

## 냉간성형용 Die 강의 미끄럼 마멸특성에 관한 연구

전태옥\* · 박홍식\* · 류경곤\*\*

\*동아대학교 기계공학과, \*\*창원기능대학 금형학과

### A Study on the Sliding Wear Characteristics of the Die Steel for the Cold Molding

Tae-Ok Jun\*, Heung-Sik Park\* and Kyong-Kon Yoo\*\*

*\*Dong-A University Department of Mechanical Engineering*

*\*\*Chang won Industrial Masters College, Department of Die & Mould*

**Abstract**—The present study was undertaken to investigate the dry wear characteristics of die steel STD 11 for cold molding. The wear test was experimentally carried out under different conditions using a wear device, which was made in laboratory, and in which annular surfaces of wear testing specimens wear rubbed in dry sliding condition with varying the sliding speed, contact pressure, and sliding distance. The wear loss by variation of sliding speed was much in 0.3 m/sec and less in higher speed range above its sliding speed according to formation of the boundary lubrication film. The critical sliding speed with maximum value of the specific wear rate switched over to lower speed side according as contact pressure increased. The critical sliding distance was increased with decrease in oxidation reaction velocity. The depth below subsurface showing maximum hardness (Hv) came out at the position, 60  $\mu$ m, of the maximum shear stress due to strain hardening.

#### 1. 서 론

금형은 기계공업을 비롯한 광범위한 공업분야에 걸쳐서 양산체제의 모체로서 그 제품의 품질 및 비용을 좌우하는 중요한 역할을 하고 있다. 이러한 금형을 이용하는 소성가공에서는 형 사이에서 성형되는 소재가 소성변형되지만 이때 소재는 형의 표면을 따라 미끄러지면서 유동하므로 형재료와 소재간에는 큰 마찰력이 작용하고, 형재료에는 이 마찰력에 의하여 전단응력이 작용하게 된다. 따라서 이러한 전단응력이 반복하여 작용하는 프레스가공 등에서는 형의 수명이 항상 문제가 된다. 물론 형의 수명은 형재료가 프레스압력에 견디지 못하여 형이 균열되거나 펀치가 절단되는 것 같은 형재료의 강인성이 불충분하기 때문에 비교적 조기에 일어나는 파손에 의하여 수명의 대상으로 되는 경우도 있지만 무엇보다도 형의 수명을 좌우하는 가장 중요한 사항은 형재료의 내마멸성이다 [1].

형재료의 내마멸성을 결정하는 인자로서 하나는 마찰하는 두 고체의 친화성 즉, 두 고체의 상호용해도이며 다른 하나는 재료의 화학적 활성 즉 대기중 산소나 흡착물질과 반응성이다[2]. 소성가공에서 인발의 경우와 같이 Dies면이 소재에 의하여 연속적으로 장거리의 마찰미끄럼을 받은 경우와 판재성형 혹은 단조와 같이 1회의 가공에 있어서 상대 미끄럼거리는 짧지만, 공구면이 간헐적으로 다수회의 반복마찰을 받는 경우가 있다. 전자의 경우 미끄럼거리의 증가에 따라 공구면으로의 소재의 응착누적 및 마찰면 온도 상승 등에 의하여 마찰계수의 증대 또는 소착 등으로 마찰상태의 열화가 생기는 경우가 많다. 이것에 대하여 후자의 경우에는 반복마찰회수의 증가에 수반하여 마찰상태의 열화가 생기는 반면에 마찰조건에 따라 감마작용이 나타나는 경우가 있다는 것이 지적되고 있다[3].

따라서 본 연구에서는 이들 제인자를 고려하여 Die 및 Punch의 재료로 널리 사용되는 냉간성형용 Die

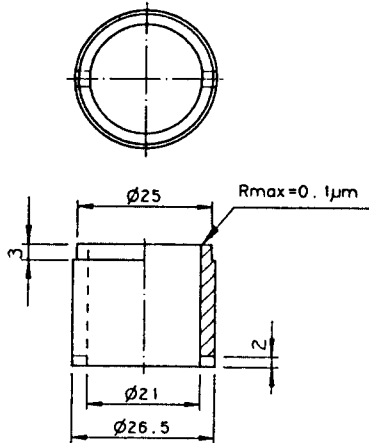


Fig. 1. Shape and dimension of wear specimen

Table 1. Chemical composition of the STD 11 (wt.%)

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Al
1.550	0.250	0.270	0.020	0.004	0.130	11.79	0.930	0.280	0.009

Table 2. Heat treatment condition and hardness of the testing materials

Heat treatment	Hardness(HrC)
1030°C O.C → 200°C A.C	59
1030°C O.C → 400°C O.C	56
1030°C O.C → 500°C O.C	57
1030°C O.C → 600°C O.C	46

강인 STD 11의 마멸특성을 알기 위하여 미끄럼속도, 접촉압력 및 미끄럼거리 등을 변화시켜 내마멸성을 나타내는 최적사용조건을 찾고자 하는 것을 목적으로 하였다.

