

〈논 문〉

# 플라즈마 코팅한 주조용 알루미늄합금의 마찰 및 마멸특성

채영훈\* · 임정일\* · 박준목\* · 김석삼\*\*

(1997년 1월 27일 접수)

## Friction and Wear Characteristics of Plasma Coated Surface of Casting Aluminum Alloy

Young-Hun Chae, Jing-Ri Ren, Jun-Mock Park and Seock-Sam Kim

**Key Words :** Wear Mechanism(마멸기구), Plasma Spray(용사), Casting Aluminum Alloy(주조용 알루미늄합금), Critical Load(임계하중), Specific Wear Rate(비마멸률)

### Abstract

The wear characteristics and wear mechanisms of plasma sprayed  $Al_2O_3$ -40% $TiO_2$  and  $Cr_2O_3$  deposited on casting aluminum alloy(AC4C) were investigated. Specimens were processed for various coating thicknesses. Ball on disk type wear tester was used for wear test. The scratch test on plasma sprayed coating surface showed that critical load to break the coating layer was greater than 40 N. The critical load increase with the increase of coating thickness of specimens. The friction coefficient of  $Cr_2O_3$  coating layer was less than that of  $Al_2O_3$ -40% $TiO_2$  coating layer. The wear resistance of  $Cr_2O_3$  coating layer was greater than that of  $Al_2O_3$ -40% $TiO_2$  coating layer. Microscopic observation of worn surfaces was made by SEM. SEM observation showed that the main mechanism of wear for  $Al_2O_3$ -40% $TiO_2$  coating layer was abrasive wear under 50 N. For the case of  $Al_2O_3$ -40% $TiO_2$  coating layer, as the surface cracks perpendicular to sliding direction propagated, the wear debris was generated in wear track. However, the main mechanism of wear for  $Cr_2O_3$  coating layer was brittle fracture under 150 N.

### 1. 서 론

최근 기계부품의 내마멸성을 증대시키기 위하여 경질코팅막에 대한 연구가 활발히 진행 중에 있으며, 산업체에서 이에 대한 적용을 검토하고 있다.<sup>(1)</sup> 경질코팅막의 용사기술은 비교적 최근에 발달된 기술로서 플라즈마, 가스화염 또는 아크열원을 이용하여 모재에 고속도로 분사하여 충돌 적층시켜 코팅하는 기술이다. 특히 플라즈마 코팅의 특성은 다른 코팅법과 달리 상온 및 대기압에서도 가능할 뿐

단 아니라 용사재료 및 모재의 제한이 적다는 것이다. 이러한 특성을 이용해 금속표면에 코팅하여 정밀기계분야, 섬유기계분야, 항공기 분야 등에 널리 사용되고 있다.<sup>(2)</sup>

기계부품 및 섬유기계류의 경량화 및 대량생산에 적합한 주조용 알루미늄합금은 내마멸성의 증대를 위하여 양극산화피막(anodizing) 처리를 하여 부품류에 사용되고 있다. 그러나 기술의 발달로 인하여 고속화 및 사용환경의 가혹화로 인하여 알루미늄합금에 대한 양극산화피막에 대한 내구성이 요구에 만족하지 못하고 있는 실정이다.

코팅의 적용성에 대한 트라이볼로지적 관점에서 파라미터로서는 모재, 모재의 경도, 코팅층 두께,

\*경북대학교 대학원 기계공학과

\*\*회원, 경북대학교 기계공학과

코팅층의 경도, 코팅층과 기재의 접착강도, 코팅층의 현미경조직 등이 연구의 대상이 되고 있으며, 또한 마찰계수, 마멸량, 수명은 접촉 구동부설계에서 관심의 대상이 됨에 따라<sup>(3)</sup> Takeuchi와 Nakahira 등<sup>(4)</sup>은 낮은 압력 하에서의 SUS304에  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $Cr_2O_3$ 를 플라즈마 코팅하여 이에 따른 코팅재의 물리적인 특성을 연구하였으며, Arata 등<sup>(5)</sup>은 긁기시험법(scratch test method)을 이용해 임계하중을 구하여 코팅층과 기재간의 임계 파괴응력(critical fracture stress)을 구하여 평가방법을 제시하여 접착강도의 중요성을 보고하였다.

본 연구는 플라즈마 용사(plasma spray)법으로 기계부품 및 섬유기계류의 경량화 및 대량생산에 적합한 구조용 알루미늄합금인 AC4C에  $Al_2O_3$ -40% $TiO_2$ ,  $Cr_2O_3$ 를 증착하여, 이들의 코팅층의 두께 및 하중에 따른 마찰특성, 마멸곡선 및 코팅층과 기재간의 임계하중을 구하고, SEM을 이용하여 표면의 마멸기구를 규명하고, 이에 대한 구조용 알루미늄합금에 대한  $Al_2O_3$ -40% $TiO_2$ 와  $Cr_2O_3$  코팅의 트라이볼로지적 특성을 비교 검토한 것이다.

