

## Ti(C,N) 코팅에 의한 SKD11강의 내마모성 개선 연구

박재용 · 김홍식  
재료금속공학부

### <요 약>

코팅층의 밀착력을 향상시킬 목적으로 SKD11강을 플라즈마 질화하여 질소 확산층을 형성하고, 그 위에 PACVD법으로 TiN 및 Ti(C,N)코팅층을 형성시키는 연구를 수행하였다.

PACVD공정에서 메탄(CH<sub>4</sub>) 가스의 유입량이 증가되면 코팅층 두께와 경도는 증가하는 경향을 보였지만 내마모성은 감소하는 경향을 보였다. 메탄(CH<sub>4</sub>) 가스의 유입량이 2vol.% 일 때 최대 임계박리 하중은 54N을 얻을 수 있으며 이때 코팅층의 두께는 2 $\mu$ m이고 경도는 650Hv(50g 하중)이다. Ti(C,N)코팅층의 탄소와 질소 농도는 표면쪽에는 탄소가, 코팅층과 소재사이 경계면에는 질소의 농도가 높은 즉, 농도가 경사진 코팅층이 형성되었다.

Ti(C,N)코팅층의 경도와 임계박리 하중은 PACVD공정중의 템퍼링 효과 때문에 SKD11강의 템퍼링 온도에 무관하며 SKD11강의 표면조도는 코팅층의 조도, 경도 및 내마모성에 영향을 주지 않았다.

## Preliminary Study on Ti(C,N) Coating for Wear Resistance of SKD11 Tool Steel

Jae-Yong Park · Heung-Shik Kim  
School of Materials and Metallurgical Engineering

### <Abstract>

The formation and characterization of TiN or Ti(C,N) coatings on SKD11 tool steel nitrided prior to the coating layer formation for the strengthening of adhesive properties of coatings have been conducted. The thickness and hardness of the coatings increased with the increase of methane(CH<sub>4</sub>) gas flow rate. However, wear properties of the coating were impaired by the increase of methane(CH<sub>4</sub>) gas flow rate. Maximum

critical excoriation load of 54N for the Ti(C,N) coating was obtained with the methane(CH<sub>4</sub>) gas flow rate of 2 vol.%. The thickness and hardness of the coating layer formed at this methane(CH<sub>4</sub>) flow rate were 2 $\mu$ m and 1650Hv(with the load of 50g) respectively.

The concentration of carbon and nitrogen was graded from the outer surface of the coating to the coating/alloy interface. Concentration of carbon was higher at the outer surface of the coating and the nitrogen concentration was higher at the interface.

The hardness and critical excoriation load of the Ti(C,N) coating was not dependant on the surface roughness and tempering temperature of SKD11 steel prior to the coating layer formation.

## 1. 서 론

TiN, Ti(C,N)피막은 높은 경도, 화학적 안정성 및 미려한 색상으로 금형의 내마모성 및 각종 공구류의 피복재와 장식 용도의 기능성 피복 재료로도 많은 관심의 대상이 되고 있다(1).

TiN 박막의 두께, 표면조도 및 밀착력 등이 내마모성과 밀접한 관계가 있으며 이온 증착시의 화학적 조성변화와 기계적 특성변화가 내마모성을 증가시키는 것으로 보고되고 있다(2,3).

또한 TiC, (Ti,Al)N, (Ti,Al)C, Ti(C,N)층을 PACVD로 증착후 코팅층의 조성과 구조를 연구하여 경도를 Al과 C의 변화에 따라 다양하게 변화시킬수 있다는 연구와 TiC 및 TiN 층에 C와 O가 혼재시 마찰계수와 경도가 급격히 감소한다는 연구 보고가 있다(4). TiC, (Ti,Al)N, (Ti,Al)C, Ti(C,N)의 Multilayer를 형성하므로써 내마모성이 증대되고, 고속도 공구강에 CAPD(Cathodic Arc Plasma Deposition)와 PACVD(Plasma-Assisted Chemical Vapour Deposition)로 형성시킨 TiN, TiC film이 내마모성과 내식성을 증가시킨다는 연구가 있다(6). 또한 304 Stainless steel에 PACVD법으로 TiN 코팅층 형성시 내식성이 다소 떨어짐에 따라 SiO<sub>x</sub>를 재증착하여 내식성을 향상시킨 연구 등이 보고되고 있다(7).

그리고 Stvpen등(8)은 스테인레스강 위에 증착한 Ti코팅층은 모재위에 형성된 산화물과의 결합력이 강하여 밀착력이 증가한다는 연구 보고를 발표하였고, Helmersson등(9)은 HSS에 Ti중간층을 증착하여 TiN 박막의 밀착력을 증가시킨 연구 보고를 발표하였다. U.Muller등(10)은 HSS강에 DLC(Diamond-like carbon), TiN, TiC, 크롬(Cr)코팅의 특성을 비교 연구한 결과 DLC의 경우 경도(6000Hv)와 내열성 및 전기전도성이 우수하며 마찰계수 역시 0.05~0.01정도로 매우 낮아 내마모성이 월등함을 보고하였다. 또한 PACVD법은 전자산업 분야에서 산화물(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, 탄화물(SiC, TiC) 및 질화물(BN, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, TiN)등의 증착에 성공적으로 적용되고 있다(11).

본 연구에서는 Plasma Nitriding과 Ti(C,N)코팅을 동시에 수행할 수 있는 Universal Apparatus를 이용하여 SKD11강에 밀착력을 향상시킬 것으로 예측되는 질소 확산층을 형성시키고, 이 확산층 위에 TiN, Ti(C,N)층을 코팅시켜 SKD11강의 내마모성을 향상시키고자 하며 SKD11강의 템퍼링 온도 및 코팅처리 공정에서 메탄(CH<sub>4</sub>)의 유입량이 코팅층의 두께, 화학조성, 경도 및 내마모성에 미치는 영향을 비교 분석하고자 한다.

