

무전해 니켈도금과 무전해복합도금 (Ni-P-X, X : SiC, Al₂O₃, Diamond)의 내마모성 비교

김 만, 장도연, 정용수, 노병호, 이규환

한국기계연구원 재료공정연구부

The Wear Resistance of Electroless Nickel and Electroless Composite(Ni-P-X, X : SiC, Al₂O₃, Diamond) Coating Layers

M. Kim, D. Y. Chang, Y. S. Jeong, B. H. Ro, and K. H. Lee

Korea Institute of Machinery & Metals, Changwon, Kyungnam 641-010

Abstract

A wear behavior of electroless Ni-P-X (X : SiC, Al₂O₃, Diamond) composite coating layers, formed under various conditions on commercial grade low carbon steel, has been investigated using Taber abrasion tester and scanning electron microscope.

Several factors, which are type of particles, co-deposited content, particle size, distribution of particles and heat-treatment, influenced the wear resistance.

The wear resistance of the composited coating layers after heat-treatment at 400°C for 1 hr was increased 70 times with diamond, 15 times with SiC and 8 times with Al₂O₃, compared with the electroless nickel plating layer without heat-treatment.

1. 서 론

무전해도금은 도금의 특성상 전기를 사용하지 않고 환원제의 화학적인 환원반응에 의해 도금이 이루어지므로, 각 부위별로 균일한 도금층을 요구하는 부품이나 복잡한 형상의 제품에는 현재 많이 적용되고 있다. 그 중에서도 무전해 니켈도금은 석출속도가 빠르고 액관리 및 안정성이 우수하며, 도금층 자체의 내식성과 광택이 우수하여 현장에서 가장 많이 사용되고 있으며, 경도와 내마모성에서도 일반 전기 니켈도금과 비교해서 매우 우수하여 일반 경질크롬의 대체도금으로 널리 활용되

고 있지만 도금층 자체의 경도나 내마모성을 경질 크롬도금 이상으로 요구하는 제품에는 적용이 불가능하다. 따라서 내마모성을 향상시키기 위한 여러가지 도금방법이 고려되고 있지만, 내마모성이 우수한 입자를 도금액에 분산하여 복합도금함으로써 도금층의 내마모성을 향상시켜 항공기부품, 자동차부품, 섬유기계부품 및 금형 등에 적용하려는 연구^{1~19)}가 많이 진행되고 있다. 이와같이 내마모성이 우수한 입자를 사용하여 분산도금한 도금층은 피막물성이 우수하고 내마모성이 현저하게 향상되는 것이 예상되지만, 입자의 크기에 따른 공석량과 내마모특성에 대한 체계적인 연구가

되어있지 않다. 따라서 본 연구에서는 무전해 니켈 도금층의 내마모성을 향상시키기 위하여, SiC, Al₂O₃, diamond 입자를 무전해 니켈도금액에 분산시켜 복합도금함으로써, 복합도금된 도금층의 공석량과 분포를 조사하고, Taber마모시험기를 사용하여 마모량을 측정하여, 입자의 종류와 크기에 따른 내마모특성을 상호 비교검토했다.

2. 복합도금층의 생성기구

도금액중에 분산된 내마모성 미립자가 석출금속과 공석해서 복합도금층을 형성하는 기구는 크게 두가지가 제시되고 있다. Guglielmi²⁰⁾는 복합도금층에 공석하는 미립자의 공석반응은 그림1에서 보는바와 같이 약한흡착과 강한흡착의 두가지 반응으로 이루어진다고 주장하였다. 우선 1단계로 Van der Waals력에 의하여 미립자가 음극면에 물리적인 약한흡착이 일어나고, 2단계로 Coulomb력에 의하여 미립자가 음극면에 강하게 흡착해서 석출하는 금속에 의해 매몰되면서 균일하게 분산이 이루어져 지속적인 반복작용으로 복합도금층이 성장한다고 주장하였다.

