

## 구름접촉을 하는 분말고속도공구강의 X선을 이용한 표면성상해석

이한영<sup>†</sup> · 김용진\* · 배종수\*

계명대학교 재료공학과, \*한국기계연구원 재료연구부

### Analysis of Rolling Contact Surface on PM-High Speed Steel by X-ray Diffraction

Han-Young Lee<sup>†</sup>, Yong-Jin Kim\* and Jong-Soo Bae\*

Department of Materials Engineering, Keimyung University, Daegu, Korea

\*Materials Tech. Dept., Korea Institute of Machinery and Materials, Changwon, Korea

**Abstract** – Recently, PM-high speed steel(PM-HSS) has reportedly been a good alternative material for rolling mill because of its superior performance to conventional HSS. This paper has been aimed to investigate the possibility for application to rolling contact element for PM-HSS by X-ray diffraction technique. The X-ray elastic constant for PM-HSS has been found by X-ray diffraction during the four-point bending test. Residual stress and half-value breadth on the contact surface during rolling contact fatigue process by X-ray diffraction have also been measured. The result of this study shows that the application of X-ray diffraction technique to PM-HSS could be as possible alternative material as conventional HSS. Half-value breadth on rolling contact surface by X-ray diffraction is not changed during rolling contact fatigue process. On the other hand, the residual stress is changed. This suggests that dislocation reaction has been hardly occurred in rolling contact, depending on super-saturated carbon in PM-HSS.

**Key word** – PM-High speed steel, x-ray diffraction, rolling contact, residual stress, half-value breadth, x-ray elastic constant.

#### 1. 서 론

철강제조기술의 발전은 압연기술의 발전과 밀접한 관계가 있고 압연기술의 발전을 위해서는 고성능의 압연 roll의 제조기술이 필수 요건이다. 열간압연 roll에 요구되는 성질은 내마모성, 내surface deteriorations성, 내thermal cracking성 등이 알려져 있으나 현재 압연기의 추세가 대형화, 고속화, 고부하화 등임을 감안한다면 압연 roll의 사용조건은 점점 가혹해 지는 상황으로 이에 대응할 수 있는 고성능 압연 roll의 개발이 시급하다 할 수 있다.

고속도공구강은 W, Mo, Cr, V, Co 등의 합금원소를

다량으로 함유한 고급합금강으로 고온에서 소입한 후 고온tempering을 행하면 다량의 미세한 탄화물이 석출하여 고경도이면서 우수한 고온내구성을 나타내므로 기존의 열간 압연용 고Cr주철 roll의 대체재료로써 주목을 받고 있다[1]. 현재 이러한 고속도공구강은 주조법으로 제조하고 있으나 이 경우 석출되는 탄화물의 성상제어가 곤란하고 열처리 등이 어려운 것으로 알려져 있다. 그러나 최근 분말야금기술에 의해 제조된 고속도공구강은 이러한 문제점 해결은 물론 동일한 조성이라도 주조법에 의한 것보다 기계적 성질이 우수한 것[2]으로 밝혀지면서 고성능 압연 roll의 소재로의 적용가능성이 기대 될 뿐만 아니라 이미 그 적용 가능성을 확인하고 있다[3].

실제 압연 roll은 영구히 사용할 수 있는 것이 아니

<sup>†</sup>주저자 · 책임저자 : lhy@kmu.ac.kr

다. 이것은 사용중 구름접촉피로가 축적되어 표면에 여러 형태의 손상이 발생하기 때문이다. 만일 사용중 표면손상이 발생하면 인명 및 생산공정상에 많은 차질이 생기므로 실제 일정 기간 사용 후에 교체 또는 교정을 하고 있다 이러한 측면에서 압연 roll의 연구는 장수명을 위한 소재 개발분야와 수명예측에 대한 연구[4,5]로 나누어 진행되고 있다.

X선회절기술은 압연 roll을 비롯하여 동일한 구름마찰을 하는 베어링이나 치차 등의 성능개선이나 수명에 측연구에 널리 적용되고 있다. 이 경우 대부분 압연 roll의 구름마찰면에서 직접 X선회절에 의해 산출되는 잔류응력과 반가폭 등의 변화[4,5]를 추적하여 해석하고 있다.

이러한 측면에서 본 연구에서는 분말법으로 제조한 고속도공구강의 구름마찰에 따른 표면성상변화를 X선회절기술을 이용해 해석하기 위해 우선 분말법과 주조법으로 제조된 고속도공구강의 X선적응력정수를 비교하고 이를 이용하여 분말고속도공구강의 구름마찰시 표면의 거시적, 미시적 성상변화를 추적하였다.

## 2. 실험방법

### 2-1. 시험편

본 연구에서는 시판되는 분말고속도공구강인 ASP23 (AISI M3에 상응)의 기본 화학조성의 합금성분을 첨가, 진공소결 및 용해후 gas atomizer에 의해 합금분말을 제조하였다. 그리고 이 합금분말을 canning, hiping, swaging 등의 공정을 거쳐 소정의 분말고속도공구강의 환봉으로 추출하였다[6].