## 2. 실험

### 2.1 코팅분말 및 코팅조건

본 연구에 사용된 코팅분말은 일반적으로 널리 사용되는  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $Cr_2O_3$ 를 선택하였다. 이것은 국내 코팅 전문업체에서 사용되는 것이며, 이들은 로(furnace)에서 작은 입자로 용융되며, 용융후 부수어서 얻은 것으로 불규칙한 입상(grain shape)을 가지며, 그 크기는 15~45  $\mu m$  정도이다. 코팅분

말  $Al_2O_3$ 와  $TiO_2$ 를 각각 60%, 40%로 균일하게 혼합하여  $Al_2O_3$ -40% $TiO_2$ 의 분말을 얻었으며, 또한  $Cr_2O_3$ 분말을 준비하였다.

용사장비로는 Hexa Plasma를 사용하였으며, Table 1과 같은 조건으로 코팅하였다. 선반을 이용하여 시험편을 1000 rpm 회전하면서 증착을 시켰다. 이때 건(Gun)에 전류를 500A로 고정하여, 1차 가스(primary gas) 질소( $N_2$ ), 2차 가스(secondary gas) 수소( $H_2$ )를 각각 250 l/min 및 100 l/min로  $Al_2O_3$ -40% $TiO_2$  코팅공정에 적용하였다. 그러나  $Cr_2O_3$  코팅에서는 보다 높은 온도가 필요로 하므로 수소를 120 l/min로 공급하였다.

### 2.2 실험장치 및 방법

본 연구에서 사용된 마찰·마멸시험기(TOYO BALDWIN Co., EFM-3-E)는 회전운동에 의한 미끄럼마찰 운동하는 기구장치이며, 0.2~2000 mm/sec 범위의 속도를 무단변속할 수 있으며, 가압하중은 0.02~5000 N범위에서 조정할 수 있다. 마찰토크를 측정하기 위하여 로드셀을 사용하였으며, 로드셀에서 나오는 모든 신호는 아날로그/디지털변환기(PCL816 Analog/Digital Converter)를 통해 컴퓨터에 입력하였다. 본 실험에서는 Fig. 1에서 나타낸 바와 같이 회전하는 원판위에 불꽃 없이 일정한 하중으로 가압하는 볼온 디스크(ball on disk type)로 마찰·마멸실험을 수행하였다. 실험장치는 상단부와 하단부로 나눌 수 있으며, 상단부는 하중을 가해주는 수직축과 그 밑에 세라믹 볼을 고정하는 지그를 제작하여 볼을 고정하였다.

본 연구에서는 초음파세척, 건조, 마찰·마멸설

Table 1 The spraying parameters for Hexa plasma

Parameter	$Al_2O_3$ -40% $TiO_2$	$Cr_2O_3$
Current [A]	500	500
Primary gas [l/min]	250 ( $N_2$ )	250
Secondary gas [l/min]	100 ( $H_2$ )	120*
Powder carrier gas [l/min]	13 (Ar)	13 (Ar)
Powder inlet position	Internal	Internal
Feed rate [g/min]	60	60
Stand-off distance [mm]	160	160
Traverse speed [mm/min]	5000	5000

험, 초음파세척, 건조, 표면거칠기 측정순으로 측정하였다. 실험조건은 무윤활상태에서 50 N, 100 N 및 150 N의 하중과 100 mm/sec의 속도로 실험하였다. 원판의 트랙(track)부의 직경은 10 mm로 실험을 하였으며, 하중과 시험편의 적합성에 판단하여 측정시간을 임의로 조절을 하였으나, 대부분 마멸량측정은 60분 간격으로 측정을 하였다. 이때 마멸측정을 위하여 10분간 3번 초음파세척후 표면거칠기 측정장치(Mitutoyo Surf-500)를 사용하여 시험편의 트랙부를 4곳의 단면곡선을 얻어서 측정하였다. 여기서 얻어지는 곡선을 면적계(planimeter)를 이용하여 마멸부피를 계산하였다.

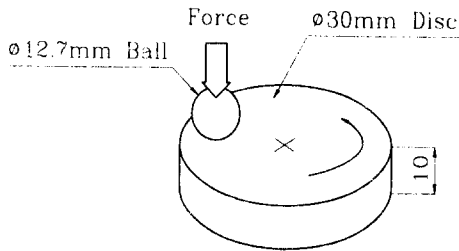


Fig. 1 Schematic illustration of ball on disk type wear test

Table 2 Conditions for revest automatic scratch tester

	Condition
Diamond n°	120
Sensitivity	5
Speed[mm/sec]	100
Loading rate[N/min]	30

본 연구에서는 코팅층과 모재간의 접착강도를 조사하기 위하여 굽기시험기(revest automatic scratch tester)를 이용하였다. Table 2와 같은 조건의 시험기이며, 굽기시험을 할 때 암자가 코팅층 표면에 스크래치를 내면서 일정한 비율로 하중을 가한다. 이때 코팅층이 벗겨질 때 음향신호변화가 발생되며, 그 순간의 하중을 측정하여 코팅층과 모재간의 접착강도를 평가하였다.