## 2. 실험방법

### 2-1. 실험재료

본 실험에 사용한 실험재료는 냉간성형용 Die 강인 STD 11이며, 이를 Fig. 1과 같이 실린더형의 시험편으로 가공하였으며, 이의 화학적 성분은 Table 1과 같다. 그리고 시험편은 열처리시 탈탄의 방지를 위하여 노내에 Ar gas를 6l/min로 주입하여 아르곤가스 분위기화 한 후 1030°C에서 15분간 유지 후 유냉하였고, 이를 다시 200°C, 400°C, 500°C 및 600°C로 30분간 Tempering하였다. 그리고 Table 2에는 열처리

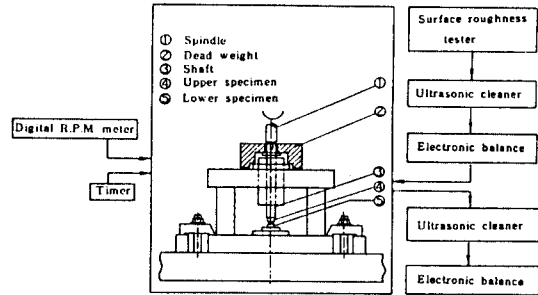


Fig. 2. Diagram of experimental apparatus

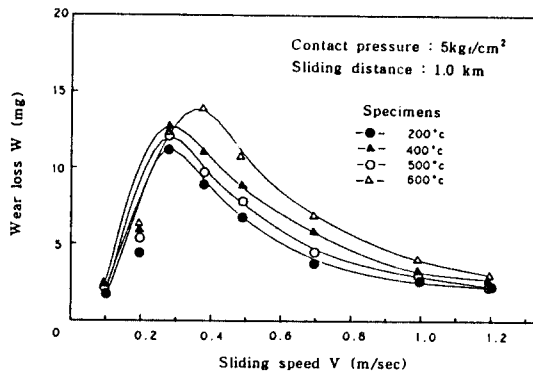


Fig. 3. Relation between wear loss and sliding speed

사이클 및 열처리 후의 경도를 나타내었다. 또한 마멸시험의 상대재는 Tempering 온도 200°C의 시험편을 사용하였다.

### 2-2. 실험방법

마멸시험을 위하여 Milling M/C에 설계 제작한 마멸시험장치를 부착하였으며, Fig. 2에는 이의 설도를 나타내었다. Fig. 1과 같은 양 시험편을 에머리페이퍼 #1200으로 마찰면조도  $R_{max} = 0.1 \mu m$ 로 정밀연마한 후 즉시 3분간 초음파세정 후 건조시켜 상대재인 Tempering 온도 200°C의 것을 하부에, 실험재료는 상부에 고정하여 각 실험조건에 따라 상부시험편을 회전시켜 그 단면이 순수 미끄럼 마찰이 되도록 하였다. 실험 후에는 마찰면에 부착된 마멸분 및 산화물을 제거하기 위하여 다시 3분간 초음파 세정 후 건조시켜 감도 0.1 mg의 디지털천칭으로 그 중량감소량을 측정하였다.

그리고 마찰면의 마멸과정을 관찰하기 위하여 마찰면 관찰은 주사전자현미경을, 마찰면 하방의 변질층의 정도측정은 마이크로 비커스 경도계를 이용하였으며, 또한 마멸분 및 산화물의 성분분석은 X-선

회절기를 사용하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3-1. 미끄럼속도에 따른 마멸특성

건조상태에서 서로 마찰하고 있는 두 재료에서 발생하는 응착마멸에 대하여 Holm[4] 및 Archard[5]의 이론에 의하면 마멸량은 접촉하중과 미끄럼거리에 비례하고 미끄럼속도에는 무관하지만 실제로는 그렇지 않는 것이 많고, 일반적으로는 어떤 미끄럼속도에서는 불연속적으로 마멸량이 격증한다.