X선적 응력정수 산출을 위한 4점굽힘시험[7]은  $\phi 34$ 의 환봉중심부근에서  $110 \times 30 \times 3$  mm의 크기로 추출하였다. 그리고 주조재의 고속도공구강과 비교를 위해 시판되는 SKH51의 환봉에서도 동일한 크기의 시험편도 추출하였다. 이들 시험편의 열처리는 주조재 및 분말재 공히  $1175^\circ\text{C}$ 에서(14분간 유지) 소입하는 공정을 거친 후  $560^\circ\text{C}$ 에서 1시간 열처리를 하는 tempering처리를 3차례 반복하였으며 일부는 열처리를 행하지 않고 바

로 적용하였다. 따라서 시험편은 일반 고속도공구강 및 분말 고속도공구강에 대해 각각 열처리 전과 후의 2종류씩을 준비하였다.

구름마찰시험은  $\phi 50$ 의 환봉에서  $\phi 44$ 의 소정의 원통형 시험편으로 가공하여 전술한 4점굽힘시험편과 동일하게  $1175^\circ\text{C}$ 에서 14분유지 후  $560^\circ\text{C}$ 에서 1시간 처리하는 tempering처리를 3차례 반복하였다. 그리고 일부 시험편에 대해서는 하부조직의 성상변화를 부여하기 위해 tempering전  $-196^\circ\text{C}$ 에서 1시간 subzero처리(이하 SZ처리)를 한 시험편도 제작하였다.

이때 상대재로는 시판되는 냉간 금형용 합금공구강인 SKD11을  $\phi 76$ 의 원통형의 시험편으로 가공한 후  $1010^\circ\text{C}$ 에서 20분유지 후 소입한 후  $460^\circ\text{C}$ 에서 1시간 처리하는 tempering처리를 2차례 반복하였다.

시험전 시험편의 경도는 SZ처리유무에 관계없이  $H_{RC} 65.7$ 정도인 것으로 밝혀졌고 상대재의 경도는  $H_{RC} 57.8$ 정도인 것으로 밝혀졌다.

시험 및 상대재의 화학조성을 Table 1에 나타내었다.

### 2-2. X선적 응력정수 산출시험

분말 고속도공구강의 X선적 응력정수산출은 4점굽힘시험기[7,8]를 사용하였다.

이때 각 시험편중앙 배면에는 strain gage를 부착한 후 시험편의 탄성정수를 일반적으로 알려진 210 GPa로 가정하고 부가하중을 산출하였다.

이때 부가응력의 범위는 열처리후 강에 잔존하는 잔류austenite의 변태응력이  $156.8$  MPa부근인 것[8]으로 알려져 최대부가응력을  $156.8$  MPa로 하고 5단계의 부가응력( $0 \rightarrow 39.2$  MPa  $\rightarrow 78.4$  MPa  $\rightarrow 117.6$  MPa  $\rightarrow 156.8$  MPa)을 차례로 부가하였다.

그리고 각 소정의 응력이 부가된 상태에서 중심부에 대해 각각 X선회절시험을 행하였다.

### 2-3. 구름마찰시험

Fig. 1은 구름 마찰시험의 시험형상 및 접촉상황을 나타낸 것이다. 이때 접촉폭은 4 mm이다. 하중은 지렛대를 사용하여 시험축에 dead weight로 147 N을 가하

Table 1. Chemical compositions of testpiece

	C	Si	Mn	Cr	Mo	W	V	Co
ASP23	1.29	0.36	0.33	4.35	4.76	6.42	2.86	0.026
SKH51	0.88	0.33	0.32	3.96	4.89	6.13	1.73	-
STD11	1.53	0.31	0.36	11.6	0.91	-	0.30	-

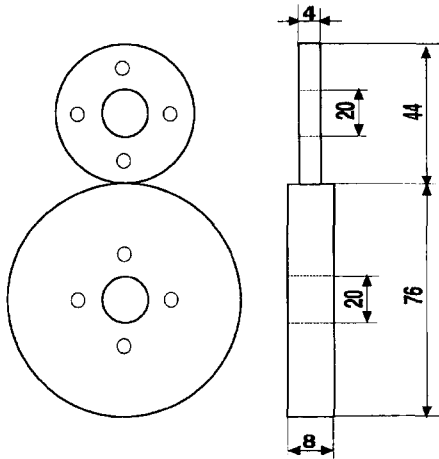


Fig. 1. Configuration of testpiece and opponent.