2.3 시험편

본 연구에서 사용된 모재는 주조용 알루미늄합금인 AC4C이며, 화학적 조성은 Table 3과 같다. 시험편을 1차 연삭하여 형상 및 크기를 같게 하고, 연마지를 #600Cw, #800Cw, #1000Cw, #1500Cw 및 #2000Cw 순으로 물을 묻혀서 표면조도는 1 μmRmax로 연마하였다. 모든 시험편의 가공전후의 표면조도 측정은 기준길이 8mm로 하여 비교가 될 수 있도록 하였다. 시험편의 형상과 크기는 Fig.1에 나타낸 바와 같이 하부시험편은 직경 30 mm, 두께 10 mm의 원판으로 하였다. 코팅전 시험편에 조도를 부여하기 위하여 샌드의 입도 #60, 노즐압력 3.06 kPa, 노즐직경 10 mm, 재질은 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>로 샌드블래스트(sand blasting)을 하였다. 이때 모재조도는 30 μmRmax로 측정되었다. 코팅후 표면의 열리기공(open pore) 제거를 위하여 에폭시실링(epoxy sealing)을 하였으며, 코팅층 표면의 조도 0.1 μmRmax로 연마(polishing)하였다.

상부 시험편은 Fig.1과 같이 상대적으로 마멸이 되지 않는 직경이 12.7 mm의 탄화규소(SiC)인 볼을 선택하였다. 시험편들의 경도는 Table 4와 같이 측정하였다. 코팅층의 경도는 모재의 영향을 배제하기 위하여 하중 0.49 N으로 측정하였으며, SiC ball은 49 N에서 측정한 값이다.

Table 3 Chemical composition(wt, %) of casting aluminum alloy

Chemical element	Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Ni	Ti	Pb	Sn	Cr
AC4C	0.25	6.5~7.5	0.2~0.45	0.35	0.55	0.35	0.1	0.2	0.1	0.05	0.1

Table 4 Vickers hardness of specimen

	AC4C	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -40%TiO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	*SiC
Vickers hardness [GPa]	0.93	7.84	14.7	28

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 코팅층의 접착강도 시험

코팅층의 마멸거동에 중요한 영향을 미치는 코팅층과 모재사이의 접착강도를 본 실험에서는 긁기시험법(scratch test method)을 이용하여 코팅층이 파괴되는 임계하중을 구하였다. 코팅층의 표면에 200  $\mu\text{m}$ 의 곡률을 갖는 다이아몬드 압자를 올려놓고 선형적으로 하중을 증가시킨다. 시험편을 고정하고 있는 스테이지를 일정한 속도로 움직였을 때 하중이 어느 임계점에 이르면 코팅층이 파괴되면서 AE신호가 방출하게 된다.

Fig. 2는 긁기시험을 할 때 코팅층의 표면에 형성된 스크래치(scratch)를 보여주는 SEM사진과 다이아몬드 압자에 가해진 하중에 따른 AE신호의 변화를 보여주는 것이다. 낮은 하중하에서는 AE신호가 발생하지 않는다. 하중이 약 38 N에서 코팅층의 파괴로 인한 AE신호가 발생하는 것을 볼 수

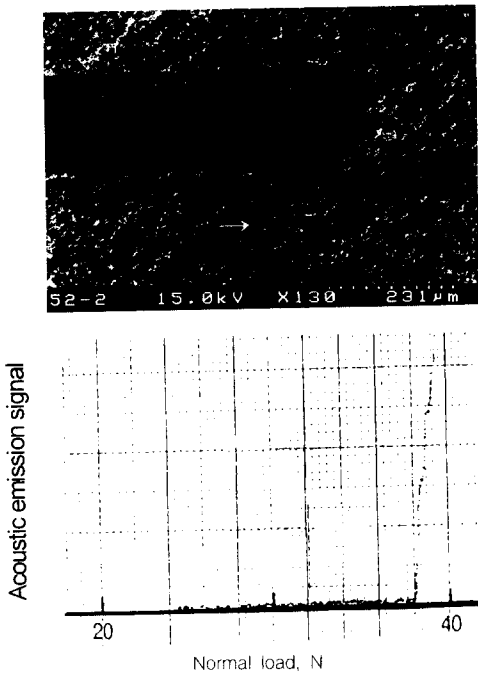


Fig. 2 Variation of acoustic emission signal and a typical scratch formed on coating surface during the scratch test. Note the sharp increase of AE signal at the point of coating failure

있다. 이와 같은 코팅층이 파괴되는 수직하중을 임계하중이라 정의한다.