그러나 黒崎重彦²¹⁾은 그림2에서 보는바와같이 3단계의 과정을 거쳐 복합도금이 이루어진다고 주장하고 있다. 1단계로 도금액중에 분산된 미립자가

기계적인 교반으로 물리적으로 음극부근의 전기이중층(Helmholtz's double layer)으로 운반되어지고, 2단계로 전기이중층내의 높은 전위구배 안에서 전기를 띤 미립자가 전기영동으로 음극면으로 운반되어지며, 3단계로 음극면에 도달한 미립자는 그 표면에 흡착한 양이온과 음극과의 Coulomb력에 의해 음극면에 흡착되어, 주위에 석출하는 금속에 의해 매몰되면서 균일하게 분산된다고 주장하였다. 그러나 무전해도금법에 의한 복합도금층의 생성기구는 1단계로 도금액중에 분산되어있는 미립자가 용액의 교반작용에 의해 도금면에 운반되어 충돌흡

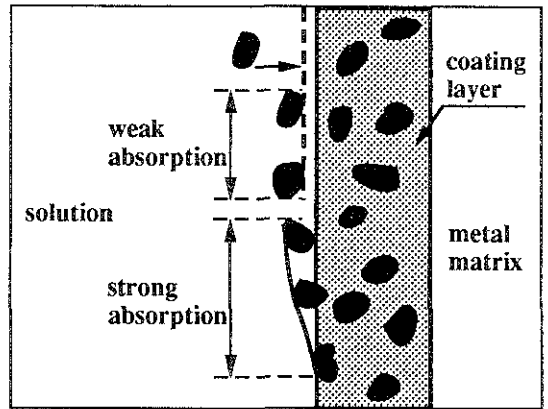


Fig. 1. Two step coating mechanism by Guglielmi.

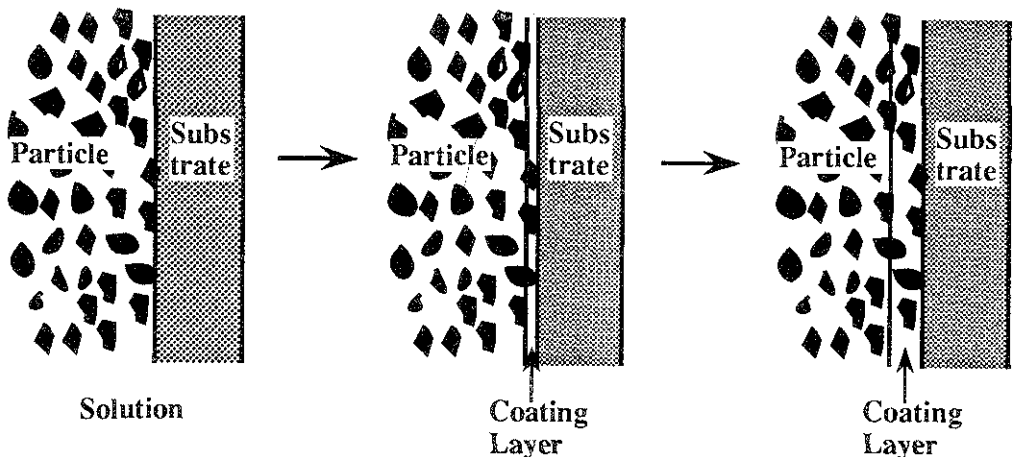


Fig. 2. Three step coating mechanism of metal matrix and dispersed particle.

작이 일어나고, 2단계로 흡착해서 활성화한 도금면에 금속이온이 환원해서 석출하면, 순간적으로 미립자가 매몰되고 환원되는 금속이 미립자 주위에 계속 석출됨으로써 복합도금층이 형성되는 것으로 생각된다.

3. 실험방법

3.1 시험편

본 실험에 사용한 시험편의 화학적 조성은 표1과 같다.

Table 1. Chemical composition of commercial grade low carbon steel specimen.

(wt%)					
C	Si	Mn	P	S	Fe
0.056	0.047	0.19	0.016	0.013	Bal.

위 조성의 판재를 Taber마모시험이 가능한 크기인 100×100×1.2(mm)로 절단하여 중앙에 6mmφ의 구멍을 뚫고 한면을 연삭가공하였으며 한면은 마스킹하여 도금할 표면적을 1dm²로 하였다.

3.2 도금액 및 도금조건

무전해 Ni-P-X복합도금을 위한 도금액 및 도금조건은 표2와 같다.

Table 2. Composition of the solution and plating condition.

COMPOSITION		CONDITION	
Nickel sulfate	30g/ℓ	Temperature	90℃
Sodium hypophosphate	40g/ℓ	pH	4.7
Sodium succinate	30g/ℓ	Air	30 ℓ/h
Lead nitrate	3 μm		

3.3 내마모성 입자

무전해 복합도금에 사용한 내마모성 입자는 SiC, Al₂O₃(不二見研摩劑工業(株) 제품), diamond(General Electric사 제품) 입자를 사용하였으며 SiC는 1.2μm, 6.7μm, 14μm, 20μm의 입자를 사용하고, Al₂O₃

는 1.2μm, 6.7μm, 11.5μm, 20μm의 입자를 사용하였으며, diamond는 1.5μm, 5μm의 입자를 사용하여 복합도금하였다.