면 면압(Pmax)이 707.6 MPa이 되는 조건을 선정하였고 상대재 하부에 윤활유 조를 설치, 상대재의 회전에 의해 윤활유를 공급하는 방식을 취했다. 이때 윤활유는 ISO VG46을 사용하였다. 그리고 상대재의 회전속도는 500 rpm으로 하였으나 기어비의 조합과 시편반경차에 따른 상대재 및 시편의 접촉부에서의 선속도는 각각 1.9893 m/sec, 1.1315 m/sec정도인 것으로 밝혀져 미끄럼율이 43.1%였다. 결국 본 시험조건에서는 시편의 선속도가 적어 시편의 구름방향과 접선력의 방향이 동일한 것을 알 수 있다.

그리고 구름마찰시험은 최종 회전수를  $2 \times 10^6$  회전으로 하고 소정의 회전수마다 구름접촉면에 대해 X선회절시험을 하였다.

2-4. X선회절시험

X선회절시험은 CrK $\alpha$ 선을 이용하여  $\alpha$ Fe(211)면을

Table 2. Conditions of X-ray diffraction test

	4-point bending test	Rolling contact test
Tube of X-ray	CrK $\alpha$	
Diffraction plane	$\alpha$ Fe(211)	
Current, Voltage	30 mA, 30 kV	
Irradiation area	$2 \times 2$ mm <sup>2</sup>	
Time constant	4 sec	
Filter	V	
Scan speed	1°/min	
Angle of $\phi$ and $\psi$	$\psi_0=0^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 35^\circ, 45^\circ$	$\phi=0^\circ, 180^\circ$ $\psi_0=0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 40^\circ$

측정하였다. 이때의 모든 측정조건은 X선응력측정표준 [7]에 준해 설정하고 이들을 Table 2에 나타내었다. 4 점 굽힘시험편에 대한 X선회절은 시료면의 법선과 입사beam과의 각도인  $\psi_0$ 를  $0^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 35^\circ, 45^\circ$ 의 7방향으로 하였으나 구름마찰면의 응력측정은  $0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 40^\circ$ 의 4방향에서 측정하였다. 이때 미세 strain을 반영하는 회절선의 반가폭은  $\psi_0=0^\circ$ 를 2차로 측정하여 이들의 평균값은 사용하였다.

그리고 모든 측정은 병행법으로  $\psi_0$  일정법을 채용하여 측정된 후 응력값의 산출은  $\sin^2\psi$ 법으로 계산[7]하였다. 이때 잔류응력값은 일반적으로 구름접촉시 관찰되는 split현상[9]을 고려하여 구름방향과 반구름방향의 응력을 각각 측정 후 이들값의 평균값으로 사용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3-1. 분말 고속도공구강의 X선적 응력정수

Fig. 2는 열처리전 시편에 대해 각 굽힘 부가응력에서 얻어진  $2\theta-\sin^2\psi$  선도의 일례를 나타낸 것이다. 그림에서도 알 수 있듯이 주조재 및 분말재 관계없이 어

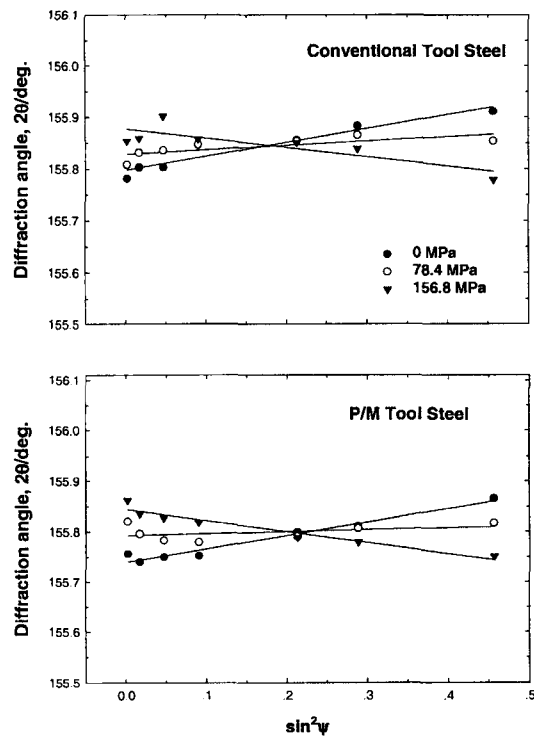


Fig. 2. Relation between  $2\theta$  and  $\sin^2\psi$  under various applied stress (before heat-treating).

