

탄화 티타늄 금속기 복합재에 대한 상대재의 마모거동

이 정 근*
기술표준원

Abrasiveness Behavior of Counterpart Sliding Against Titanium Carbide Based Metal Matrix Composite

Jeong-Keun Lee*

Machinery and Construction Standards Division, Korean Agency for Technology and Standards, #2 Joongandong Gwacheon 427-716, Korea

(Received November 13, 2006; Accepted December 15, 2006)

Abstract Wear of steel plate was measured during unlubricated sliding against TiC composites. These composites consist of round TiC grains and steel matrix. TiC grain itself exhibits low surface roughness and round shape, which does not bring its counterpart into severe damage from friction. In our work a classical experimental design was applied to find out a dominant factor in counterpart wear. The analysis of the data showed that only the applied load has a significant effect on the counterpart wear. Wear rate of counterpart increased non-linearly with applied load. Amount of wear was discrepant from expectation of being in proportion to the load by analogy with friction force. Our experimental result from treating matrix variously revealed bimodal wear behavior between the composites and counterpart where a mode seems to result from the special lubricant characteristic of TiC grains, and the other is caused by metal-to-metal contact. The two wear mechanisms were discussed.

Keywords : TiC composite, wear, Latin square, ANOVA

1. 서 론

세라믹 입자는 내마모성이 좋으므로 금속기 복합재료의 강화제로 많이 사용된다¹⁾. 게다가 탄화티타늄 입자는 구형의 형상과 매끈한 표면 때문에 상대재에 적은 손상을 입히는 특성을 갖고 있다. 그래서 TiC 입자를 표면에서 노출시켜 윤활성을 좋게한 TiC 복합재가 기계류의 마모부위의 소재로 각광을 받고 있다²⁾. 따라서 본 연구에서는 이러한 TiC 복합재가 어느 정도의 작업조건 까지 상대재의 손상을 막아주는가에 대하여 조사하였다.

2. 실험방법

복합재는 철분말, 합금원소와 4.37 μm TiC 입자를

혼합하여 소결과 HIP 처리를 하여 제작하였다. 매트릭스의 성분은 5.2 wt% Cu, 4.1 wt% Mo, 0.6 wt% Ni 및 나머지는 Fe이 었다. 복합재의 TiC 함량은 가장 많이 쓰이는 35, 40 및 45 vol%로 하였고 그후 1020°C에서 오스테나이트화 및 300°C에서 템퍼링 처리를 하였다. TiC복합재는 편(직경 8 mm, 길이 15 mm)으로 가공되었다. 가공 후에 복합재 시편은 다이아몬드 연마제(20 μm ~5 μm)로 래핑처리후 1 μm 알루미나로 폴리싱하였다. 상대재는 ASTM 4032H 소재의 원판이며 성분은 0.32 wt% C, 0.30 wt% Cu, 0.70 wt% Mn, 0.1 wt% Cr, 0.25 wt% Mo, 0.22 wt% Si, 0.02 wt% P, 0.05 wt% S, 0.05 wt% P이다. 템퍼링과 급냉에 의해 HRc 51의 경도를 유지했고 경면 가공(평균거칠기 0.28 μm)을 하였다. 원판의 두께는 5 mm이고 직경은 76 mm 이다. 원판은 아세

*Corresponding Author : [Tel : +82-2-509-7293; E-mail : jklee@kats.go.kr]

톤으로 편은 에탄올로 시험 전에 세척하였다. 마모 시험은 편온디스크 타입 마모시험기에 의해 시험되었다. 시험 중에 원판의 무게 감소를 제어 단위 길이 당 마모량, 즉 마모율로 환산하였다. 시험 중 온도 상승 및 산화를 막기 위해 질소가스를 흘려주었다.

3. 논의 및 고찰

우선 마모율에 영향을 미치는 요소를 알아내기 위하여 미끄러짐 속도, 복합재의 TiC 함량 그리고 인가 하중을 대상으로 분산분석을 행하였다. 여기에 응용된 실험계획법은 라틴방격법으로 요소별 수준은 3으로 잡았다. 표 1에 배치 방법 및 마모율 측정치를 기록하였다. 실험 결과를 분산분석하여 본 결과

표 2에서 보듯이 인가하중만이 마모율에 의미있는 영향을 미친다. 따라서 하중과 마모율과의 관계를 더 자세히 알아 보기 위해서 인가 35 vol%인 시편을 하중의 수준을 5로 늘려서 20 m/s의 속도로 시험하였다. 그결과 그림 1의 결과가 얻어졌다. 이는 하중에 따른 선형 관계가 아니라 높은 하중에서 마모가 급격히 일어나므로서 마모 기구가 상이할 것으로 판단 되었다. 매트릭스의 성질을 여러 가지로 변화시켜 마모율에 어느 정도 영향을 미치는지 시험하였다. 템퍼링 조건을 늘리고 시료 중 절반을 인산 용액에서 전해 연마처리 하였다. 시험은 표 3의 각 조건 별로 10회 반복한 것이다. 그 결과를 표 4에 수록하였다.