Fig. 3은  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -40% $\text{TiO}_2$ 과  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 에 대한 코팅층 두께가 50  $\mu\text{m}$ , 80  $\mu\text{m}$  및 120  $\mu\text{m}$ 인 시험편을 동일한 조건에서 4번 반복하여 평균한 결과이다. 두께 50  $\mu\text{m}$ 인 경우에는  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -40% $\text{TiO}_2$ 은  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 보다 접착강도가 작게 나타났다. 이것은 분말의 용융증착 시 기공발생에 의하여 접착강도를 저하시키는 요인이며, 여기서  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -40% $\text{TiO}_2$  코팅층인 경우에는 두께가 증가되면 임계하중이 증가하는 경향을 나타내고 있다. 그러나  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  코팅층은 취성으로 코팅층의 박리가 먼저 일어나기 때문에 다른 경향이 나타났다.

#### 3.2 코팅층의 마찰특성

Fig. 4(a)는 코팅두께 50  $\mu\text{m}$ 인  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -40% $\text{TiO}_2$  코팅층에 대한 마찰곡선이다. 평균마찰계수는 0.621로서, (b)의 동일조건에서  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -40% $\text{TiO}_2$  코팅층은  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  코팅층의 평균마찰계수보다 높게 나타나는 것을 알 수 있다.

Fig. 5는 시험편에 대한 수직하중에 따른 마찰계수의 평균을 나타낸 것이다. 수직하중 50 N, 100 N, 150 N일 때  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  및  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -40% $\text{TiO}_2$  코팅층의 평균마찰계수는 각각이 0.492, 0.423, 0.414와 0.621, 0.523, 0.503이다. 따라서  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  코팅층의 평균마찰계수가 작게 나타나는 것을 알 수가 있으며, 하중이 증가함에 따라 마찰계수는 다소 작아지는 경향을 알 수가 있다.

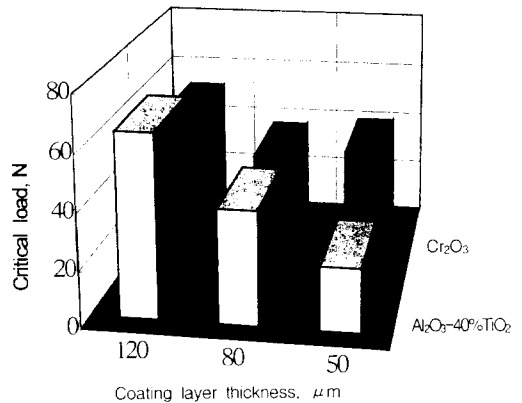
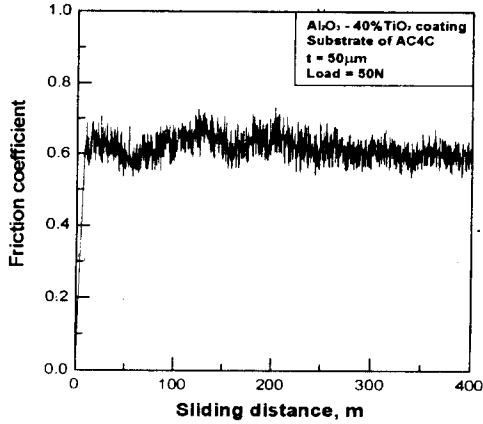
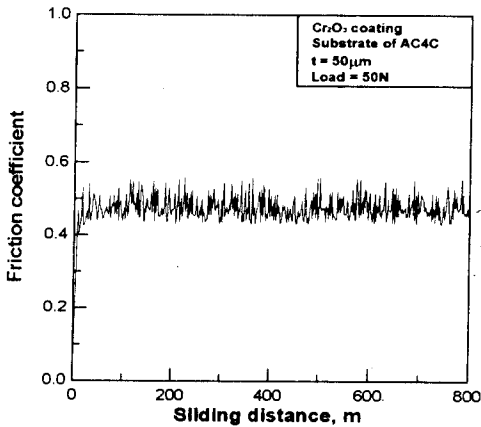


Fig. 3 Variation of critical load for coating failure determined by scratch test with coating thickness at  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -40% $\text{TiO}_2$  and  $\text{Cr}_2\text{O}_3$



(a)  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -40% $\text{TiO}_2$  coating