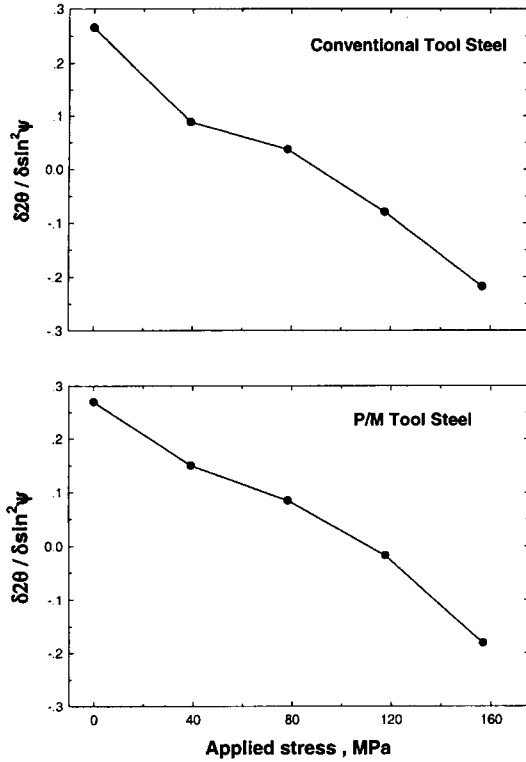


Fig. 3. Relation between applied stress and  $\delta 2\theta / \delta \sin^2 \psi$  (before heat-treating).

는 것도 무하중시는 양의 기울기로 가공에 의해 압축의 잔류응력을 나타내고 있으나 굽힘하중에 의한 인장력이 증대함에 따라 음의 기울기로 선회하여 인장의 잔류응력쪽으로 변화하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 3은 Fig. 2에서 산출된 각 부가응력에서의  $2\theta - \sin^2 \psi$  선도의 기울기를 비교한 것이나 분말재, 주조재 관계없이 각각 양호한 직선관계가 성립됨을 알 수 있다. 이러한 관계에서 산출된 X선적 응력정수는 주조재가  $-388.6 \text{ MPa}$  ( $-367.5 \text{ MPa} \sim -409.6 \text{ MPa}$ ), 분말재가  $-383.2 \text{ MPa}$  ( $-345.9 \text{ MPa} \sim -420.8 \text{ MPa}$ )인 것으로 산출되어 열처리된 상태에서 분말재와 주조재가 거의 동일한 것으로 밝혀졌다.

Fig. 4는 열처리후의 각 부가응력에서의  $2\theta - \sin^2 \psi$  선도를 비교한 것이다.

열처리전에 비해 기울기가 커서 전반적으로 열응력 및 변태응력에 의한 잔류응력이 큰 것을 알 수 있다. 그리고 부가하중에 대한  $2\theta - \sin^2 \psi$  선도의 직선성도 열처리전에 비해 다소 열악하나 이것은 열처리에 의해 회절선이 상당히 broadening 되었기 때문으로 추정된

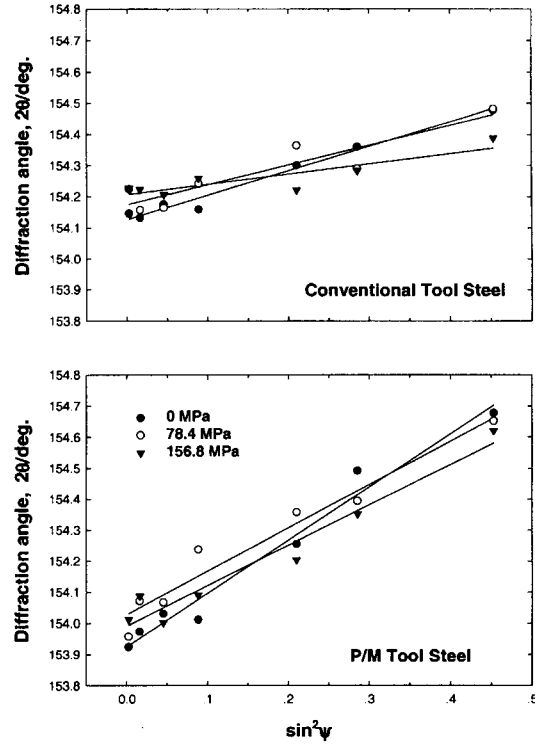


Fig. 4. Relation between  $2\theta$  and  $\sin^2 \psi$  under various applied stress (after heat-treating).

다. 그러나 이 경우도 각 부가응력에서의  $2\theta - \sin^2 \psi$  선도의 기울기를 비교한 Fig. 5에서 관찰할 수 있듯이 주조재, 분말재 관계없이 부가응력과 양호한 상관관계를 성립하고 있음을 알 수 있다.

이 경우의 응력정수는 주조재가  $-377.3 \text{ MPa}$  ( $-357.7 \text{ MPa} \sim -396.9 \text{ MPa}$ ), 분말재가  $-385.1 \text{ MPa}$  ( $-348.9 \text{ MPa} \sim -421.4 \text{ MPa}$ )로 산출되었다.

결국 이상의 결과에서 열처리전, 후 관계없이 주조재 및 분말재의 응력정수값이 유사하고 이 값은  $-380 \text{ MPa}$ 정도인 것을 알 수 있다. 그런데 일반적으로 철강재료의 X선적 응력정수는  $-317.9 \text{ MPa}$ 정도인 것[7]으로 알려져 다소 크게 산출되었음을 알 수 있다. 그러나 적용 소재가 고탄소·고합금강인 점을 감안한다면 부가응력산출에 사용한 탄성계수  $210 \text{ GPa}$ 은 과대 평가한 것[8]으로 추측되어 실제 분말고속도공구강의 X선적 응력정수는 일반적인 값과 유사한 것이 분명하다.