Fig. 3에는 접촉압력  $P$ 를  $5 \text{ kgf/cm}^2$  및 미끄럼거리  $L$ 을  $1 \text{ km}$ 로 일정하게 하고 미끄럼속도  $V$ 를 단계적으로 변화시켰을 때 Tempering 온도를 달리한 각 재료의 마멸량  $W$ 를 나타낸 것이다. 그림에서 처럼 각 재료에서  $W$ 는 미끄럼속도  $V$ 가  $0.2 \text{ m/sec}$  이하의 속도영역에서와  $1 \text{ m/sec}$  이상의 고속영역에서는 적고, 대체로  $0.3 \text{ m/sec}$  부근에서  $W$ 가 극대치를 나타내고 있지만, Tempering 온도가  $600^\circ\text{C}$ 의 경우는  $0.4 \text{ m/sec}$ 에서  $W$ 의 극대치를 가진다는 것을 알 수 있다. 또한 Tempering 온도가  $500^\circ\text{C}$ 인 재료가  $400^\circ\text{C}$ 인 재료보다 각  $V$ 에서  $W$ 가 적게 나타나는 것을 볼 수 있다. 그리고 마멸실험 후 마찰면에는  $0.2 \text{ m/sec}$  이하의 속도영역에서는 적갈색의 산화물이,  $1.0 \text{ m/sec}$  이상의 속도영역에서는 흑색의 산화물이 마찰면 전 영역에 걸쳐 분포되어 있었으나  $0.3 \text{ m/sec}$  및  $0.4 \text{ m/sec}$ 의 속도영역에서는 유색의 산화물은 거의 보이지 않고 금속응착에 따른 금속특유의 광택이 나타나 있었다.

$V$ 가  $0.2 \text{ m/sec}$ 의 속도영역에서  $W$ 가 적은 것은 마찰에 의하여 생성된 미세한 마멸분이 산소의 흡착으로 즉시 산화하여 적갈색의 산화철분이 되어 마찰면의  $\square\square$ 을 덮어 이것이 전단강도가 낮은 경계윤활제의 역할을 하여 금속접촉을 방지하는 mild wear가 되기 때문이라고 생각된다. 그러나  $V$ 가  $0.3 \text{ m/sec}$ 와  $0.4 \text{ m/sec}$ 의 경우에는  $V$ 가 증가함에 따라 양금속간의 미소돌기부의 연속적인 응착이 일어나 이들의 전단으로 마멸되는 마멸속도보다 양금속 개개의 미소돌기가 접촉에서 다음 접촉을 할 동안 산소의 화학적 흡착으로 Fe 산화물의 생성을 위한 시간인 산화반응속도가 더 빠르게 진행된 것으로 판단되며 이로 인하여 마찰면에는 유색의 산화물 생성은 극히 적고 금속광택을 나타내는 severe wear가 되어  $W$ 는 극대치를 가지게 된다. 그리고  $V$ 가  $1.0 \text{ m/sec}$  이상의 고

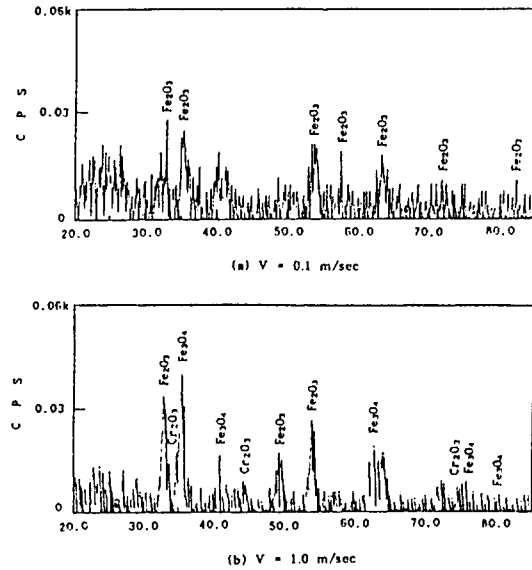


Fig. 4. X-ray diffraction of wear debris with variation of sliding speed

속영역에서는 마찰속도가 증가함에 따라 마찰면온도가 상승하여 다시 산화반응속도가 마멸속도보다 증가되어 미세한 마멸분의 산화가 급속히 진행된다. 따라서 이것이 흑색의 산화물이 되어 이들이 마찰면 상에서 경계윤활막을 형성하여 소성유동을 쉽게 일어나게 하므로 한층 양호한 윤활제의 역할을 하여 다시 mild wear가 되므로  $W$ 는 적다고 생각된다. 이처럼 미끄럼속도에 따른 산화물의 생성량 및 생성속도가  $W$ 에 직접적인 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