## 2. 실험방법

### 2.1 시편준비 및 열처리

본 실험에 사용된 시편은 금형 공구강인 SKD11강으로 그 화학적 조성은 Table 1에 나타내었다. 시편의 크기는 두께 6mm, 폭과 높이가 각각 16mm크기로 기계 가공하였으며 정도와 내마모성을 향상시키고 금형 공구강으로서 갖추어야 할 기계적 성질을 부여하기 위하여 500℃ 템퍼링 및 180℃ 템퍼링으로 차별화하여 그 특성을 알아보고자 하였다. 열처리를 행한 다음 탈탄층을 제거하기 위하여 기계 연마하였으며 #220, #600, #1000의 Sand Paper로 표면 조도를 달리한 후 아세톤 및 에틸알코올에서 각각 20분간 초음파 세척하여 시편 표면의 불순물을 제거한 후 사용하였다.

Table 1 Chemical Composition of SKD11 tool steel(Wt. %).

C	Si	Mn	P	Cr	Mo	V	S	Fe
1.45	0.16	0.45	0.01	11.5	1.20	0.25	0.01	bal.

### 2.2 질화 및 TiN, Ti(C,N) 코팅처리

본 실험에 사용된 PACVD(Plasma-Assisted Chemical Vapour Deposition)장치는 Plasma Nitriding과 코팅을 동시에 할 수 있는 Universal Apparatus장치로서 처리 가능한 항목은 Nitriding, TiN, TiCN, TiAlN, DUPLEX, Multicoating 등이며 최고 처리온도는 650℃, 용적은  $\phi 600\text{mm} \times \text{H}900\text{mm}$ , 최대 장입량은 630Kg이고, 피처리물을 음극으로 노체를 양극으로 하였다.

이온 질화처리시 질소, 수소의 혼합가스 분위기속에서  $\text{N}_2$  가스량이 많게되면 표면에 백색의 화합물층이 생성되어 처리품의 물성 저하가 예상되므로 화합물층을 생성하지 않는 가스조성으로 하기 위하여 가스비율을 20% $\text{N}_2$ -80% $\text{H}_2$ , 가스 압력을 5Torr, 처리온도를 490℃ 그리고 처리시간은 3시간으로 조정하여 질화처리를 실시하였고, TiN 및 Ti(C,N)코팅은  $\text{TiCl}_4$  1vol.%와 메탄( $\text{CH}_4$ )를 2vol.% 및 4vol.%로 구분하여 TiN 및 Ti(C,N)코팅층의 성막특성을 알아보고자 하였다.

즉, Table 2와 같은 코팅조건으로 Nitriding, TiN, Ti(C,N)의 박막을 피복하였으며, 질화 및 코팅 공정은 Pumping down  $\rightarrow$  Heating up  $\rightarrow$  Sputtering  $\rightarrow$  Nitriding  $\rightarrow$  TiN, TiCN coating의 공정순으로 실시하였다.

Table 2 Nitriding and Coating Condition.

		Sputtering	Nitriding	TiN	TiCN-1	TiCN-2
Gas (Vol%)	H <sub>2</sub>	87	80	76	74	73
	N <sub>2</sub>		20	14	14	13
	Ar	13		9	9	9
	CH <sub>4</sub>				2	4
	TiCl <sub>4</sub>			1	1	1
Power(W)				650		
Voltage(V)		500	450	420		
Pressure(mbar)		4	4	2		
Pulse discharge time( $\mu$ s)		20	50	150		
Pulse pause time		600	200	300		
Temperture( $^{\circ}$ C)		460	490	500		

### 2.3 코팅층의 물성 평가

플라즈마 화학증착된 (PACVD) TiN 및 Ti(C,N)코팅층은 X-선 회절분석기(XRD, RIGAKU, D/Max-B)로 상들을 확인하였으며, 코팅층의 표면 및 단면형상은 주사전자현미경(SEM, JEOL, JSM-820)으로 관찰하였다. 코팅층의 경도는 마이크로비커스 경도기로 하중을 변화시키면서 측정하였고, 코팅층의 내마모성은 코팅층의 임계박리하중을 Scratch Test기를 이용하여 측정 평가하였다. 한편, 피복 전후의 표면조도 양상을 3차원 조도 측정기를 이용하여 Ra값과 Rmax 및 표면형상을 관찰하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 메탄(CH<sub>4</sub>) 유입량이 코팅층의 두께와 화학성분에 미치는 영향

플라즈마 질화에 의하여 두께 약 25 $\mu$ m의 질소 확산층을 형성시킨 SKD11 금형 공구강에 질소와 TiCl<sub>4</sub>를 일정량 가스 상태로 공급하고 메탄(CH<sub>4</sub>)의 유입량을 변화시켜 금형 공구강 표면에 TiN 또는 Ti(C,N)을 코팅하였다.

PACVD(Plasma-Assisted Chemical Vapour Deposition)처리 공정에서 메탄(CH<sub>4</sub>)의 유입량이 코팅층의 두께에 미치는 영향을 알아보기 위하여 코팅처리한 SKD11강의 단면을 주사전자현미경으로 관찰한 결과를 Fig. 1에 보였다. 메탄(CH<sub>4</sub>)을 주입하지 않았을 경우에는 코팅층 두께가 약 1.5 $\mu$ m이었고, 메탄을 2vol.%, 4vol.% 주입하였을 경우에는 코팅층의 두께가 각각 2 $\mu$ m, 2.5 $\mu$ m로서 메탄 주입량을 증가시키면 코팅층의 두께가 증가하였다.

메탄을 주입하지 않았을 경우에는 Fig. 2의 XRD peak에 보인 바와 같이 코팅층은 TiN이었으며 질소 확산층에는  $\epsilon$ 상(Fe<sub>2-3</sub>N)의 질소 화합물이 다량 검출되었다. 메탄을 2vol.% 주입하였을 경우에는 Fig. 3의 XRD peak에 보인 바와 같이 코팅층은 Ti(C,N)이었다. EPMA 분석에 의하면 코팅층의 바깥에는 탄소 농도가 높고, 코팅층과 소재의 경계면에는 질소의 농도가 높은 즉, 탄소와 질소의 농도가 경사되어 있음이 확인되었으며 질소 확산층에는  $\epsilon$ 상(Fe<sub>2-3</sub>N)이 약간 검출되었다. 메탄을 4vol.% 주입하였을 경우에는 Fig. 4의 XRD peak에 보인바와 같이 메탄을 2vol.% 주입한 경우와 유사하게 코팅층은 Ti(C,N)이었으며 코팅층 바깥은 탄소 농도가 높고 코팅층 내부에는 질소 농도가 높았다.