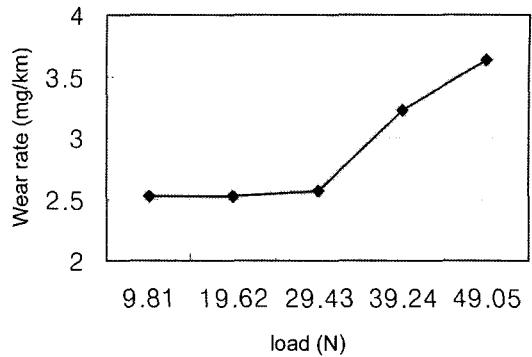


Fig. 1. Effect of applied load on wear rate against 35%TiC composites at the sliding velocity of 2.0 m/s

Table 3. Treatment conditions of composite samples for additional experiment

	Tempering temp.(°C)	Electro-Polishing
Group 1	400	no
Group 2	400	yes
Group 3	300	no
Group 4	300	yes
Group 5	200	no
Group 6	200	yes

표 4에 나온 측정치로 인가 하중 별로 분산 분석을 했으며 그 결과를 그림 2에 나타냈다. 여기에서 39.24 N 이상의 하중에서는 템퍼링 온도와 전해 연마가 중요한 영향을 미치는 것으로 판단된다. 이는 하중의 변화에 따라 마모기구가 달라지는 것을 의미

Table 1. Experimental design and result for the first ANOVA

		TiC content (vol%)		
		35	40	45
		Applied Load (N)/wear rate (mg/km)		
Sliding velocity (m/sec)	2.0	9.81/2.52	29.43/2.64	49.05/3.16
	2.4	29.43/2.57	49.05/3.29	9.81/2.77
	2.8	49.05/3.63	9.81/3.34	29.43/2.9

Table 2. The first ANOVA table

factor	S	df	V	F-ratio	F _{0.05}
TiC content	0.056467	2	0.028233	2.122807	19
Sliding velocity	0.448467	2	0.224233	16.85965	19
Applied Load	0.694867	2	0.347433	26.12281	19
Error	0.0266	2	0.0133		

Table 4. Wear rate of composite samples from the additional experiment

Applied Load(N)	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4	Group 5	Group 6
9.81	2.68	2.7	2.29	2.63	2.65	2.42
	2.77	2.61	2.66	2.62	2.64	2.52
	2.45	2.45	2.7	2.54	2.52	2.81
	2.73	2.33	2.58	2.54	2.55	2.45
	2.7	2.42	2.75	2.61	2.87	2.26
	2.69	2.52	2.37	2.47	2.65	2.47
	2.71	2.25	2.75	2.98	2.23	2.63
	2.46	2.8	2.56	2.43	2.45	2.46
	2.49	2.62	2.3	2.62	2.53	2.61
	2.31	2.62	2.52	2.5	2.53	2.54
19.62	2.6	2.4	2.76	2.64	2.87	2.79
	2.59	2.77	2.73	2.54	2.43	2.76
	2.27	2.76	2.59	2.72	2.63	2.74
	2.61	2.36	2.76	2.24	2.65	2.34
	2.76	2.7	2.84	2.78	2.79	2.56
	2.7	2.46	2.62	2.45	2.55	2.59
	2.74	2.68	2.88	2.57	2.45	2.52
	2.52	2.58	2.36	2.51	2.45	2.55
	2.78	2.54	2.86	2.49	2.7	2.74
	2.69	2.62	2.7	2.49	2.58	2.48
29.43	2.69	2.42	2.91	2.83	2.61	2.59
	2.69	2.71	2.85	2.87	2.74	2.56
	2.82	2.43	2.56	2.49	2.85	2.42
	2.65	2.67	2.81	2.51	2.81	2.76
	2.48	2.77	2.74	2.79	2.9	3.03
	2.74	2.56	2.74	2.74	2.71	2.61
	2.97	2.79	2.78	2.52	2.81	2.65
	2.54	2.51	2.77	2.65	2.53	2.56
	2.57	2.76	2.35	2.66	2.44	2.53
	2.52	2.49	2.76	2.5	2.53	2.6
39.24	3.58	3.17	3.24	3.19	3.32	3.39
	3.66	3.4	3.46	3.38	3.11	3.1
	3.58	3.19	3.74	3.61	3.06	2.81
	3.45	3.43	3.41	3.2	3.13	3.11
	3.37	3.28	3.24	3.27	3.46	3.1
	3.63	3.12	3.42	3.27	2.98	3.07
	3.73	3.23	3.48	3.41	3.2	3.06
	3.31	3.39	3.45	3.45	3.2	3.01
	3.7	3.51	3.48	3.59	3.07	3.02
	3.4	3.47	3.44	3.23	3.21	3.02

Table 4. Continued

Applied Load(N)	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4	Group 5	Group 6
	4.19	3.91	4.02	3.69	3.36	3.42
	4.16	3.96	3.86	3.83	3.64	3.51
	4.38	3.77	3.81	3.6	3.65	3.67
	4.09	4.03	4.06	3.92	3.76	3.54
49.05	4.07	3.82	4.02	3.65	3.6	3.6
	4.08	3.86	3.97	3.9	3.88	3.4
	3.93	3.7	3.92	3.54	3.78	3.22
	3.95	4.09	3.94	3.57	3.78	3.63
	3.9	3.71	4.31	3.65	3.77	3.63
	3.96	3.67	3.95	3.88	3.8	3.53