Fig. 4는 Tempering 온도가  $200^\circ\text{C}$ 인 재료에 대해 각 미끄럼속도에서 마찰면에 생성된 유색의 산화물의 주성분을 X-선회절법에 의하여 나타낸 것이다. 그림 (a)에서  $V$ 가  $0.1 \text{ m/sec}$ 에서는  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 가, (b)에서  $V$ 가  $1.0 \text{ m/sec}$ 에서는  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 가 산화물의 주성분으로서 이것이 전술한 바와 같이 STD 11의 마멸에 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 그리고 Fig. 5에는 Tempering 온도가  $200^\circ\text{C}$ 인 재료의 접촉압력  $P$ 가  $5 \text{ kgf/cm}^2$ 의 경우  $V$ 의 변화에 따른 마찰면의 성상을 나타낸 것으로서  $V$ 가  $0.1 \text{ m/sec}$ 인 (a)는 적갈색의 산화물, 그리고  $1.0 \text{ m/sec}$ 인 (c)에서는 흑색의 산화물이 마찰면 전 영역에 걸쳐 분포되어 있고, 특히  $1.0 \text{ m/sec}$ 의 고속영역에서 생성되는  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 의 산화물은  $0.1 \text{ m/sec}$ 에서 생성되는  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 보다 그 부착영역이 훨씬 넓게 형성되어 있는 것을 볼 수 있다. 이처럼 저속영역과 고속영역에 계면에 생성된 산화물은 모지금속보다

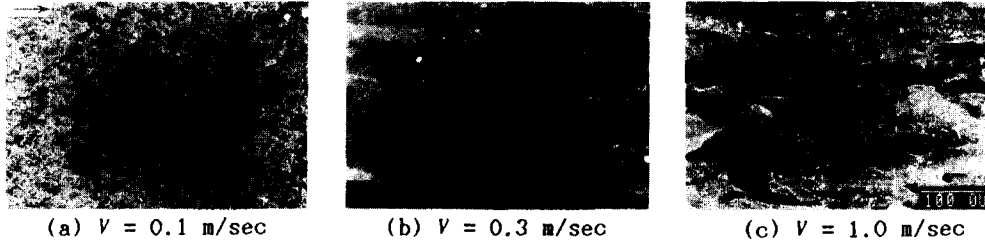


Fig. 5. Photographs of the rubbed surface;  $P=5.0 \text{ kgf/cm}^2$ ,  $L=1.0 \text{ km}$

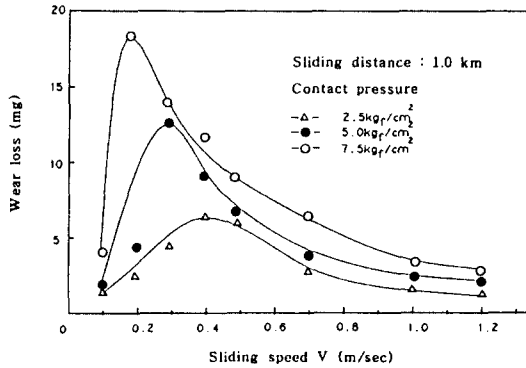


Fig. 6. Relation between wear loss and sliding speed

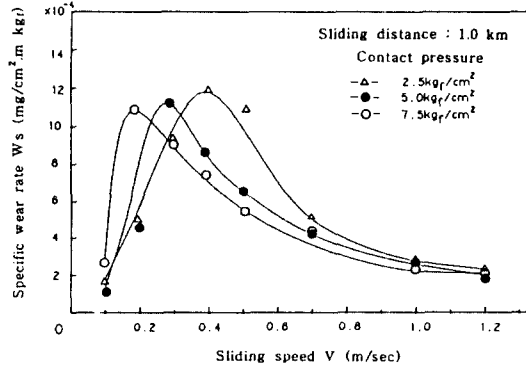


Fig. 7. Effect of sliding speed on the specific wear rate

결합력이 약하므로 쉽게 전단파괴되거나 산화물의 생성이 계속되기 때문에 mild wear가 계속된다고 생각된다. 그러나  $V$ 가  $0.3 \text{ m/sec}$ 인 (b)에서의 마찰면에는 유색의 산화물은 거의 찾아 볼 수 없으며, 금속응착으로 인하여 마찰방향(→표)으로 면이 분포되어 있는 severe wear 상태인 것을 알 수 있다. 특히 Tempering 온도가  $500^\circ\text{C}$ 인 재료가  $400^\circ\text{C}$ 인 재료보다  $W$ 가 적게 나타나는 현상은 냉간성형용 Die 강인 STD 11은 Tempering 온도가  $400^\circ\text{C}$ 를 넘으면 잔류오스테나이트가 냉각 도중에 마르텐사이트로 변태하여 2차 경화[6]를 일으키기 때문이라고 생각된다.