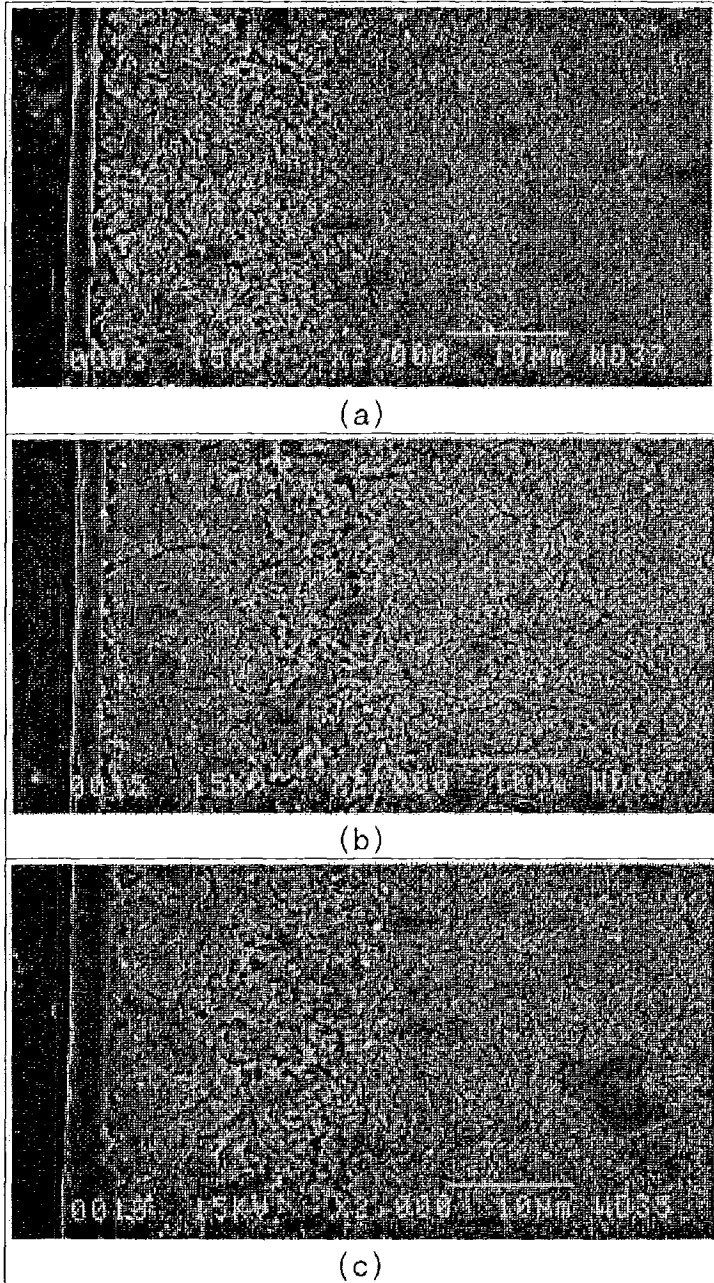


Fig. 1. Cross sectional view of TiN or Ti(C,N) coated SKD11 tool steel : (a)without  $\text{CH}_4$ (TiN), (b)2vol.%  $\text{CH}_4$ (TiCN-1), (c)4vol.%  $\text{CH}_4$ (TiCN-2).

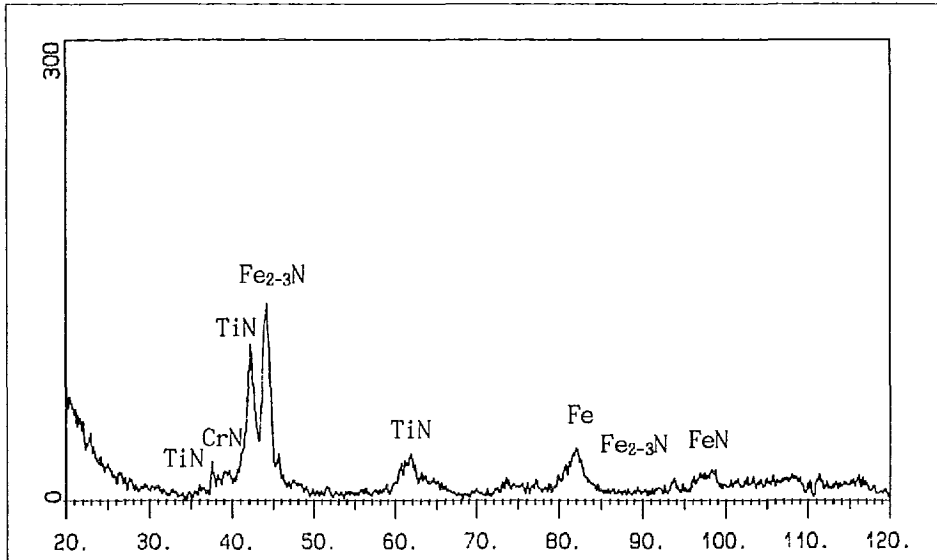


Fig. 2. X-ray peaks from TiN coating layer formed on SKD11 steel.

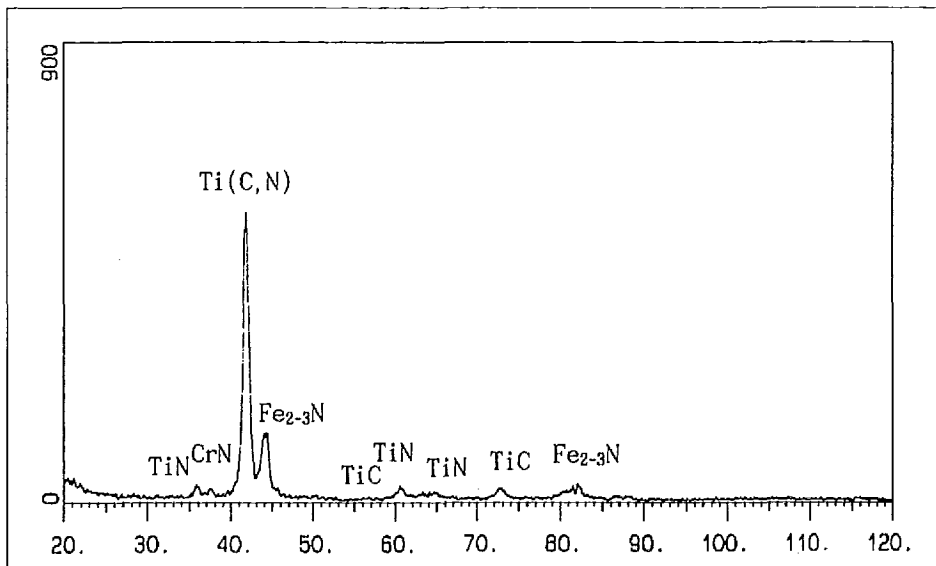


Fig. 3. X-ray peaks from TiCN-1 coating layer formed on SKD11 steel.