이러한 측면에서 분말고속도공구강의 경우도 주조법으로 제작한 고속도공구강과 마찬가지로 X선회절기술에 의한 응력측정이 가능할 뿐만 아니라 이때 사용되

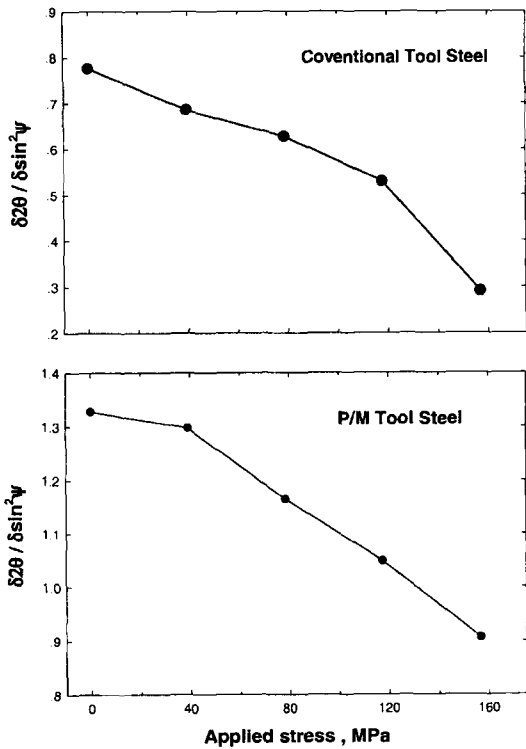


Fig. 5. Relation between applied stress and  $\delta 2\theta / \delta \sin^2 \psi$  (after heat-treating).

는 X선적 응력정수값도 기존의 값과 동일하다는 것을 알 수 있다.

3-2. 분말 고속도공구강의 X선회절에 의한 구름마찰 특성 해석

일반적으로 구름접촉피로 손상축적에 따른 접촉면의 잔류응력 및 반가폭의 변화는 회전수에 대해 각각 극대극소변화를 하고[10,11] 재료에 따라 정해지는 일정 값을 보인 후 수명(pitting발생)에 도달하는 것[11]으로 알려져 있다.

Fig. 6은 X선적 응력정수값으로 -317.9 MPa를 사용 [7]하여 산출된 분말 고속도공구강의 회전수에 따른 구름접촉면의 잔류응력의 변화를 나타내고 있다. 시험전의 잔류응력은 SZ처리 유무에 따라 다소 차이는 있으나 약 120 MPa정도의 압축의 잔류응력을 가지고 회전수가 증대함에 따라 압축쪽으로 더욱 급증을 하고 있음을 알 수 있다. 그러나 급증정도는 SZ처리한 것이 현저하나 각각 극대치를 보인 후 감소하고 다시 증가하는 소위 극대극소현상을 보이며 진행되고 있음을 알

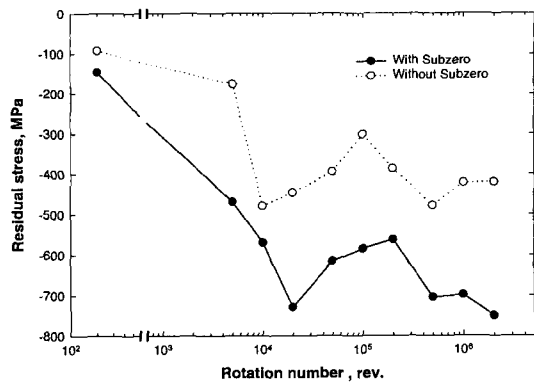


Fig. 6. Change of residual stress on rolling contact surface by rotation number.

수 있다. 이와 같이 분말고속도공구강의 회전수에 따른 접촉면의 잔류응력변화가 일반적으로 pitting발생까지의 구름접촉피로 진행과정상에서 나타나는 극대극소현상을 보이는 것은 본 연구에는 사용된 분말고속도공구강이 수명에 도달하지는 않았지만 구름접촉피로에 의한 손상축적이 진행되고 있음을 시사하고 있는 것으로 추정된다. 즉 SZ처리유무에 따라 시기는 다소 상이하지만 극대를 보인 뒤 감소하는 것으로 미루어 응력해방과 관련된 결정립 크기의 미세한 균열이 생성된 것으로 생각되고 이후 다시 증대하는 것은 미세균열의 전파가 정제되고 다시 손상축적과정에 들어섰음을 나타내고 있는 현상[10,11]일 것이다. 그러나 SZ처리유무에 따라 절대값의 차이를 보이는 것은 SZ처리에 따른 미세조직의 차 즉 모재속의 탄화물의 양 및 고용탄소의 정도에 기인하는 것으로 추정된다.