(b)  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  coating

Fig. 4 Friction coefficient of specimens as a function of sliding distance

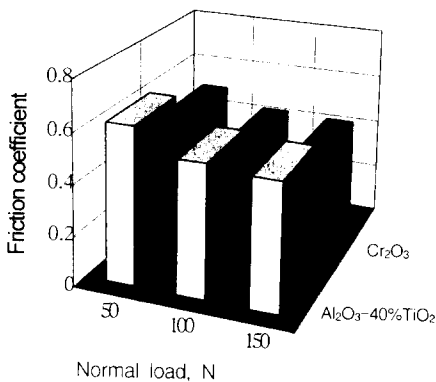
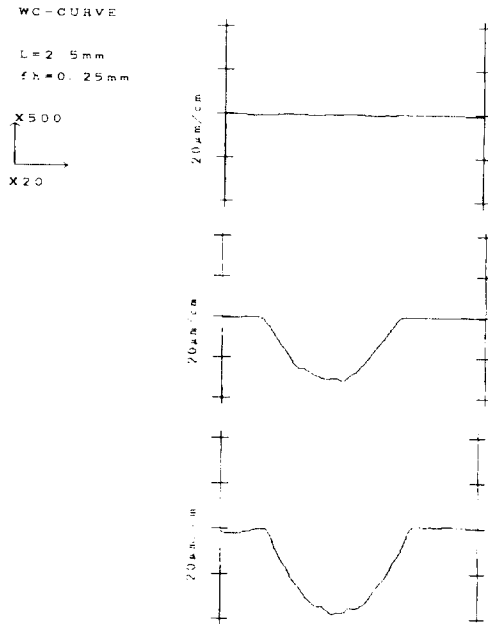


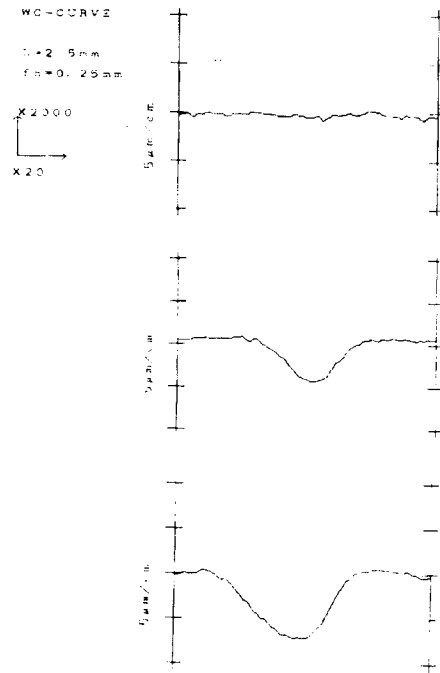
Fig. 5 Comparison of friction coefficients for specimens of  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -40% $\text{TiO}_2$  and  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  at different normal loads

### 3.3 코팅층의 마멸특성

Fig. 6의 (a)는  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -40% $\text{TiO}_2$  코팅으로 코팅된 두께  $50 \mu\text{m}$ , 하중 50 N에서 실험전과 실험후의 단면



(a)  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -40% $\text{TiO}_2$  ( $t = 50 \mu\text{m}$ ,  $P = 50 \text{ N}$ )



(b)  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  ( $t = 100 \mu\text{m}$ ,  $P = 100 \text{ N}$ )

Fig. 6 The surface profile of wear track

곡선을 나타낸 것으로 각각 미끄럼거리 2500 m 및 3600 m로서 미끄럼거리가 증가됨에 따라 마멸트랙의 폭과 깊이가 커짐을 알 수 있다. (b)는 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 코팅으로 코팅두께 100 μm, 하중 100 N에서의 단면곡선으로 각각 미끄럼거리 360 m 및 3600 m이다. 여기서 얻은 단면곡선을 면적계를 이용하여 마멸량을 산출하였다.

Fig. 7과 Fig. 8은 하중 50 N, 100 N에서 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-40%TiO<sub>2</sub> 코팅층에 대한 마멸곡선(wear curve)이다. 코팅층의 두께에 따라 마멸전이(wear transition) 현상이 일어남을 보여주며, 코팅층 두께가 클수록 마멸전이가 늦게 나타났다. 하중 50 N에서

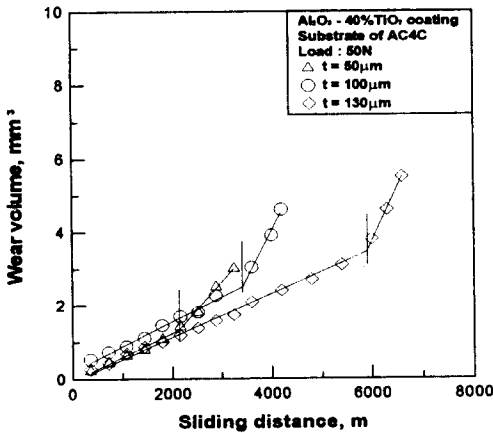


Fig. 7 Variation of wear volume for specimens of various coating layer thickness of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-40%TiO<sub>2</sub> as a function of sliding distance at 50 N