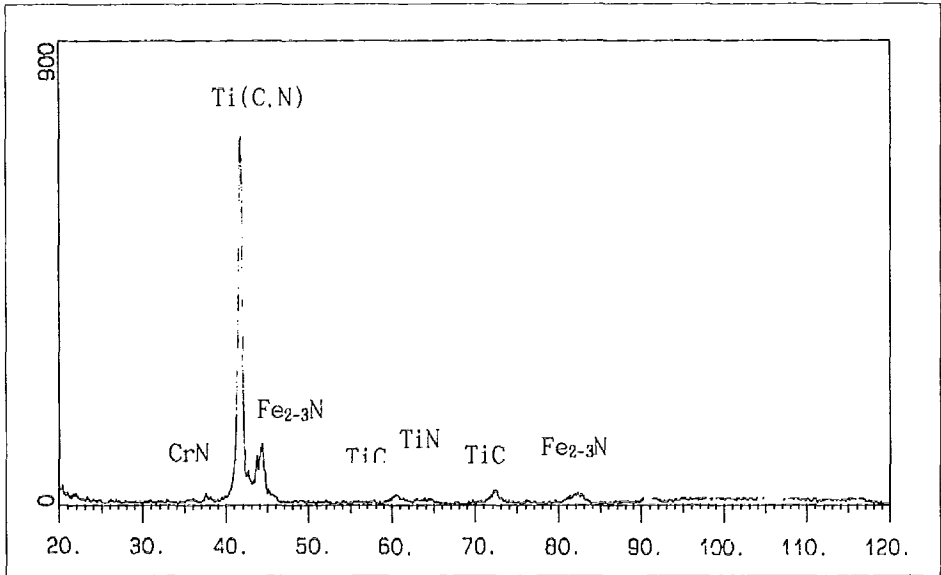


Fig. 4. X-ray peaks from the TiCN-2 coating layer formed on SKD11 steel.

### 3.2 메탄(CH<sub>4</sub>) 유입량이 코팅층의 경도와 내마모성에 미치는 영향

코팅층의 표면 경도를 여러 가지 하중 즉, 50g에서 1000g까지 측정하여 Fig. 5에 보였다. 그림에 보인바와 같이 사용한 하중이 증가함에 따라 경도가 감소한 이유는 코팅층의 두께가 얇기 때문이며 하중 1000g에서는 모든 코팅층의 경도가 거의 같은 값을 보였다. 하중 50g에서 코팅층의 경도가 가장 높았고 코팅층들의 경도 차이도 가장 컸다. 메탄을 유입하지 않아 두께 1.5 $\mu$ m TiN층이 형성된 경우에는 하중 50g에서 약 1400Hv으로 경도가 가장 낮았고 메탄을 2vol.% 유입하여 형성한 두께 2.0 $\mu$ m Ti(C,N) 코팅층(TiCN-1)의 경도는 하중 50g에서 약 1650Hv이었으며 메탄을 4vol.%로 가장 많이 유입하여 형성한 두께 2.5 $\mu$ m Ti(C,N) 코팅층(TiCN-2)의 경도가 하중 50g에서 약 1780Hv으로 가장 높았다.

TiN 또는 TiCN 코팅처리한 SKD11강 단면의 마이크로 경도는 하중 100g으로 측정하여 Fig. 6에 보였다. 코팅층의 표면 경도는 TiCN-2코팅층이 약 1520Hv으로 가장 높았고 TiN 코팅층이 약 1300Hv으로 가장 낮았다. 코팅층 바로 아래의 경도 즉, 깊이 10 $\mu$ m까지는 코팅층의 영향을 직접 받아서 TiCN-2코팅층의 경도가 가장 높았으며, TiCN-1과 TiN코팅층 경도는 깊이 10 $\mu$ m에서 약 1000Hv으로서 동일한 값을 보였다. 깊이 15 $\mu$ m 이상에서는 코팅층의 영향이 사라지고 질소 확산층의 경도만이 측정되기 때문에 코팅층의 종류에 무관하게 동일한 경도를 보였으며 표면으로부터의 거리가 증가함에 따라 경도는 서서히 감소하여 깊이 25 $\mu$ m이상에서는 모재경도 약 785Hv로서 일정한 값에 도달하였다.

이와 같이, 코팅층의 경도는 메탄(CH<sub>4</sub>)을 유입하지 않은 두께 1.5 $\mu$ m인 TiN 코팅층이 형성된 경우가 하중 100g에서 약 1300Hv으로 가장 낮은 값을 보였고, 메탄을 2vol.% 유입하



여 두께  $2.0\mu\text{m}$  Ti(C,N)층이 형성된 TiCN-1의 경우엔 하중 100g에서 약 1400Hv이었으며, 메탄을 4vol.% 유입하여 두께  $2.5\mu\text{m}$  Ti(C,N)층이 형성된 TiCN-2의 경우가 하중 100g에서 약 1520Hv으로 코팅층의 경도가 가장 높은 값을 보였다.

코팅층의 내마모성을 알아보기 위하여 코팅층에 스크래치 시험(Scratch Test)을 실시하여 코팅층의 임계박리 하중(Critical Excoriation Load)의 결과를 Fig. 7에 보였다. 그림에 보인바와 같이 TiN코팅층은 임계하중이 12N으로서 가장 낮은 값을 보여 내마모성이 가장 열등하였고, TiCN-1코팅층은 54N으로서 TiCN-2코팅층의 48N보다 더 큰 임계하중을 보여 TiCN-1코팅층의 내마모성이 가장 우수함을 알 수 있었다.