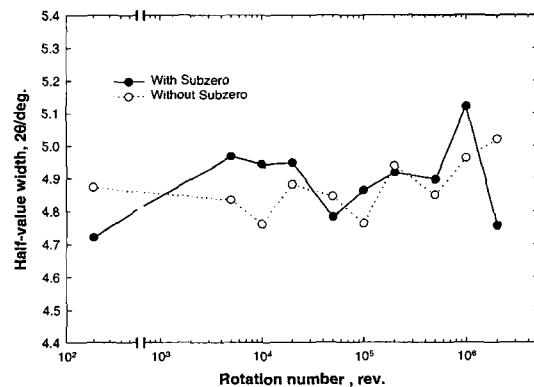


Fig. 7. Change of half-value width on rolling contact surface by rotation number.

Fig. 7은 회전수에 따른 구름접촉면의 반가폭의 변화를 나타내고 있다. SZ처리한 것은 시험전 다소 적고 회전수 증대에 따라 증가하나 이후는 다소 증감을 하고 있으나 거의 일정한 것으로 생각된다. SZ처리하지 않은 것은 처음 다소 증감은 있으나 거의 변화가 없다가 고회전수 부근에서 다소 증가하는 형태임을 알 수 있다.

이러한 반가폭은 일반적으로 dislocation의 밀도나 하부조직(cell조직)의 크기를 반영하는 것으로 알려져 있다. 이러한 측면에서 고경도재의 경우는 열처리에 의해 시험전 dislocation밀도가 높으므로 일반적으로 구름접촉에 의해 dislocation반응이 일어나 반가폭이 감소[3,4,12]를 한 후 소정의 하부조직을 생성하는 것 [11]으로 알려져 있다. 그러나 Fig. 7에서 알 수 있듯이 극대극소현상이 없고 거의 변화가 없어 전혀 dislocation반응이 없는 것으로 추정할 수 있다. 오히려 처음보다 반가폭의 커져 dislocation의 밀도증가 및 하부조직의 미세화가 이루어 졌음을 알 수 있다.

결국 분말고속도공구강의 구름마찰특성은 응력상황은 충분하나 dislocation반응이 거의 없어 pitting과 같은 표면손상으로 이어지는 균열발생이 용이하지 않거나 발생하였다더라도 전파가 용이하지 않을 것으로 추정된다. 이것은 분말고속도공구강의 특징적인 미세조직이 구름마찰에 의한 dislocation반응을 어렵게 하기 때문으로 생각된다.

일반적으로 고속도공구강의 우수한 성능은 열처리에 의해 석출되는 미세한 탄화물에 의한 것으로 알려진다. 이들의 미세 탄화물량은 열처리조건에 주로 의존하나 사실 이들 탄화물의 정도에 의해 모재속의 고용탄소량도 변화하게 된다.

Table 3에 본 연구에 사용한 시편 외에 동일한 온도에서 소입한 후 1회 tempering을 한 시편도 제작하여 CrK $\alpha$ 선을 이용,  $\psi$ 정법으로 (211)면을 측정하고 해석

한 결과를 나타내었으나 열처리 전에는 철강재료의 이론적인 (211)의 면간거리와 거의 유사하고 반가폭도 아주 적다는 것을 알 수 있다.

일반적으로 분말고속도공구강을 소입하면 과포화 martensite와 잔류austenite의 혼합조직이 형성되나 이후 조직 및 기계적성질의 안정화를 위해 tempering처리를 행하고 있다. 이때 과포화martensite는 tempered martensite로 되고 잔류austenite는 분해가 일어나나 tempering 횟수는 열이력 정도의 차이로 생각된다.

1회 tempering을 하면 열이력이 적어 완전히 이루어지지 않으므로 경도 및 적분강도는 적다. 그러나 SZ처리를 추가하면 tempering전 잔류austenite는 완전 분해되므로 경도 및 적분강도는 증가한다 그러나 tempered martensite 형성이 불완전하므로 면간거리는 다소 큼을 알 수 있다. 3회 tempering의 경우는 열이력이 충분하므로 잔류austenite의 분해는 완전히 이루어지나 서서히 진행하므로 이 경우도 tempered martensite 형성은 불완전할 것이 분명하다. 이러한사실은 적분강도가 SZ처리후 1회 tempering처리한 것과 유사하다는 사실에서 추측되어지나 면간거리는 상당히 감소되었음을 알 수 있다. 그러나 SZ처리를 추가한 경우는 적분강도의 현저한 감소가 관찰되어 탄화물생성이 많은 것으로 추측되어 완전한 tempered martensite가 되었음을 예측할 수 있다. 그런데 일반적으로 martensite조직에는 다량의 dislocation 및 twin을 가지고 있는 것으로 알려져 있다. 따라서 tempering시 과포화 martensite에서 tempered martensite로 되면서 고용탄소는 2차탄화물도 생성하지만 dislocation부위로의 확산이 예상되어 과포화martensite가 열이력을 충분히 받으면 이러한 현상이 촉진될 것이다. 이러한 측면에서 SZ처리를 행하여 잔류austenite를 완전 분해시킨 후 tempering 처리한 것은 열이력이 크므로 현저할 것이 분명하다. 이것은 이들의 격자상수 및 반가폭이 크다는 사실에서 추측할

