ø 22 +0.02 mm로 설계하였다.

#### 3.2 TiN 코팅 및 냉간 단조를 위한 실험조건

냉간단조용 펀치 및 SKD11 시편의 TiN 코팅을 하기 위해 AIP(Arc Ion Plating)-780 코팅기를 사용하였다. SKD11 시편의 코팅전과 후의 표면 상태 고찰을 위해 Table 3 의 코팅조건을 적용하였다. 주사 전자현미경(SEM)을 사용하여 표면조직, 흡착력, 코팅두께를 측정하였으며, 표면경도 측정을 위해 로크웰 경도기(150 kgf)를 사용하였다.

Fig. 6(a) 는 TiN 코팅된 펀치, (b) 는 인산염 피막 처리된 Ø 30× 23.5 mm 소재를 사용하여 냉간단조 작업 후의 제품 사진을 나타내었다.

Table 4 는 SCM440 재질인 자동차 베어링축의

냉간단조를 위한 가공조건을 나타내었다.

Table 2 Chemical composition and hardness of SKD11 material

Chemical composition								Hardness (Q/T)
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	HRC
1.5	0.4	0.6	0.03	0.03	11	0.8	0.2	58

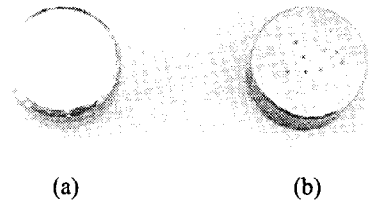


Fig. 4 Experimental specimen of SKD11

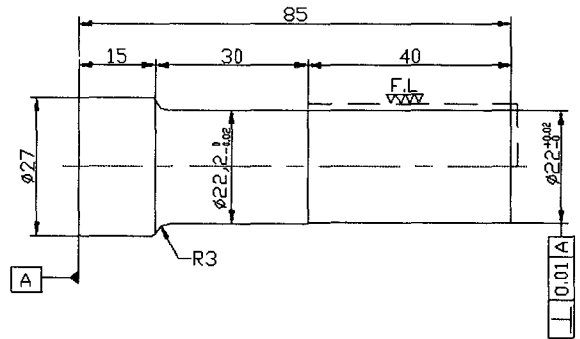


Fig. 5 Design of punch

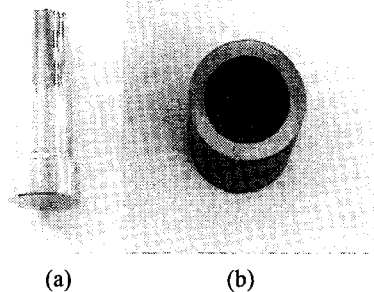


Fig. 6 A TiN coated punch and a forged material

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	420
Coating Specimen	SKD11			

Table 4 Cold forging conditions

Machine	KOMATSU MKN-300
Process name	Cold forging
Tool(SKD11)	Uncoated and coated punch
Specimen	SCM440
Phosphate thickness	20 μm
Fluids	No
Load	100 ton

#### 4. 실험결과 및 고찰

##### 4.1 TiN 코팅에 따른 SKD11 시편의 표면 특성

Fig. 7 은 TiN 코팅 전과 후의 SKD11 시편 표면의 경도 값을 그래프로 나타내었다. TiN 코팅 전과 후의 시편에 대하여 각각 5점에서 측정된 평균값은 4.06(H<sub>R</sub>C) 과 50.36(H<sub>R</sub>C)으로 측정되었다. 일반적인 SKD11 공구강의 경도는 H<sub>R</sub>C 58 이상으로 규정하고 있고, 본 실험에 사용된 소재를 측정 한 결과 다소 경도가 떨어지는 것을 알 수 있었다.

Fig. 8 은 SKD11 시편에 대한 TiN 코팅 층의 밀착력<sup>8</sup> 형상을 사진으로 나타내었다. 국내 D 사의 경우, 밀착력의 등급 판정 기준은 1등급에서 6등급 까지로 규정하고 있고, 1등급의 경우 원의 중심으로부터 사선형태의 크랙이 생성되었을 때 TiN 코팅의 밀착력을 1등급으로 판정한다. SKD11 시편의 밀착력 형상은 원의 중심을 기준으로 사선형태의 크랙이 생성되었고, 밀착력은 우수하였다.