이상과 같이 메탄을 가장 많이 유입시켜 형성한  $2.5\mu\text{m}$ 의 TiCN-2코팅층은 메탄을 2vol.% 유입시켜 형성한  $2.0\mu\text{m}$ 의 TiCN-1코팅층 보다 코팅층의 두께가 더 두껍고 경도 역시 하중100g에서 TiCN-2코팅층은 약 1520Hv으로 TiCN-1코팅층의 약 1400Hv보다 크지만 임계하중은 TiCN-1이 54N인 반면 TiCN-2는 48N으로 내마모성은 TiCN-1이 더 우수하였다.

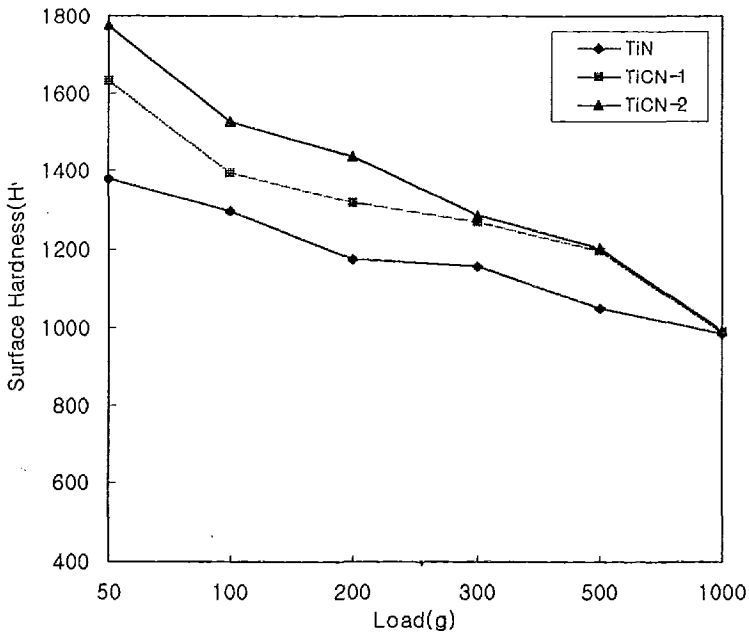


Fig. 5. Effect of load on the hardness of TiN, TiCN-1(2vol.%  $\text{CH}_4$ ), TiCN-2(4vol.%  $\text{CH}_4$ ) coating layer formed on SKD11 steel.

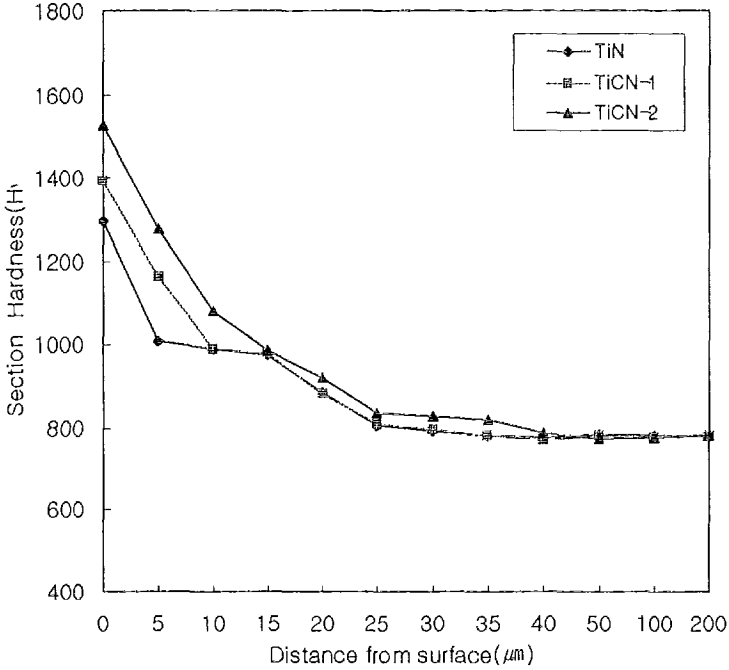


Fig. 6. Hardness profiles on the cross section of TiN, TiCN-1, TiCN-2 coating layer formed on SKD11 steel.

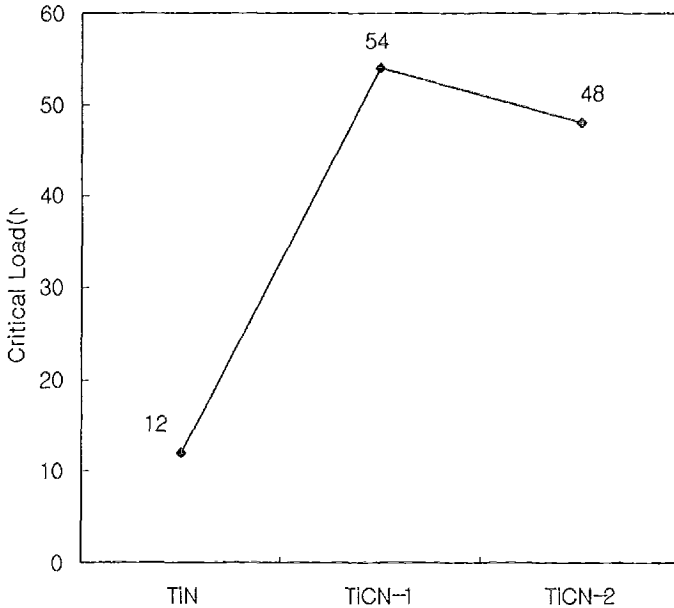


Fig. 7. Effect of Methan ratio on critical load for the exfoliation of TiN, TiCN-1 and TiCN-2 coating layer formed on SKD11 steel.

### 3.3 SKD11강의 템퍼링이 Ti(C,N) 코팅층의 경도와 내마모성에 미치는 영향

SKD11 금형공구강을 PACVD공법으로 Nitrogen Diffusion 또는 Ti(C,N)코팅을 실시하기 전에 내마모성과 밀착력을 향상시키기 위하여 소재를 1080℃에서 퀘칭시킨 후 저온 템퍼링(180℃)과 고온 템퍼링(500℃)을 실시하였다.