**Table 3. Change of micro-structure by X-ray diffraction and hardness according to heat treatment (Fixed  $\psi$  method, CrK $\alpha$ )**

	Diffraction angle ( $2\theta$ )	Distance of (211) ( $\text{\AA}$ )	Half-value width ( $2\theta$ )	Integral intensity (cps)	Hardness ( $H_R C$ )	
Before heat treat	155.836	1.1714	2.612	67,800	-	
1 time tempering	-	153.692	1.1764	5.049	37,800	63.9
	Subzero	154.008	1.1756	5.255	49,400	66.1
3 times tempering	-	154.270	1.1750	5.076	52,400	65.7
	Subzero	153.823	1.1760	5.236	44,500	65.8

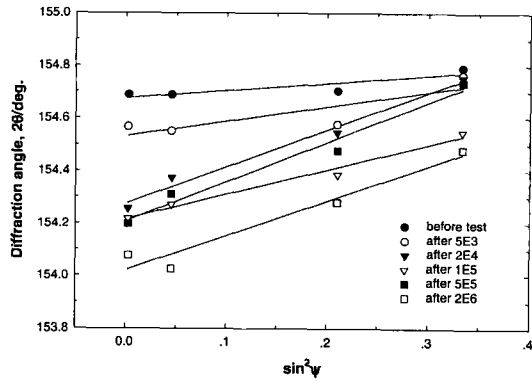


Fig. 8. Change of  $2\theta\text{-sin}^2\psi$  diagram by rotation number (without SZ).

수 있다. 그러나 일반적으로 행하는 3차례의 tempering의 경우도 불완전한 tempered martensite가 형성되었지만 열이력이 충분하여 상당수의 dislocation의 고착은 이루어졌을 것이 분명하다.

결국 분말고속도공구강의 구름마찰시 회전수에 따라 반가폭의 변화가 거의 없었던 것은 고용탄소의 dislocation고착 작용에 의해 dislocation반응이 늦어지기 때문으로 추정된다.

이러한 측면에서 분말고속도공구강의 특성향상은 탄화물만이 아니고 고용탄소도 크게 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 이러한 사실은 bearing강의 경우 최대의 성능을 나타내는 고용탄소의 함유량이 존재한다는 사실[15]에서도 유추할 수 있다.

이러한 고용탄소의 확산은 구름마찰과정중에도 발생하고 있음이 확인되었다. Fig. 8은 SZ처리하지 않는 시편의 구름마찰회전수에 따른  $2\theta\text{-sin}^2\psi$  선도를 나타내고 있으나 회전수가 증대함에 따라 회절각이 감소하여 격자상수가 증대하고 있다는 것을 알 수 있다. 이러한 경향은 고용탄소가 많은 잔류오스테나이트의 구름마찰시의 변화와 유사하다는 것[8]을 알 수 있다.

Fig. 9는 회전수에 따른 표면거칠기값의 변화를 나타낸 것이다. 각각은 시편의 구름방향에 수직방향으로 3~5부위를 측정하여 그 평균값을 나타낸 것이다. 그룹에서도 알 수 있듯이 어느 것도 Ra, Rz는 회전수가 증대함에 따라 감소하여 표면이 깨끗해지고 있음을 알 수 있다. 이 경우 회전수에 따른 마모량의 변화가 관찰되지 않아 대부분 돌기의 소성변형에 의한 것으로 추측되었다. 그러나 Rmax의 경우는 SZ처리한 것은 처리하지 않은 것에 비해 변화폭이 상당히 크고 상대재

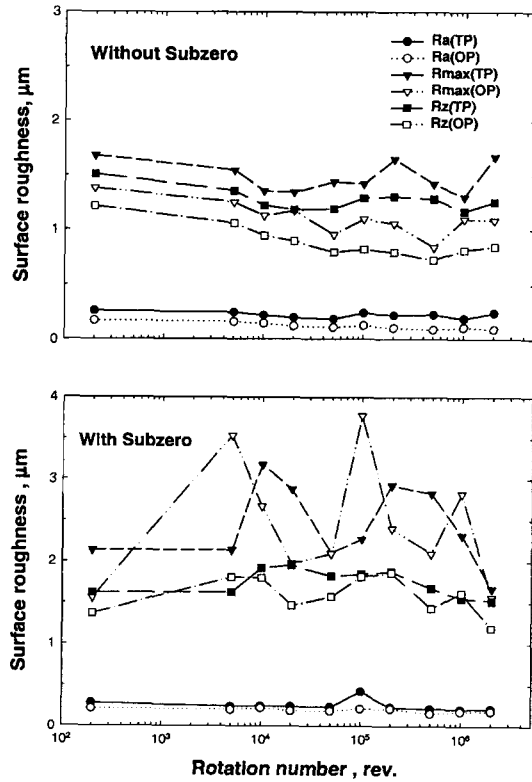


Fig. 9. Change of surface roughness on rolling contact surface during test.