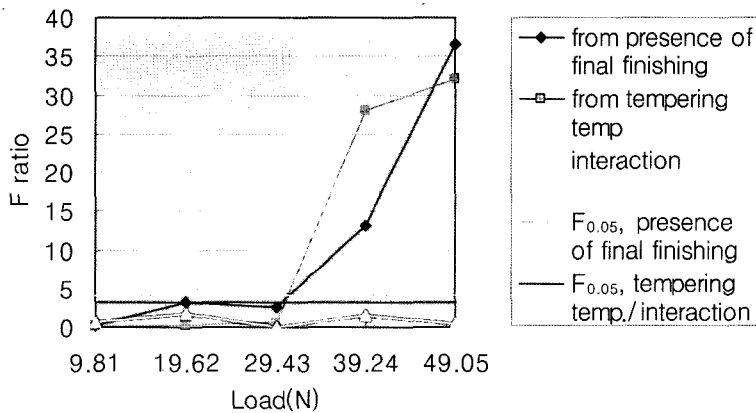


Fig. 2. Variation of F-ratio in distinction of counterpart wear with normal load for composites of 35 vol% TiC content at the sliding velocity of 2.0 m/s.

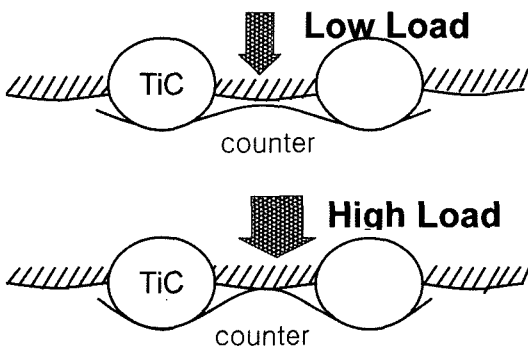


Fig. 3. Schematic diagram of cross-section after/before transition.

한다. 즉 높은 하중에서는 복합재의 매트릭스의 특성에 따라 마모율이 틀려진다. 이러한 점에 유추해 볼 때 낮은 하중에서는 그림 2와 같이 TiC 입자만

counterpart와 접촉하고 높은 하중에서는 매트릭스도 카운터 파트와 접촉하는 것으로 생각된다. 따라서 본 시험에 쓰여진 TiC 복합재와 같은 경우 짧은 시간 사용 될 경우 한계 압력은 $29.43/(\pi^4)$ N/mm²이다. 또한 그림 4에서 보듯이 39.24N에서는 템퍼링 온도의 영향이 표면 연마 조건의 그것 보다 우세하고 또 49.05N에서는 표면 상태가 더 중요하다. 이는 금속-금속 마모 단계로 진입하는 초기 상태에서는 마모율이 금속-금속 접촉 면적(크기특성)에 좌우되나 본격적인 금속-금속 접촉이 시작되면 마찰계수(세기특성)가 더 중요해진다는 것을 암시한다.

즉 압력이 가해져도 접촉면적의 증가에는 한계가 있고 접촉 면적의 증가율이 아주 작아지면 매트릭스의 표면 거칠기가 상대재의 마모에 결정적인 요소가 된다.

또 49.05N과 39.24N에서 템퍼링온도와 전해연마가

중요한 영향을 미치는 것으로 판단되었으므로 그룹간의 차이가 어느 정도 유효한지 튜키의 사후검정을 시행하였다. 그 결과는 0.05 수준에서 아래와 같다.

$$\text{HSD (49.05N)}=0.10$$

$$\text{HSD (39.24N)}=0.10$$

따라서 모든 그룹 간의 차이가 있으므로 그룹 6만이 유일하게 최소 마모를 일으키는 조건이다. 또 그룹 4에서 보듯이 템퍼링 온도와 연마 여부간의 상호작용은 무시될 수 있으므로 200도에서 템퍼링하고 전해 연마를 하는 것이 상대재의 마모량을 최소화 하는 조건이다.

4. 결 론

1) TiC 복합재와 마찰되는 상대재의 마모율에 영

향을 끼치는 요소는 인가하중이다.

2) 인가하중이 클때와 작을 때도 마모 기작이 달라진다. 35% TiC 복합재에서 심한 마모가 시작되는 임계압력은 $29.43/(\pi^4)$ N/mm²이다.

3) 심한 마모 초기 단계에서는 접촉 면적이 더 중요하나 어느 정도 금속-금속 접촉이 일어난 후에는 매트릭스의 거칠기가 더 중요해진다.

4) 분산분석 결과 200°C에서 템퍼링하고 전해 연마를 하는 것이 상대재의 마모량을 최소화하는 조건이다.

참고문헌

1. J. E. Schutens and K. Tempo: Introduction to metal matrix composite materials, DOD metal matrix composites information analysis center, New York (1989) 33.
2. website; www.alloytic.com.