Fig. 9 에서는 TiN 코팅 두께 측정을 위하여 코팅 표면에 구형 볼을 회전시켜 표면에 발생시킨 가공흔적을 사진으로 나타내었다. 두께 (t)의 계산식은 시편의 크기에 따라 다르지만 본 실험에서 사용된 시편의 크기인 Ø 20 mm 의해 a 와 b 를 측정 한 후 식 1에 의해 계산된다. 측정치 a = 5μm와, b = 85 μm 를 식 (1)에 대입한 결과 2.83μm의 코팅 두께가 계측되었다. TiN 코팅 두께는 2~3μm에서 우수한 내마모성 및 공구 수명을 유지하게 된다<sup>7</sup>.

$$t = \frac{100 ab}{15,000} \mu\text{m} \quad (1)$$

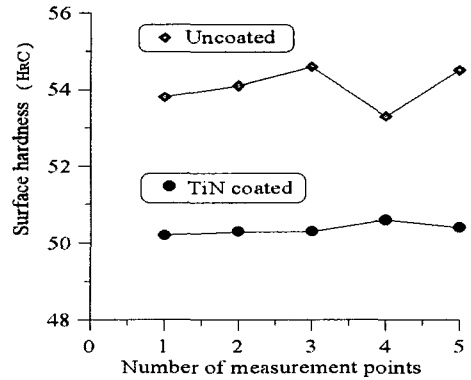


Fig. 7 Effect of TiN-coating on surface hardness

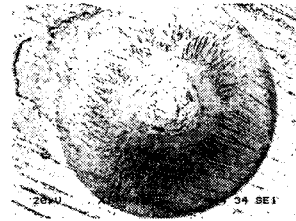


Fig. 8 Image of adsorption capacity of the SKD11 specimen (×140)

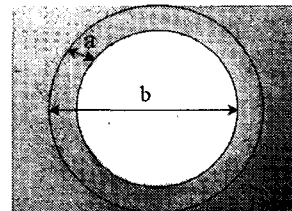


Fig. 9 Measurement of TiN coating layer thickness (×140)

##### 4.2 펀치의 TiN 코팅에 따른 베어링축의 표면 영향

냉간단조 작업 전에 수행하는 소재 표면에 대한 윤활처리는 공구와 피삭재의 마찰을 감소시켜 생산 제품의 품질과 공구 수명을 결정하는 매우 중요한 공정중의 하나이다. 일반적으로 냉간단조에서 사용되는 표면 윤활제의 약 80% 이상이 반고체 윤활제인 인산염피막을 사용하고 있다. 그 외에 분말이나 액상의 MoS<sub>2</sub> 윤활제 및 최근에 개발된 단조용 오일이 일부 품목에 사용되고 있다.

TiN 코팅, 비코팅 펀치를 사용한 자동차베어링축의 표면영향에 대한 평가를 위해 전처리 조건으로써, 인산염 및 MoS<sub>2</sub> 윤활제의 피막층은 20 $\mu$ m 로 표면 처리하였다.

자동차 베어링축 내경의 잔류 피막 층의 측정은 시편의 단면 상부 1mm를 절단하여 주사현미경으로 측정하였다. 내경의 표면조도 측정을 위해 Rank Taylor Hobson Surtronic 4+를 사용하고, 측정길이 4 mm, Cut-off 0.8 mm, 각 시편에 대하여 5점에서 측정하여 중심선 평균조도(Ra)값으로 나타내었다.

Fig. 10 은 비코팅 펀치를 사용한 후 베어링축 내경의 인산염피막 잔류 층을 나타내었다. 펀치의 외경과 마찰되는 베어링축 내경(a)의 인산염피막 잔류 층은 약 13 $\mu$ m, 하중을 받지 않는 외경(b)는 18.6 $\mu$ m 이었다. 비코팅 펀치의 냉간단조에서 인산염피막처리는 표면에서 크게 작용을 하지 않았음을 확인하였다.