의 변화에 순응하는 형상임을 알 수 있다.

결국 상대재의 커다란 마모입자에 의해 시편에 압흔을 남기는 형태임을 알 수 있다. 사실 이들은 경도도 유사하여 SZ처리유무에 따라 이러한 차이를 보이는 원인은 불명확하나 잔류응력 등에 명확한 차이를 보이는 것으로 미루어 표면에너지의 차이에 의한 것[16,17]으로 추측되어 진다.

#### 4. 결 론

분말 고속도공구강의 구름마찰에 따른 구름마찰면의 성상분석을 X선회절기술을 이용해 시도한 결과 다음과 같은 결과가 얻어졌다.

- 1) 분말고속도공구강의 경우도 주조법으로 제작한 고속도공구강과 마찬가지로 X선회절기술에 의한 응력측정이 가능할 뿐만 아니라 이때 사용되는 X선적 응력정수값도 기존의 값과 거의 유사한 것으로 밝혀졌다.
- 2) X선회절에 의해 분말고속도공구강의 구름마찰과

정을 조사한 결과 잔류응력은 극대극소현상이 관찰되어 구름접촉피로에 따른 손상축적이 진행되는 응력상태를 보였으나 반가쪽은 거의 변화가 없어 구름접촉에 따른 dislocation반응이 거의 없는 것으로 밝혀졌다.

3) 이러한 원인으로는 모재속의 다량의 고용탄소에 의한 dislocation의 고착작용에 의한 것으로 생각되었다. 이상의 결과 분말고속도공구강의 구름마찰부재에 적용 가능성은 높은 것으로 밝혀졌다.

### 참고문헌

1. K. Goto, Y. Matsuda, K. Sakamoto, Y. Sugimoto, "Basic characteristics and Microstructure of high carbon HSS roll for hot rlling mill," ISIJ inter, 32, 11, pp.1184-1189, 1992.
2. 宮川大海, "鐵鋼材料學," 朝倉書店, 日本, p189, 1982.
3. K. Ishii, T. Hayasaka, E. Endoh, T. Abe, Y. Kamitsuma, "Full Density Sintered High Speed Steel with Good Wear and Pitting Resistance," Metal Powder Report, 6, pp.533, 1986.
4. X線材料強度部門委員會塑性と破壊分科會, "X線回折によるロール表面損傷評價," 材料, 28, pp.847-851, 1979.
5. 武智 弘, 難波和郎, 川崎宏一, 藤原圭三, "X線回折による壓延ロールの表面疲勞損傷度評價," 鐵と鋼, 65, 14, pp.2067-2075, 1979.
6. 이한영, 배종수, 김용진, "분말고속도공구강의 마찰마모특성에 미치는 Co의 영향," 윤활학회지, 15, 2, pp.156-163, 1999.
7. 日本材料學會, "X線應力測定法標準," 1982.
8. 이한영, "X선회절에 의한 철강재료의 잔류오스테나이트상의 응력측정," 대한금속학회지, 34, 2, pp.150-157, 1996.
9. 室 博, "轉がり接觸による残留應力," 潤滑, 23, 11, pp.828-831, 1978.
10. 藤田公明, 吉田 彰, 山本敏夫, "S45C燒きなましローラの轉がり疲れに関する研究," 潤滑, 21, 4, pp.256-271, 1976.
11. 李 漢瑛, 川本 信, "X線回折による鋼の轉がり疲れに関する研究(4報), トライボロジスト," 34, 11 pp.815-822, 1989.
12. 예를들어 廣田忠雄, 清水建一, "X線回折法による轉がり軸受の疲勞度について," 不二越技 報, 43, 2, pp.43-57, 1987.
13. 木村達己, 石井正武, 岡 裕, 中野昭三郎, "冷間壓延用5%Cr-2%Mo-1%Vロール鋼の耐摩 耗性と耐事故性の向上, 材料とプロセス, 4, 2, pp.466-469, 1991.
14. T. Kimura, M. Ishii, K. Amano, S. Ueda, Y. Oka, S. Nakano, "Secondary Hardening Characteristics and Those Effects on the Wear and Thermal Shock Resistance of 5%Cr-Mo-V steel roll for Cold strip Mill," ISIJ Inter. 32, 11, pp.1224-1231, 1992.
15. 日本鐵鋼協會, "鋼の熱處理," 丸善, 日本, pp.427, 1969.
16. E. Rabinowicz, "Friction and wear of Materials (2nd)," John Wiley and son, pp.33, 1995.
17. 松原 清, "トライボロジ," 産業圖書, 日本, pp.63, 1985.