Fig. 6에는 Tempering 온도가  $200^\circ\text{C}$ 인 경우 미끄럼속도  $V$ 의 변화에 따른 각 접촉압력  $P$ 의 마멸량  $W$ 을, Fig. 7에는 이때의 비마멸율  $W_s$ 를 나타낸 것이다. 여기서  $W_s$ 는 다음 식으로 구하였으며  $A$ 는 겹보기 접촉면적,  $F$ 는 접촉하중이며  $L$ 은 미끄럼거리를 표시한다.

$$W_s = W / (A \cdot F \cdot L) \quad (1)$$

Fig. 6에서  $P$ 가  $2.5 \text{ kgf/cm}^2$ 에서는  $V$ 가  $0.4 \text{ m/sec}$ ,  $5 \text{ kgf/cm}^2$ 에서는  $0.3 \text{ m/sec}$  그리고  $7.5 \text{ kgf/cm}^2$ 에서는  $0.2 \text{ m/sec}$ 에서  $W$ 는 극대치를 나타내고 있으며 특히

$P$ 가  $7.5 \text{ kgf/cm}^2$ 의 경우가  $2.5 \text{ kgf/cm}^2$ 보다 약 2배 이상으로  $W$ 가 많다는 것을 알 수 있다. 그리고  $P$ 가 증가함에 따라서  $W$ 의 극대치를 나타내는 임계속도가 저속측으로 이행하고 있는 것을 볼 수 있다. 이것은  $P$ 가 증가함에 따라 결합부의 전단파괴를 일으키는 데에 필요한 마찰일이 증가하기 때문이며, 또한  $P$ 가 증가함에 따라 양금속간의 실접촉면적이 크게되어, 이에 따라 실접촉부의 온도가 상승하여 각 속도에 따른 산화반응속도에 영향을 주기 때문이라고 생각된다. 그러나 산화반응속도는 실접촉부의 온도에 따라 발생한 마멸의 산화과정이 다르고, 또한 산화물층의 파괴속도 및 회복속도, 산화물의 형태 및 성질에 의하여 마멸을 방지하는 효과가 변화하게 된다[7]. 그리고 Fig. 6에서 처럼  $W$ 의 극대치를 나타내는  $V$ 는  $P$ 에 따라 크게 변화하지만 Fig. 7에서와 같이  $P$ 에 대한  $W_s$ 의 극대치가 거의 비슷한 값을 표시하는 것은  $W$ 가  $P$ 에 거의 비례하기 때문이라는 것을 나타내고 있다.  $V$ 가 증가함에 따라 Fig. 7의  $W_s$ 가 다시 저하하는 것은 고온이 됨에 따라 응착결합부의 강도가 저하함과 함께 생성된 산화물층의 파괴속도가 회복속도보다 느리게 진행된다는 것을 의미하고 있다.

3-2. 마멸진행곡선의 미끄럼거리 특성

Fig. 8에는 접촉압력 P를 5 kgf/cm<sup>2</sup> 그리고 미끄럼 속도 V를 0.4 m/sec로 일정하게 하고 미끄럼거리 L을 단계적으로 변화시켰을 때 Tempering 온도를 달리한 각 재료의 마멸진행곡선의 마멸량 W를 나타낸 것이다. 각 재료는 대체로 V가 1 km까지는 W가 L에 비례하며 급격히 증가하지만 그 이상의 L에서는 천이를 일으키며 실험조건외의 L이 끝날 때까지 완만히 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 L이 1 km까지는 금속간 응착에 의하여 양금속간의 미소 돌기부의 소성변형이 진전되어 다량의 금속성입자인 마멸분이 생성되고 마찰면은 초기마멸상태가 되어 산화물의 생성이 극히 적은 severe wear 상태가 되며, L이 1 km 이상에서는 L의 증가와 함께 표면온도(bulk temperature)의 상승으로 인하여 미세한 마멸분이 산화물로 되어 마찰면을 덮어 응착을 방지하는 보호 피막의 역할을 하여 정상상태의 마멸인 mild wear가 되기 때문이라고 생각된다. 이처럼 Tempering 온도를 달리한 각 재료에서 초기마멸 영역과 정상마멸 영역에서의 마멸분의 형상을 Fig. 9에 나타내었다. 그림