Fig. 8은 템퍼링 온도에 따른 경도 측정결과로서 저온 템퍼링의 경우에는 약 725Hv이고, 고온 템퍼링의 경우엔 약 785Hv로서 고온 템퍼링시 저온 템퍼링시 보다 경도가 더 높았다. 이와 같이, 고온 템퍼링시 더 높은 경도를 나타낸 이유는 SKD11강은 탄소가 약 1.4% 고탄소 합금공구강이므로 퀘칭 처리후 오스테나이트가 30~40%정도 잔류하고 있어서 템퍼링 온도가 증가할수록 잔류 오스테나이트가 마르텐사이트로 변태하여 2차 경화현상을 보이기 때문이다.

TiCN-1과 TiCN-2 코팅처리를 한 SKD11강의 단면에 대한 경도 분포를 Fig. 9와 Fig. 10에 보였다. 그림에 보인 바와 같이 코팅층에서 확산층까지의 경도가 SKD11강의 템퍼링 열처리에 무관하게 동일한 경도 분포를 보이고 있으며 확산층 하부에 있는 SKD11 모재의 경도 차이도 약 10~30Hv 정도로서 큰 차이를 보이지 않았다. 이는 Nitrogen Diffusion 및 Ti(C,N)코팅시 500℃에서 7시간 동안 코팅 처리하였으므로 코팅처리중 템퍼링효과로 열처리 변화에 따른 코팅층과 확산층의 특성변화는 나타나지 않음을 알 수 있었다.

Fig. 11은 SKD11 금형공구강의 템퍼링 온도에 따른 코팅층의 내마모성을 알아보기 위하여 코팅층에 스크래치시험(Scratch Test)을 실시하여 코팅층이 박리되는 임계 하중을 측정한 결과이다. 템퍼링 온도가 180℃에서 500℃로 증가함에 따라 2vol.% 메탄에서 임계박리 하중이 51N에서 54N로 약간 증가하였고, 4vol.% 메탄에서도 46N에서 48N로 약간 증가하는 경향을 나타내었으나 그 차이는 적었다.

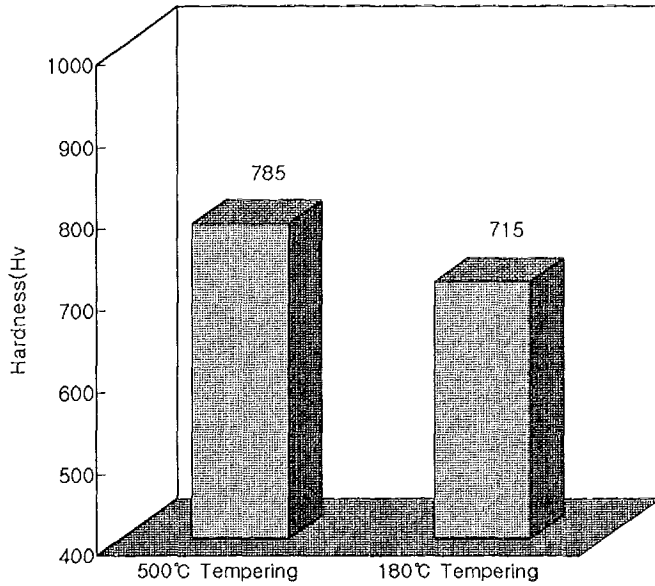


Fig. 8. Effect of tempering temperature on hardness of SKD11 steel(load:50kg).

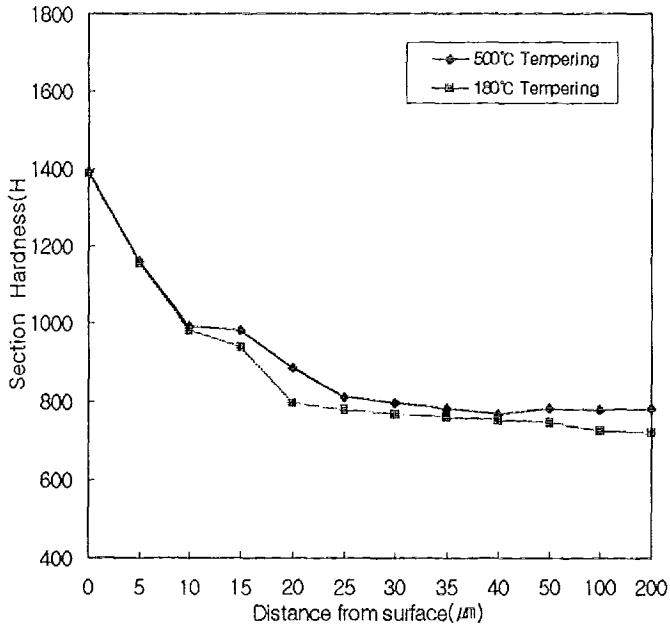


Fig. 9. Effect of tempering temperature on section hardness of TiCN-1 (2vol.% CH<sub>4</sub>) coating layer formed on SKD11 steel(load:50kg)

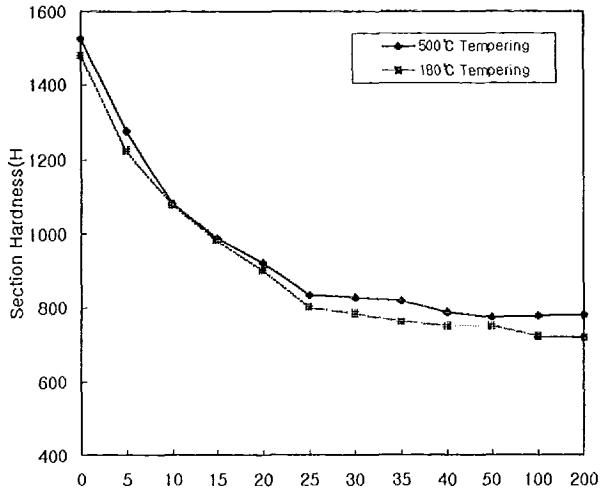


Fig. 10. Effect of tempering temperature on section hardness of TiCN-2 (4vol.% CH<sub>4</sub>) coating layer formed on SKD11 steel(load:50kg)