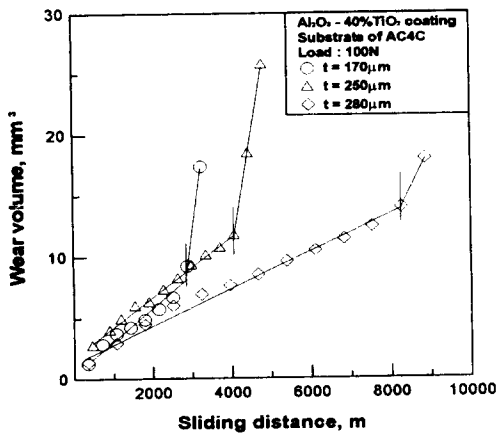


Fig. 8 Variation of wear volume for specimens of various coating layer thickness of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-40%TiO<sub>2</sub> as a function of sliding distance at 100 N

코팅층 두께 130 μm의 마멸전이점인 미끄럼거리는 약 6000 m 정도로 가장 크게 나타났으며, 하중 100 N에서 280 μm의 코팅층에서 미끄럼거리 약 8500 m로 가장 크게 나타났다. 이것은 굽기시험법에도 나타났듯이 코팅층의 파괴되는 임계하중의 크기의 순으로 잘 나타나고 있다.

Fig. 9은 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 코팅층에 하중 100 N에서의 마멸곡선을 나타내고 있다. 마멸곡선에는 마멸전이가 나타나지 않고 있다. Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>코팅은 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-40%TiO<sub>2</sub> 코팅에 비해 내마멸성이 우수하다 것을 알 수 있다. 여기서 50 μm에서의 마멸곡선의 방정식을 구하여 마멸전이가 일어날 수 있는 거리는 약 40000 m 정도의 미끄럼거리에서 일어날 것으로 예상할 수

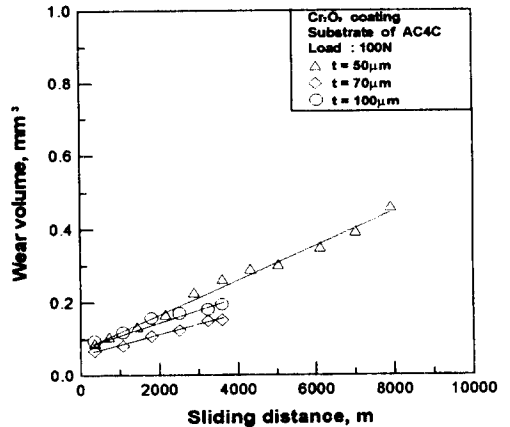


Fig. 9 Variation of wear volume for specimens of various coating layer thickness of Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> as a function of sliding distance at 100 N

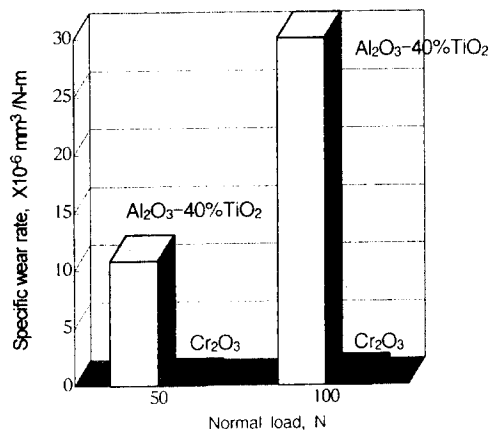


Fig. 10 Variation of specific wear rate for specimens of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-40%TiO<sub>2</sub> and Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. (t = 50 μm)

있다.

Fig. 10는 비마멸률에 대한 비교로서  $Al_2O_3$ -40%  $TiO_2$  코팅층이  $Cr_2O_3$  코팅층보다 50 N일 때 약 100배, 100 N일 때 약 70배의 비마멸율을 보이고 있다. 따라서,  $Cr_2O_3$  코팅층이 내마멸성이 우수하게 나타나고 있다.

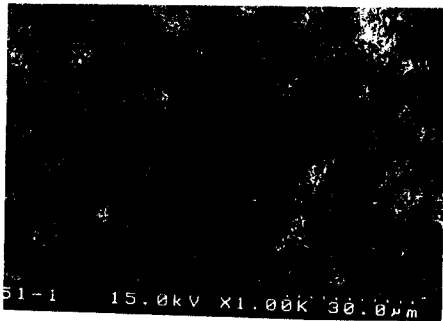
3.4 코팅층 마멸면의 미시적 관찰

Fig. 11의 (a)는  $Al_2O_3$ -40% $TiO_2$  코팅층의 사진이다. 코팅후의 연마로 인한 굽힌 자국과 기공이 많이 보인다. (b)는  $Cr_2O_3$  코팅층의 사진으로, 상대적으로  $Al_2O_3$ -40% $TiO_2$  코팅층보다 조밀하게 보인다. 이것은  $Cr_2O_3$  코팅분말이  $Al_2O_3$ -40% $TiO_2$  코팅분말보다 용융점이 높아 플라즈마열원의 공급을 충분하여 완전용융상태에서 증착되었으며,  $Al_2O_3$ -40% $TiO_2$  코팅층은 분말의 열원의 부족으로 완전용융되지 못하여 작은 입자들이 많이 보이고 있다.