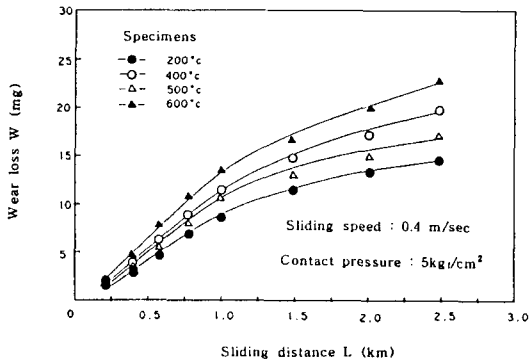


Fig. 8. Wear curves in wear loss with sliding distance

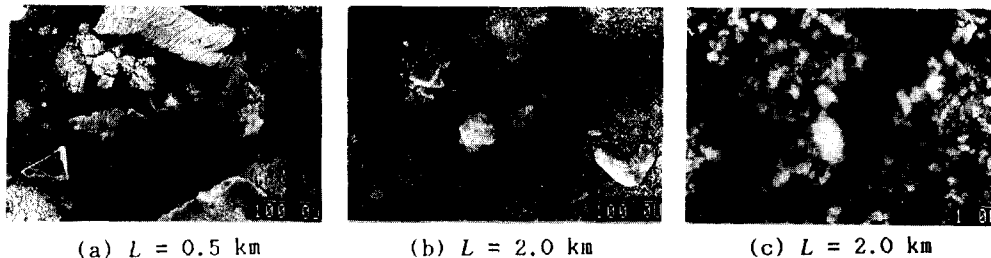
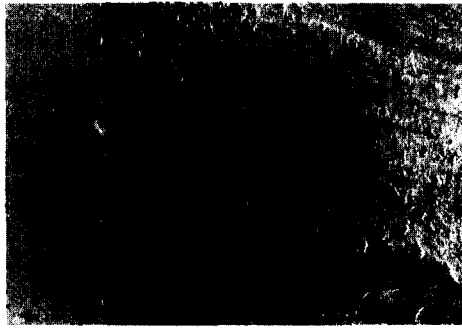
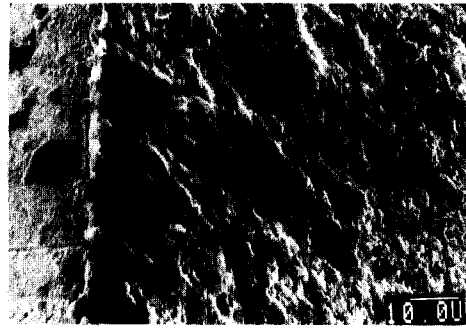


Fig. 9. Photographs of separated wear debris; P=5.0 kgf/cm<sup>2</sup>, V=0.4 m/sec

(a)에서 L이 0.5 km의 초기마멸영역에서는 계면에서 전단된 입도가 큰 마멸분을, L이 2.0 km인 (b)의 경우는 부분적으로 금속성 입자가 포함되어 있지만 대부분은 미세한 마멸분이 산화되어 이들이 응착된 밀집부분을 볼 수 있다. 그림 (c)에서는 (b)의 미세한 마멸분이 산화된 밀집부분을 확대하여 나타낸 것으로 그 입도는 약 1 μm 정도가 된다는 것을 알 수 있다. 遠藤[8]은 내산화성이 좋은 Cr 강은 동일한 경도를 가지는 탄소강에 비하여 mild wear가 되기 어렵고 초기 severe wear가 되는 거리가 길다고 하였지만 본 실험에서 STD 11의 마멸형태가 severe wear에서 mild wear로 천이하는 임계미끄럼거리 Lcr은 대체로 1 km 정도인 것을 알 수 있고, 임계미끄럼 거리는 mild wear가 나타나기 위한 잠복기간이며, 이것은 산화마멸입자의 생성과 그것으로 인한 산화물층의 형성에 의존된다고 생각된다. 이처럼 미끄럼거리에 따른 severe wear와 mild wear 상태를 나타내는 마찰면의 stereo 사진을 Fig. 10에 나타내었다. 그림 (a) L=0.5 km의 경우에는 severe wear 상태로서 마찰면 하방의 조직의 변화는 보이지 않지만 마찰면에는 금속응착의 양상을 볼 수 있고, 그림 (b) L=2 km에서의 mild wear 상태에서는 흑색의 산화물층이 분포되어 있는 것을 알 수 있다. 마멸진행과정에서 나타나는 severe wear 영역에서는 금속성입자가 계면에 존재하기 때문에 시험편의 양돌기부간의 간격이 상대적으로 크게 되며, mold wear로 천이하기 위해서는 계면에서의 금속간 접촉을 방지하여 하중을 지지하는 데에 충분한 양의 산화물층이 필요하게 된다. 따라서 미세한 마멸분이 산화되어 산화물층이 전체표면에 걸쳐 생성되면 실제 접촉면이 증대하기 때문에 실제접촉부의 접촉압력이 저하하여 접촉에서 연이은 접촉에 이르는 시간적 간격이 길어지므로 계속적인 산화막의 형성이 가능하게 된다고 생각된다. Quinn[9]은 이러한 산화막의 형성에 대하여 공기