3.4 도금장치

본 실험에 사용한 도금장치는 그림3과 같이 pyrex유리를 가공하여 제작하였으며, 도금장치의 아래부분에 설치된 glass filter를 통하여 공급되는 공기에 의해 도금액중에 부유되게 하였고, 시편은 Takano 등¹³⁾이 실험한 결과를 토대로 30° 각도로 설치하였다.

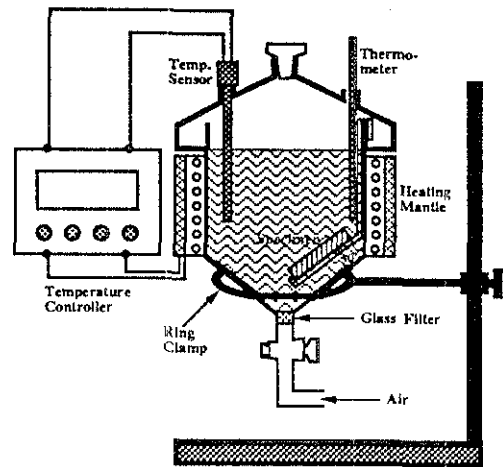


Fig. 3. Schematic diagram of experimental apparatus for electroless Ni-P-X composite coating.

3.5 현미경 관찰

무전해 Ni-P-X복합도금한 표면을 SEM을 이용하여 입자의 부착상태를 확인하고 마모시험 후 입자의 부착 및 이탈상태를 관찰하였으며, 또 복합도금된 도금층을 mounting 후 연마하여 공석량의 변화를 금속현미경으로 관찰하였다.

3.6 공석량 분석

도금층에 공석된 내마모입자의 공석량은 현미경 관찰용으로 mounting하여 제작된 시료를 사용하여 Image Analyser(LECO 2001 IMAGE ANALYSER)를 사용하여 분석하였다.

3. 7 열처리

복합도금한 도금층의 열처리는 진공로에서 400℃, 1시간 열처리하여 마모시험을 통하여 열처리효과를 비교하였다.

3. 8 마모시험

도금층의 내마모성을 측정하기위한 마모량측정은 그림4에 개략적으로 나타낸 것과같이 Taber마모시험기를 사용하여 하중 1000g, 회전속도 72rpm, 연마석 H-10을 사용하여 매 1000회 마모시험 후 시료의 무게감량을 측정하고, 연마석도 diamond로 연마하여 초기상태와 동일한 조건을 유지하였다. 총 마모시험은 5000회씩 실시하였다.

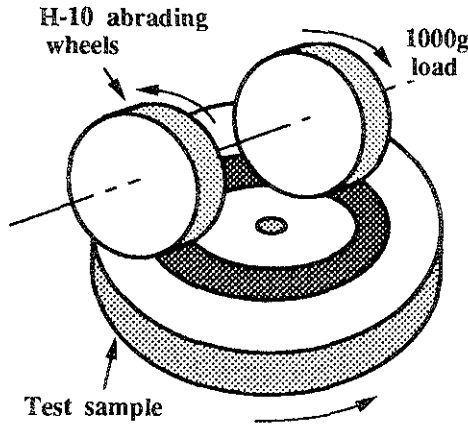


Fig. 4. Schematic diagram of taber wear test.

4. 연구결과 및 고찰

4. 1 미립자 분산에 따른 도금두께의 변화

본 연구에서는 우선 SiC입자와 Al₂O₃입자를 첨가하였을때와 첨가하지 않았을때 무전해 니켈도금욕의 도금두께를 관찰하였다.