Fig. 11 은 TiN 코팅 펀치를 사용한 후 베어링축 내경의 인산염피막 층을 나타내었다. 내경(a)의 인산염피막 잔류 층은 약 8 $\mu$ m, 외경(b)는 3 $\mu$ m 이었고, 펀치의 외경과 마찰되는 내경에서 서로 미세한 윤활 작용이 일어났음을 알 수 있었다. 그리고 하중을 받지 않은 외경(b)의 결과 값은 인산염피막 처리 시 균일하게 표면처리 되지 않은 것으로써, 본 실험에서는 외경(b)의 인산염 피막 잔류 층 값은 무시하였다.

Fig. 12 는 소재에 MoS<sub>2</sub> 윤활제를 표면처리 하여 TiN 코팅 펀치를 사용했을 때, 베어링축 내경의 잔류피막 층을 나타내었다. 내경(a)의 피막 층은 3 $\mu$ m, 외경(b)는 15 $\mu$ m의 잔류 층을 나타내었다. 펀치의 외경과 마찰되는 내경에서의 잔류피막 층의 결과 서로 활발한 윤활 작용이 일어났음을 알 수 있었다.

Fig. 13(a) 는 비코팅 펀치를 사용하였을 때, 제품의 외경 바닥부 표면에서는 하형 금형의 탄성력 때문에 Burr가 많이 발생하였다. Fig. 13(b) 는 TiN 코팅 펀치를 사용하였을 때의 제품의 표면에서는 Burr 현상은 발생하지 않았다.

Fig. 14 는 인산염피막, MoS<sub>2</sub> 윤활 처리된 피삭재에 TiN 코팅, 비코팅 펀치를 사용한 후의 베어링축 내경의 표면조도를 나타내었다. 측정결과 모두 1 $\mu$ m 이하의 표면조도 값을 나타내었고, TiN 코팅 펀치를 사용하였을 때 표면조도가 우수하였다.

Fig. 15 는 Table 4 의 냉간단조 조건에 따라 실

공정에 적용 한 후 펀치의 수명 관계를 나타내었다. 비코팅 펀치는 23,000 개, 코팅 펀치는 63,500 개의 공구수명을 유지하였다.

냉간단조용 펀치에 TiN 코팅 처리함으로써 제품의 표면조도 및 공구수명향상에 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

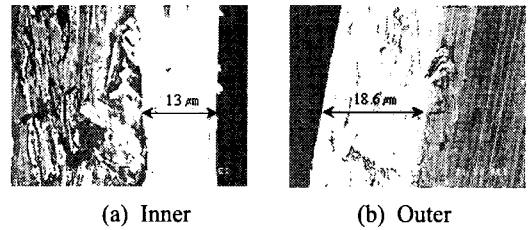


Fig. 10 Thickness of phosphate layer (on uncoated punch :  $\times 3,000$ )

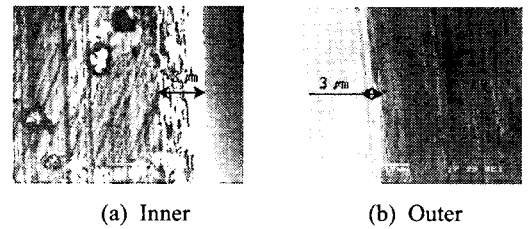


Fig. 11 Thickness of phosphate layer (on coated punch :  $\times 3,000$ )

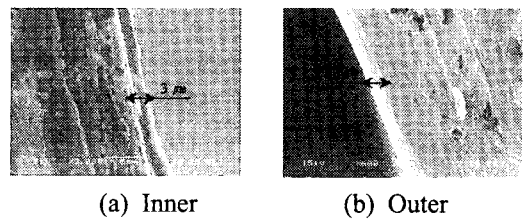


Fig. 12 Thickness of phosphate layer (on coated punch and MoS<sub>2</sub> treated :  $\times 3,000$ )