(a)  $P = 5.0 \text{ kgf/cm}^2$   
 $L = 0.5 \text{ km}$



(b)  $P = 5.0 \text{ kgf/cm}^2$   
 $L = 2.0 \text{ km}$

Fig. 10. Stereo photographs of the rubbed surface; (a) Severe wear, (b) Mild wear

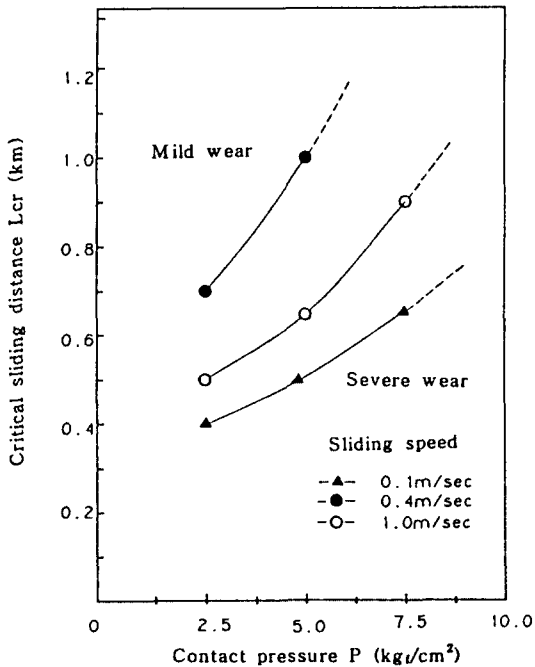


Fig. 11. Variation in the critical sliding distance with contact pressure

중에서 정적으로 생성된 산화막은  $100\text{\AA}$  이하 정도로 대단히 얇기 때문에 미끄럼마멸의 초기단계에서는 마멸방지 작용을 하지 못하지만, 마찰 중에는 실제 접촉부에  $2\sim 3\mu\text{m}$  정도의 두꺼운 산화막의 생성유무에 따라서 mild wear의 가능성을 표시하는 지표가 된다고 하였다. 한편 각 시험편에 있어서 Lcr 이상이 되는 mild wear 영역에서 W가 거의 0이 되지 않고 완만한 상승을 하는 것은 산화물층의 파괴와 회복이

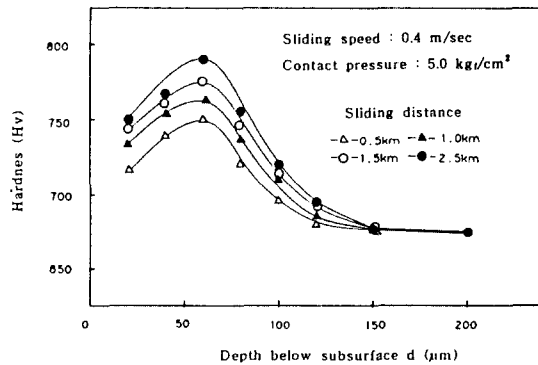


Fig. 12. Hardness distribution depending on the depth below subsurface

항상 반복되기 때문이며 만약 파괴속도가 회복속도보다 빠르게 되면 다시 severe wear로 전이가 일어나지만 Fig. 8에서 처럼 mild wear 영역에서는 산화물층의 파괴속도가 회복속도보다 늦기 때문에 mild wear 상태가 계속된다고 생각된다.

Fig. 11에는 미끄럼속도 V의 접촉압력 P에 따른 임계미끄럼거리 Lcr의 변화를 나타낸 것이다. 여기서 각 속도곡선의 상부는 mild wear 영역을, 하부는 severe wear 영역을 표시한다. 각 속도에서 P가 증가함에 따라 Lcr도 거의 직선적으로 증가하며 V가 0.4 m/sec인 경우가 0.1 m/sec와 1.0 m/sec에 비하여 severe wear 영역을 나타내는 Lcr이 훨씬 길어진다는 것을 알 수 있다. P가 증가함에 따라 Lcr이 거의 직선적으로 증가하는 현상은 P가 상승함에 따라 실제 접촉면적이 증가하여 접촉계면의 소성변형이 증대하고 이로 인하여 금속응착마멸이 지배적으로 작용하여

마멸속도가 산화물의 생성속도보다 증가하기 때문에 severe wear 영역을 나타내는 Lcr이 길어진다고 생각된다.