그림5의 (a)는 무전해 니켈도금욕에 6.7μm의 SiC입자를 첨가하였을때와 첨가하지 않았을때 도금두께의 변화를 도금시간에 따라 조사한 것이다. SiC입자를 첨가하지 않았을때와 첨가하였을때 도금두께는 도금시간이 증가함에 따라 거의 직선적으로 증가하는 경향을 나타내고 있다. SiC입자의 양이 1.25~5.00g/l의 범위에서는 분산입자의 양이 증가하더라도 도금두께는 거의 변화가 없었으나, 입자가 첨가되지않은 경우와 비교해서는 80분 도금한 경우 약 5%의 두께감소가 확인되었다. (b)는 무전해 니켈도금욕에 6.7μm의 Al₂O₃입자를 첨가하였을때와 첨가하지 않았을때 도금두께의 변화를 도금시간에 따라 조사한 것이다. Al₂O₃입자를 첨가하지 않았을때와 첨가하였을때 SiC의 경우와 같이 도금두께는 도금시간이 증가함에 따라 거의 직선적으로 증가하는 경향을 나타내고 있으며, Al₂O₃입자의 양이 증가함에 따라 도금속도가 조금씩 감소하는 경향을 나타내었으며, 10g/l첨가한 경우에는 도금속도가 약 10%감소하였다. 이 결과는 무전해 니

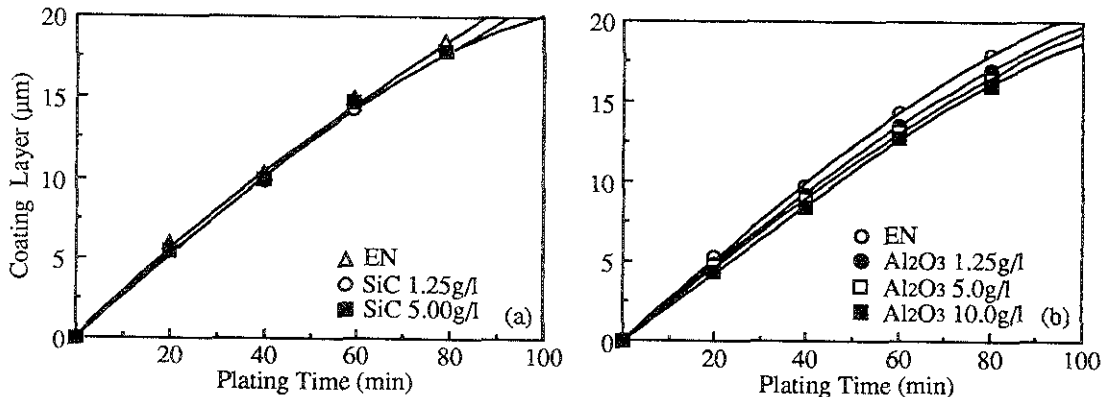


Fig. 5. The relationship between plating time and coating layer in the electroless nickel plating & electroless Ni-P-X composite coating : (a) SiC; (b) Al₂O₃

켈도금이 진행되는 과정에서 미립자가 첨가됨으로써 분산된 미립자에 의해 도금되는 유효표면적이 상대적으로 감소하고, 미립자의 양이 증가하면 입자의 충돌에 의해 도금되는 유효표면적은 더욱더 감소하여 니켈이온이 환원되어 석출하는 것을 방해하므로써 전체 도금두께가 감소한 것으로 사료된다.

4. 2 공석량과 분포

무전해 니켈도금액중에 첨가한 내마모성 미립자의 양에 따라 도금층에 공석되는 공석량의 변화를 조사하기 위하여 SiC는 1.2 μ m, 6.7 μ m, 14 μ m, 20 μ m 입자를 사용하고, Al₂O₃는 1.2 μ m, 6.7 μ m, 11.5 μ m, 20 μ m 입자를 사용하여 첨가량을 변화시키면서 공석량과 분포를 조사하고, diamond는 1.5 μ m, 5 μ m의 입자에 대하여 그 분포만 조사하였다. 그림6의 (a)는 도금액중에 첨가한 SiC양에 따른 도금층내의 공석량의 변화를 나타낸것으로 1.2 μ m의 미세한 입자는 도금액중에 1.25g/l첨가되었을때 공석량이 약 10v/o였으며, 그 이상 첨가하여도 공석되는 SiC의 양은 크게 증가되지 않았다. 그러나 6.7 μ m의 경우에는 1.25g/l첨가되었을때 공석량이 약 25v/o로 급격하게 증가하였으나, 그 이상 첨가한 경우에는 서서히 증가하는 경향을 나타내었다. 14 μ m와 20 μ m의 경우에는 1.25g/l첨가되었을때 각각 약 28v/o와 약 35v/o였으며 그 이상 첨가한 경우

에는 서서히 증가하는 경향을 나타내었다. (b)는 Al₂O₃의 공석량의 변화를 나타낸것으로 SiC의 결과와 비슷한 경향을 나타내고 있으며 공석량도 비슷한 값을 나타내고 있다. 이상의 결과에서 도금액중에 첨가되는 미립자의 공석량은 미립자의 종류에는 큰 영향이 없으며, 첨가한 미립자의 양에 비례해서 공석량이 증가되지않고 일정량 이상이되면 서서히 증가하는 경향을 나타내며 미립자의 크기가 클수록 공석량이 증가하는 것을 알 수 있었다.