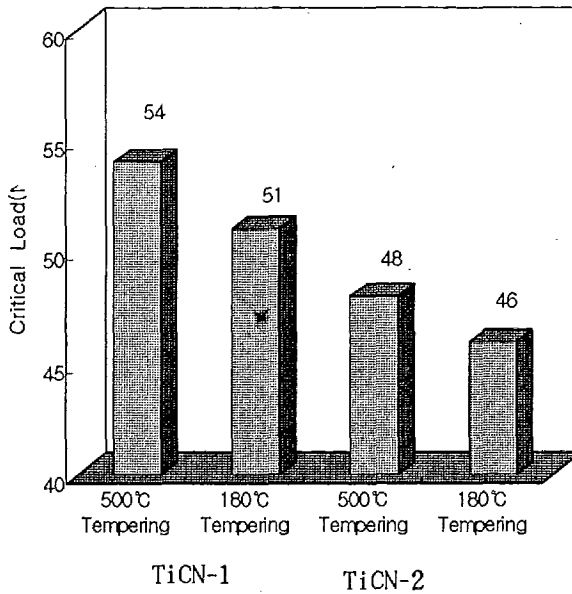


Fig. 11. Effect of tempering temperature on critical load for the excoriation of TiCN-1 and TiCN-2 coating layer formed on SKD11 steel.

### 3.4 초기조도가 코팅층의 조도, 경도 및 내마모성에 미치는 영향

#### (1) 코팅층의 조도 변화

SKD11 금형공구강을 PACVD법으로 TiN 및 Ti(C,N)코팅층 형성시 표면조도변화 양상을 관찰하기 위하여 3차원 영상으로 표면조도별 및 피막 처리별로 평균조도값(Ra)과 최대조도값(Rmax)을 측정하였다.

SKD11강을 200, 600 및 1000 mesh의 sand paper로 연마(Polishing)하므로써 표면조도를 차별화한 후에 PACVD법에 의하여 TiN, Ti(C,N)코팅 처리를 하였다. 이때 나타난 표면조도 변화는 Fig. 12 및 Fig. 13과 같이 평균 거칠기값과 최대 거칠기값이 코팅 처리시 월등히 fine함을 알 수 있었다. 경면 형성후 TiN 혹은 Ti(C,N)처리시 표면 거칠기가 커지는 것이 일반적인 양상이나 TiN 및 Ti(C,N)코팅의 경우 fine해진 이유는 피막 형성 원료를 질소와  $TiCl_4$  및 메탄( $CH_4$ )가스 상태로 공급하는 PACVD법을 적용하였으므로 Mesh폴 사이에 이들 가스들이 증착하면서 표면 조도가 균질해진 것으로 판단된다.

#### (2) SKD11강의 초기조도가 코팅층의 경도와 내마모성에 미치는 영향

조도 차이에 따른 경도변화 분포와 내마모성을 마이크로비커스 경도기와 스크래치시험(Scratch Test)을 통하여 경도 및 임계하중값을 측정하였다. 조도차이에 따른 코팅층의 경도는 하중 50kg에서 측정한 결과 TiN층은 1316~1381Hv, TiCN-1층은 1444~1631Hv, TiCN-2층은 1660~1776Hv으로서 초기조도가 코팅층의 경도에 미치는 영향은 거의 없었다.

코팅층의 조도변화에 따른 내마모성을 알아보기 위하여 스크래치시험(Scratch Test)을 통하여 도금박리 임계하중을 측정한 결과를 Fig. 14에 보였다. 그림에서 보인바와 같이, TiN코팅층의 임계하중은 Mesh 200에서 10N이고 1000에서 12N을 나타내었고, TiCN-1의 경우 Mesh 200 및 1000에서 각각 52N과 54N을 나타내어 TiCN-2의 46N과 49N보다 높은 임계하중값을 나타내었는데, 이는 TiCN-2의 코팅층이 TiCN-1의 코팅층보다 두껍고 경도가 높으며 내부 응력이 크기 때문일 것으로 추정된다. 지금까지 일반적인 연구 자료들에서 나타난 임계하중값은 TiN의 경우에는 8~12N, Ti(C,N)의 경우에는 20~40N이었으며, 본 실험에서는 TiN의 경우 기존과 유사하게 나타났고, Ti(C,N)의 경우에는 다소 높게 나타남을 알 수 있었으며, 조도에 따른 임계하중값은 변화가 거의 없음을 확인하였다.

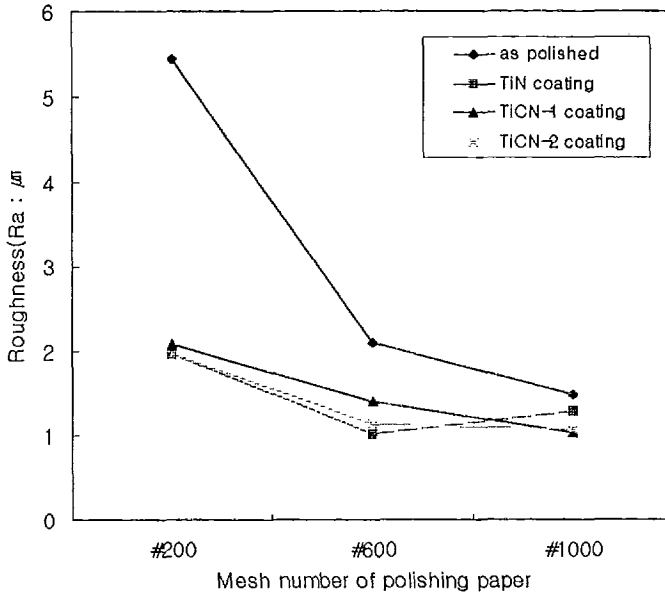


Fig. 12. Average surface roughness of TiN, TiCN-1 and TiCN-2 coating layers formed on SKD11 steel polished with various meshed sand paper.