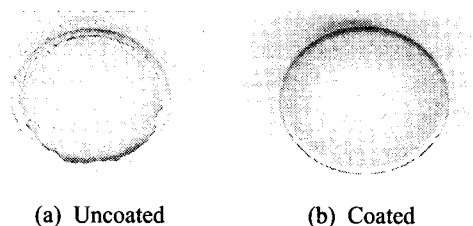


Fig. 13 Surface condition on uncoated and coated punch treated

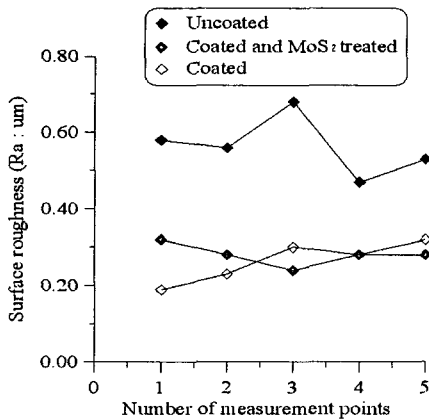


Fig. 14 Surface roughness of the punches, uncoated, coated and MoS<sub>2</sub> treated and coated

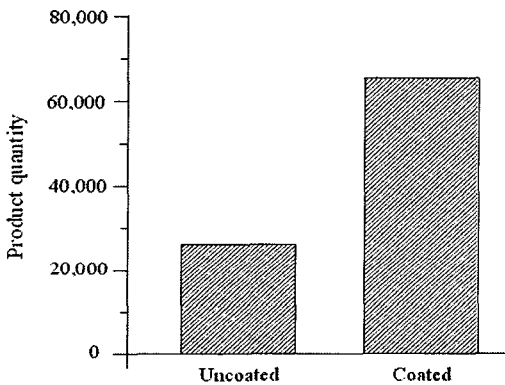


Fig. 15 Tool life of punches

### 5. 결론

냉간단조 공정에서 펀치의 TiN 코팅에 따른 자동차 베어링축의 표면에 미치는 영향에 관하여 실험적으로 고찰 한 후 다음의 결과를 얻었다.

1. 펀치의 소재로 사용되고 있는 SKD11 공구강의 코팅 후 표면경도가 4정도 감소하였고, SKD11공구강의 TiN 코팅 온도 특성은 450°C에서 2.83μm의 양호한 코팅 층 및 밀착력을 형성하였다.
2. TiN 코팅, 비코팅 펀치를 사용했을 때의 베어링축의 잔류 피막 층은 TiN 코팅 펀치가 피막 층이 적게 나타났고, TiN 코팅 펀치에 대한 인산염 피막처리에 따라 상호 원활한 윤활작용이 있음을 확인하였다.

3. 표면조도 측면에서는 TiN 코팅처리가 제품의 표면조도에 영향을 미치는 것으로 알 수 있었다. 그리고 실 가공공정을 통하여 TiN 코팅 처리된 펀치의 수명이 향상되었다.

### 참고문헌

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," expert verlag, Ehningen, 1989.
5. Pulker, H. K., "Wear and Corrosion resistant coating by CVD and PVD," expert verlag, Ehningen, 1989.
6. Tnshoff, K., MohMeld, A., Leyendecker, T., Fuss, H.G., Erkens, G., Wenke, R., Cselle, T., Schwenk, M., "Wear mechanisms of (Ti1-X,AlX)N coatings in drilling," Surface and Coatings Technology 94-95, pp. 603-609, 1997.
7. <http://www.balzers.co.kr>
8. Gu, C.W., Kim, H.S. and Lee, S.R., "Effect of Ti Interlayer on the Adhesion of TiN Thin Films Grown by PECVD," J. of the Korean Inst. of Met. & Mater., Vol. 30, No. 12, pp. 1438-1447, 1992.
9. Kim, J. S., "Tendency of PVD coating technology on Metal cutting tools," Journal of the Korean Society of Precision Engineering., Vol. 18, No. 8, pp. 11-17, 2001.