이들 공석량의 변화와 입자분포를 관찰하기위하여 표면을 연마하여 금속현미경으로 관찰하였다. 그림7은 SiC, Al₂O₃, diamond 미립자의 양을 2.5g/l으로 일정하게 첨가하여 복합도금한 도금층의 표면을 현미경으로 관찰한것으로 SiC와 Al₂O₃를 첨가한 경우에는 미세한 입자크기에서도 도금층내에 균일하게 분포되어있지만 diamond입자크기가 1.5 μ m의 경우에는 균일하게 분산되어 있지않고 부분적으로 diamond입자가 뭉쳐져서 불균일한 현상이 나타났으나 5 μ m입자크기에서는 균일하게 분산된 결과를 나타내었다. 이 결과는 미세한 diamond입자가 도금액중에 균일하게 분산되지않고 서로 작게 응집된 형태로 붙어있다가 도금층내에 그대로 공석이 된것이며, 입자가 커짐에따라 서로 결합하려는 힘이 상대적으로 약하게 되어 균일하게 도금액중에 분산된 것으로 생각된다. 이상의 결과에서 미세한

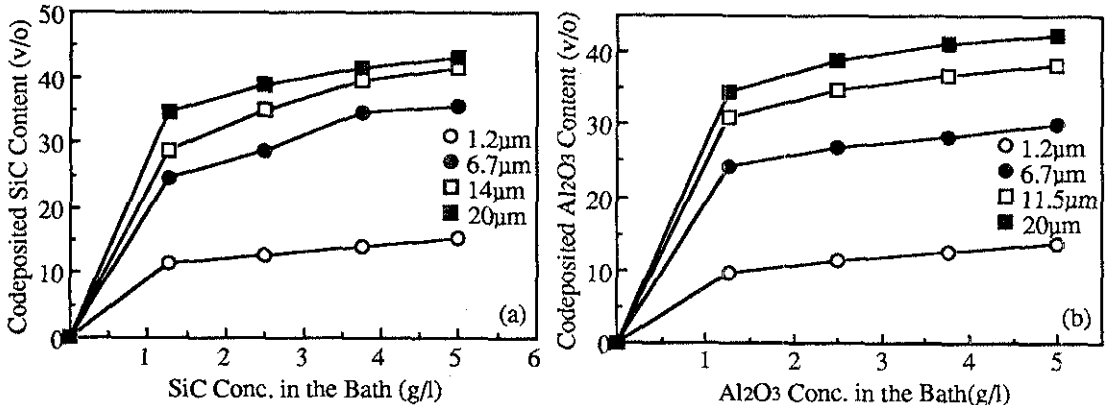


Fig. 6. The relationship between particle concentration in the bath and codeposited particle content :
 (a) SiC; (b) Al₂O₃