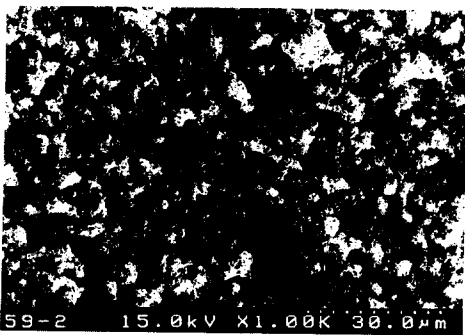
Fig. 12은  $Al_2O_3$ -40% $TiO_2$  코팅시험편으로 코팅 두께 50  $\mu m$ , 하중 50 N, 미끄럼거리 3240 m의 마멸면과 모재부를 SEM으로 관찰한 것이다. 코팅층

이 거의 마멸되고, 심한 소성변형과 미끄럼방향의 수직으로 많은 표면균열이 나타나고 있다. 이것은 마멸이 진행되면서 기공과 같은 결함부에서 응력집중현상으로 표면균열이 발생하므로 마멸입자의 탈락되었다. 확대한 사진에서도 균열과 입자탈락된 부분을 잘 나타나고 있다. Hamilton<sup>(6)</sup>의 미끄럼접촉해석과 Kim<sup>(7,8)</sup> 등의 세라믹의 미끄럼마찰에서의 표면균열해석에서 접촉표면부의 후단에서 최대인장응력에 의해 표면균열이 발생하는 것과 잘 일치하고 있다.

Fig. 13는  $Cr_2O_3$  코팅시험편으로 코팅두께 50  $\mu m$ ,



(a)  $Al_2O_3$ -40% $TiO_2$  coating



(b)  $Cr_2O_3$  coating

Fig. 11 SEM photograph of surface for specimens

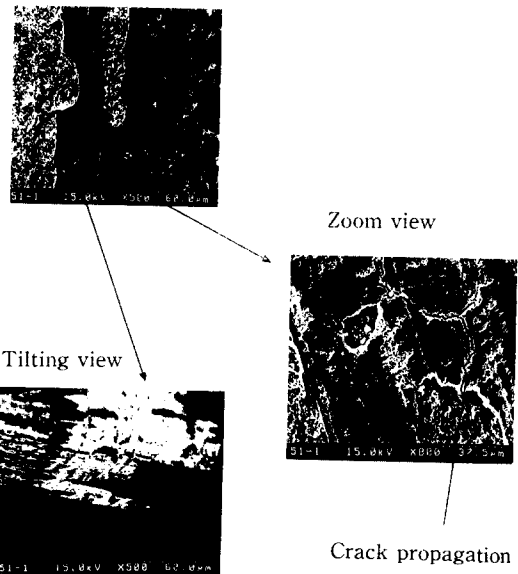


Fig. 12 SEM photograph of worn surface for  $Al_2O_3$ -40% $TiO_2$  coating after sliding distance 3240 m ( $t=50 \mu m$ , Load=50 N)

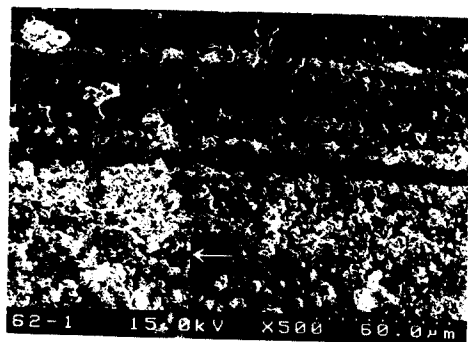


Fig. 13 SEM photograph of worn surface for  $Cr_2O_3$  coating after sliding distance 78000m ( $t=50 \mu m$ , Load=50 N)

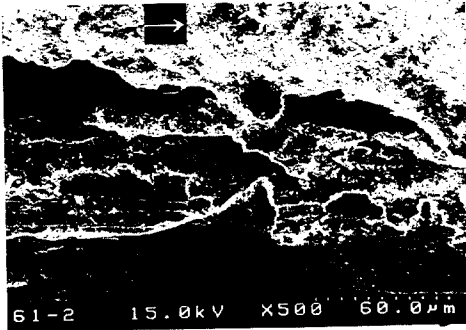


Fig. 14 SEM photograph of worn surface for  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  coating after sliding distance 30 m ( $t=50 \mu\text{m}$ , Load=150 N)