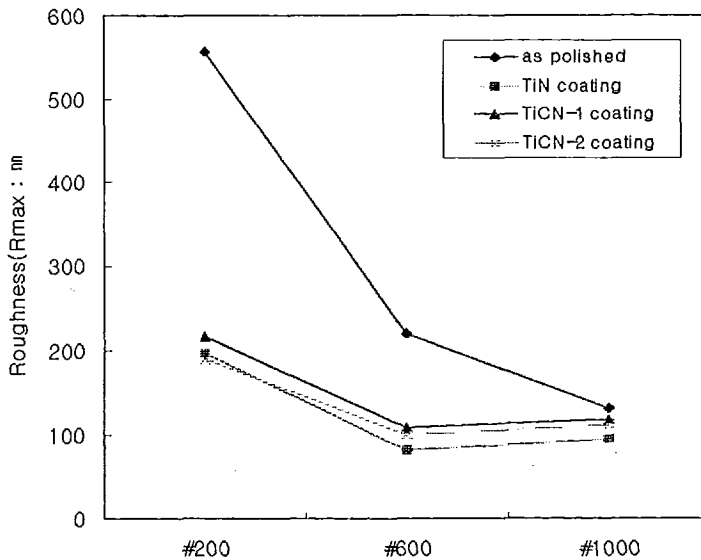


Fig. 13. Maximum surface roughness of TiN, TiCN-1 and TiCN-2 coating layers formed on SKD11 steel polished with various meshed sand paper.

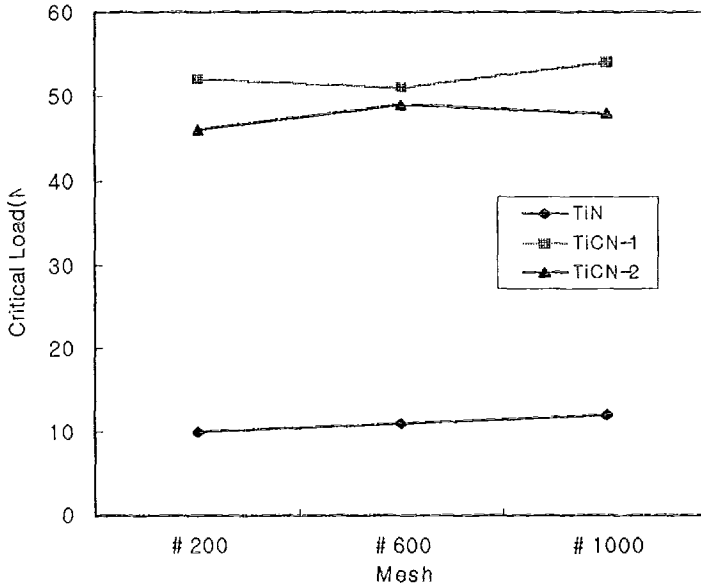


Fig. 14. Effect of as polished roughness on critical load for the excoriation of TiN, TiCN-1 and TiCN-2 coating layer formed on SKD11 steel.

#### 4. 결 론

SKD11 금형공구강을 490℃, 20% $H_2$ -80% $N_2$  혼합 가스에 3시간 동안 플라즈마 질화하여 SKD11강 표면에 질소 확산층을 형성시키고 그 위에 질소,  $TiCl_4$  및 메탄( $CH_4$ )을 유입시켜 500℃에서 7시간 PACVD법으로 TiN 또는 Ti(C,N) 코팅층을 형성시킬 때 SKD11강의 텀퍼링 온도 및 메탄( $CH_4$ ) 가스의 유입량이 코팅층의 두께, 화학성분, 경도 및 내마모성에 미치는 영향을 분석한 결과 아래와 같은 결론을 얻었다.

- (1) 메탄( $CH_4$ ) 가스의 유입량을 증가시키면 Ti(C,N)코팅층의 두께와 경도는 증가하지만 임계박리 하중은 감소하는 경향을 보였다. 즉, 메탄( $CH_4$ ) 가스의 유입량이 2vol.%일 때 최대 임계박리 하중 54N을 얻을 수 있었으며 이때 코팅층의 두께는  $2\mu m$ 이었고 경도는 50g하중에서 약 1650Hv이었다.
- (2) Ti(C,N)코팅층 표면에는 탄소농도가 높고 코팅층과 모재 사이의 경계면에는 질소농도가 높아 탄소와 질소의 농도가 경사진 Ti(C,N)코팅층이 형성되었다.
- (3) Ti(C,N)코팅층의 경도와 임계박리 하중은 SKD11강의 텀퍼링 열처리 온도에 거의 영향을 받지 않았다. 그 이유는 질소 확산층과 코팅층 형성시에 500℃에서 7시간 이상 유지하므로써 고온 텀퍼링 효과를 주기 때문인 것으로 생각된다.
- (4) SKD11강의 초기 표면조도를 변화시켜도 코팅층의 조도, 경도 및 내마모성은 영향을 받지 아니하였다.



## 참고문헌

- [1] R. Buhi, H. K. Pulker and E. Moll ; Thin Solid Films 80, 265(1981).
- [2] K. Holnberg, A. Mathews ; Thin Solid Films, 253, 173-178(1994).
- [3] L. F. Senna, C. A. Achete, T. Hirsch, F. L. Freire Jr : Surface and Coating Technology 94~95 390~397(1997).
- [4] K. Bartsch, A. Leonhardt, U. Langer, K. Kunanz : Switzerland 1997 Surface and Coating Technology 94~95,(1~3) 168~173(1997).
- [5] K. T. Rie, A. Gebauer, J. Wohle, H. K. Tonshoff : Switzerland 1995 Surface and Coating Technology 74,(1~3) 375~381(1995).
- [6] F. Arrando, M. C. Polo, P. Molera, J. Estere : Switzerland Surf. Coat. Technol. 68/69 536~540(1994).
- [7] Y. Miyamoto, Y. Kubo, N. Ono, M. Hashimoto, T. Takahashi : Switzerland 1995 Thin Solid Films 270,(1~2) 253~259(1995).
- [8] M. Van Stappen, B. Malliet, L. De cheppen, L. M. Stalx, J. P. Celies and J. R. Roos, Surf. Eng., 4, 30(1989).
- [9] V. Helmersson, B. O. Johansson and J. E. Sundgren, H. T. G. Hentzell, P. Billgren, J. Vac. Sci. Technol., Aj(2) 309(1985).
- [10] U.Muller, R. Hauert, M. Tobler : Switzerland 1997 Oberflächen Werkstoff/Surfaces Matériaux38,(4) 8~15(1997).
- [11] N. J. Archer : Surfacing J.14,(1) 8-12(1983).
- [12] K. T. Rie and A. Gebauer, Mater. Sci. Eng., a1139,61(1991).