### 3-3. 미끄럼거리에 따른 표면하방의 경도변화

Fig. 12는 접촉압력 P를 5 kgf/cm<sup>2</sup>, 미끄럼속도 V를 0.4 m/sec로 일정하게 한 경우 미끄럼거리 L에 따른 접촉표면 하방의 경도(Hv)의 변화를 나타낸 것이다. 접촉표면으로부터의 경도는 접촉표면 하방의 어떤 깊이의 위치 d에서 극대치를 나타내고 그 값은 미끄럼거리가 길어질수록 증가하고 있다는 것을 알 수 있다. 즉 반복회수의 증가에 따라서 상승하며 대체로 d가 120 μm 이하가 되면 미끄럼거리에 관계없이 모재와 거의 같은 경도를 나타내고 있다. Rosenfield [10]는 미끄럼 마찰시 접촉계면 하방 어느 위치에서 전단이 먼저 우선적으로 일어난다고 하는 것처럼 접촉계면 하방의 깊이의 위치에 따른 경도의 분포는 표면하에서 소성유동이 시작되어 접촉압력의 반복작용으로 소성영역이 확대되면서 가공경화가 일어나기 때문이라고 생각된다. 그리고 그림에서 처럼 최대경도치를 표시하는 접촉표면 하방의 위치 d는 응력반복회수가 증가하여도 대체로 동일위치에 나타나며 거의 접촉계면에서 하방으로 60 μm 위치에서 나타난다는 것을 알 수 있다. 서로 상대하는 양재료의 마찰면의 1개의 돌기에 작용하는 수직하중에 의한 범선응력 σ와 마찰력에 의한 전단응력 τ는 Tresca의 항복조건[11]에 따르면

$$\sigma^2 + 4\tau^2 = Y^2 \quad (2)$$

이 된다. 여기서 Y는 연질재료의 단축응력의 항복점에 상당한다. 따라서 최대경도치를 나타내는 접촉표면하의 깊이의 위치는 식 (2)에서처럼 전단응력이 최대가 되는 위치에 나타나게 되며[12] 이 위치에서 가공경화가 최대로 되어 경도의 최대치가 나타난다고 생각된다.

## 4. 결 론

냉간성형용 Die 강인 STD 11의 마멸특성을 알기 위하여 미끄럼속도, 접촉하중 및 미끄럼거리 등을

변화시켜 미끄럼 마멸실험을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 미끄럼속도에 따른 STD 11의 마멸량 W는 0.3 m/sec 부근에서 극대치를 가지며 그 이하와 이상의 속도역에서는 경계유효막 효과로 W는 감소한다.
2. 비마멸율의 극대치를 나타내는 임계속도는 접촉압력이 증가함에 따라 저속속도로 이행한다.
3. Severe wear에서 Mild wear로 천이하는 임계 미끄럼거리는 약 1 km 정도이며 이는 산화반응속도에 크게 의존한다.
4. 응력반복회수에 따른 최대 경도를 표시하는 표면층 하방의 깊이는 가공경화되어 전단응력이 최대가 되는 60 μm 정도에서 나타난다.

## 참 고 문 헌

1. 佐藤忠雄, 相澤 カ, "프레스型材料と熱處理", 日刊工業新聞社, pp. 1-2, 1973.
2. 野呂瀬進, "耐摩耗材料とその將來", 潤滑, 第32卷, 第4號, pp. 241-246, 1986.
3. 中村 保, 村木正芳, "各種金屬素材の繰返し 摩擦における累積效果", 潤滑, 第30卷, 第2號, pp. 129-134, 1984.
4. R. Holm, "Electric Contacts", Hugo, Gerbers Ferlag, pp. 214, 1946.
5. J.F. Archard, "Friction between Metal Surface", Wear, 113, pp. 3-6, 1986.
6. 佐藤忠雄, 相澤 カ, "프레스型材料と熱處理", 日刊工業新聞社, pp. 77-81, 1973.
7. 朴興植, "오스텝퍼링한 低合金球狀黑鉛鑄鐵의 機械的 性質 및 磨滅特性에 관한 研究", 博士學位論文, pp. 49-52, 1989.
8. 遠藤吉郎, "金屬材料の表面損傷", 機械の研究, 第27卷, 第1號, pp. 8-14, 1975.
9. J.F.J. Quinn, "The Effect of Hot-Spot Temperatures on the Unlubricated Wear of Steel", ASLE trans., 10, pp. 158-168, 1967.
10. A.R. Rosenfield, "A Shear Instability Model of Sliding Wear", Wear, 116, pp. 319-328, 1987.
11. Tresca, H., "Sur l'écoulement des corps solides soumis a defortes pressions", C.R. Acad. Sci. Paris, 59, pp. 754, 1864.
12. 福井 昂, 松田公扶, "ステンレス鋼(SUS304, SUS405)のころがり 疲勞強度に及ぼす加工硬化の影響について", 潤滑, 第30卷, 第11號, pp. 811-815, 1985.