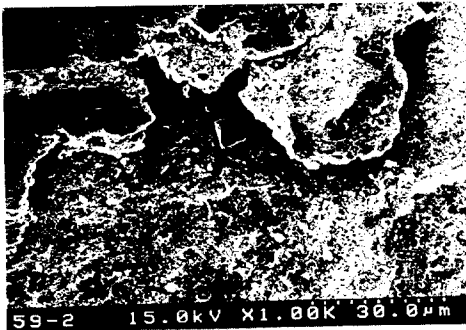


Fig. 15 SEM photograph of worn surface for  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  coating after sliding distance 3340 m. ( $t=100 \mu\text{m}$ , Load=150 N)

하중 50 N, 미끄럼거리 78000 m의 마멸면과 모재부를 SEM으로 관찰한 것이다. 마멸면은 정상적인 마멸로 어브레시브 마멸이 나타나고 있다.

Fig. 14은  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  코팅시험편으로 코팅두께  $50 \mu\text{m}$ , 하중 150 N, 미끄럼거리 30 m의 마멸면과 모재부를 SEM으로 관찰한 것이다. 접촉면의 마멸입자들이 단층으로 파괴됨을 알 수 있다. 이것은 경도가 낮은 모재에 높은 하중이 가해지면 모재의 소성변형으로 순간적으로 코팅층의 박막이 파괴되면서 층상으로 마멸입자가 탈락되고 있다. Fig. 15는  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  코팅시험편으로 코팅두께  $100 \mu\text{m}$ , 하중 150 N, 미끄럼거리 3340 m의 마멸면으로 단층으로 파괴된 부분을 확대한 사진이다.

#### 4. 결 론

기계부품의 경량화 및 대량생산에 적합한 AC4C

주조용 알루미늄합금 표면에 플라즈마 코팅법으로  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -40% $\text{TiO}_2$ 와  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 의 코팅재를 여러 가지 두께로 제작하여 부윤활, 상온 상압하에서 마찰·마멸실험을 수행하여, 코팅층의 두께 및 하중에 따른 마찰특성, 마멸곡선 및 임계하중을 구하고, SEM 관찰을 통해서 마멸기구를 고찰하였다. 얻어진 결과를 다음과 같이 요약할 수 있다.

(1)  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  코팅층의 점착강도는  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -40% $\text{TiO}_2$  코팅층보다 우수했다.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -40% $\text{TiO}_2$  코팅층은 코팅층 두께증가에 따라 점착강도는 증가되었다.

(2)  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  코팅층의 마찰계수는  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -40%  $\text{TiO}_2$  코팅층보다 낮게 나타났다.

(3) 동일한 실험조건에서의 비마멸률은  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  코팅층이  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -40% $\text{TiO}_2$  코팅층보다 약 70배 정도 낮게 나타났다.

(4) 코팅층의 마멸기구로서  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -40% $\text{TiO}_2$  코팅층은 압축응력과 전단응력이 복합적으로 작용하여 진행방향에 수직인 표면균열의 발생과 전파로 마멸입자가 형성되었다.  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  코팅층의 마멸특성은 두께의 변화보다는 작용하는 하중에 많은 영향을 받았다.

#### 후 기

본 연구는 1995년도 교육부 기계공학 학술연구조성비(ME95-E-01)의 지원을 받아 수행되었으며, 이에 관계자께 감사드립니다.

#### 참고문헌

- (1) Sture H. and Per H., 1994, "Tribology Characterization of Thin, Hard Coatings," *Proceedings of the 6th Nordic Symposium on Tribology*, Vol. 3, pp. 735~747.
- (2) Lugscheider, E., 1987, "Plasma Spraying for Wear Applications," *Proceedings of the National Thermal Spray Conference*, pp. 14~17.
- (3) Kenneth, H. and Allan, M., 1994, *Coatings Tribology*, Elsevier Tribology Series 28, pp. 2~6.
- (4) Tekeuchi, J., Nakahira, H. and Nagai, J., 1991, "Physical Properties of Some Oxide Coatings by Low Pressure Plasma Spraying," *2nd Plasma Technik Symposium*, Vol. 2, pp. 141~151.
- (5) Arata, Y. and Ohmori, A., 1988, *Trans. JWRI*,



Vol. 17, No. 2.

(6) Hamilton, G. M., 1983, "Explicit Equations for the Stresses beneath a Sliding Spherical Contact," *Proc. Instn. Mech. Engrs.*, Vol. 197C, pp. 53~59.

(7) Kim, S. S., Kim, S. W. and Hsu, S. M., 1994, "A

New Parameter for Assessment of Ceramic Wear," *Wear*, 179, pp. 69~73.

(8) 박준목, 이은호, 김재호, 김석삼, 1996, "마찰 열에 의한 반무한체 표면균열의 전파특성," 대한 기계학회논문집, 제20권, 제10호, pp. 3126~3134.