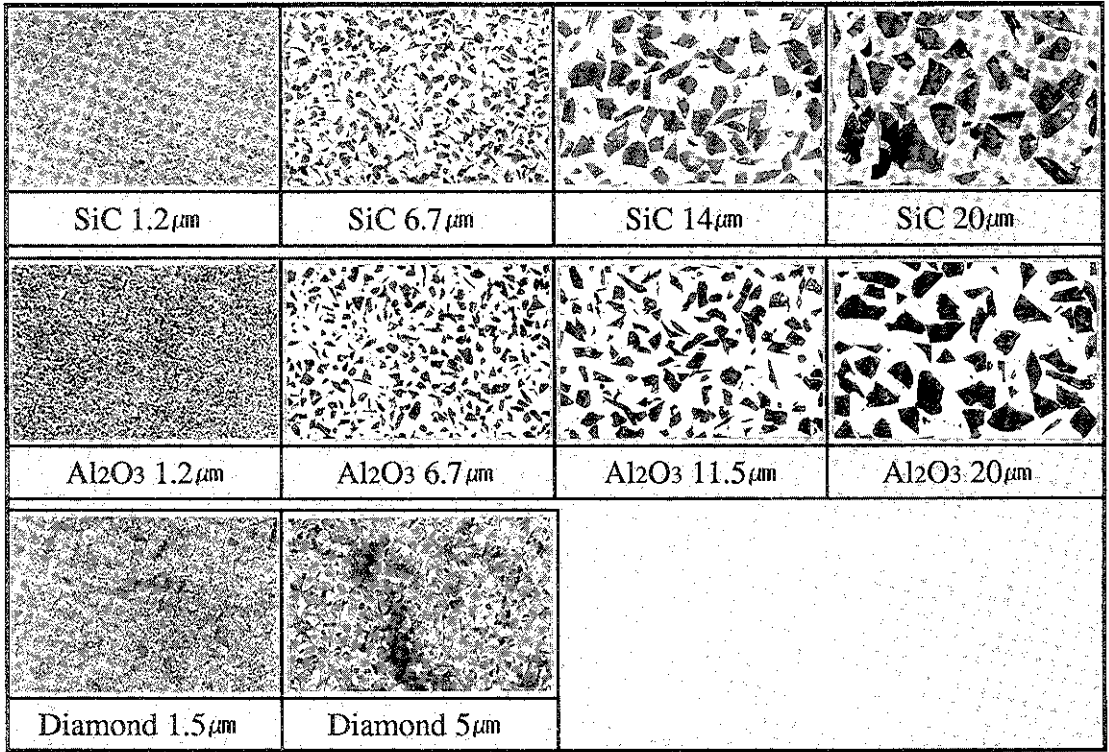


Fig. 7. Distribution of codeposited particles in the electroless Ni-P-X composite coating layers. (2.5 g/l)

diamond입자를 공석할 경우에는 계면활성제 등으로 우선 분산시킨 후 도금액에 첨가하여야 할 것으로 사료된다.

적으로 잘 알려진 열처리효과에 따른 비정질상태의 Ni-P도금층이 Ni₃P상태로 결정화해서 경도가 Hv 900-1000정도까지 상승한 것으로 사료된다.

4. 3 마모량의 변화

4. 3. 1 무전해 니켈도금 후 마모량변화

무전해 니켈복합도금한 도금층의 내마모성을 비교하기 위하여 우선 무전해 니켈도금한 도금층에 대하여 마모시험을 하였다. 그림8은 무전해 니켈도금 후 도금된 상태와 도금 후 400℃에서 1시간 열처리 하였을때 도금층의 마모량을 비교한 것이다. 마모량은 마모횟수가 증가함에 따라 거의 직선적으로 증가하고 있으며, 열처리한 경우에는 열처리 하지않은 경우와 비교해서 5000회 마모시험 후 마모량이 거의 1/3정도로 감소하였다. 이 결과는 일반

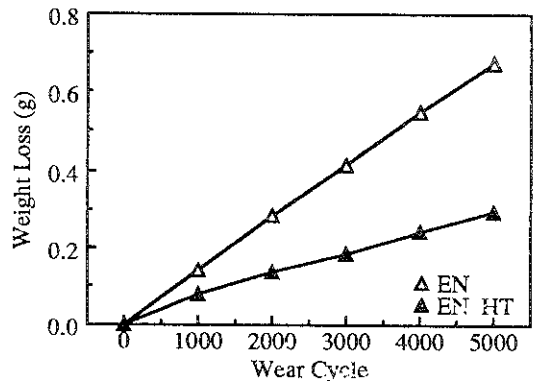


Fig. 8. The change of weight loss as a function of wear cycle.

4. 3. 2 복합도금 후 마모량변화

본 연구에서는 무전해 니켈복합도금층의 마모량과 초기마모 특성을 조사하기 위하여 SiC, Al₂O₃, diamond미립자가 함유된 도금층에 대하여 Taber 마모시험을 하였다. 그림9-A는 SiC를 복합도금 후 마모시험한 결과이고, 그림9-B는 Al₂O₃를 복합도금 후 마모시험한 결과이며, 그림9-C는 diamond를 복합도금 후 마모시험한 결과이다.

그림9-A에서 보는바와 같이 마모량은 도금액 중에 첨가된 SiC의 양이 증가할수록 줄어드는 경향을 나타내고 있다. (a)와 같이 입자크기가 1.2 μ m와 같이 미세한 경우에는 공석량이 증가해도 마모량이 크게 감소하지 않았으나 (b)와 같이 입자크기가 6.7 μ m인 경우에는 마모량이 급격하게 감소하였다. 그러나 입자크기가 14 μ m인 (c)와 20 μ m인 (d)에서는 (b)와 비교해서 마모량이 오히려 증가하

는 경향을 나타내었다. 이와같이 도금한 상태에서 SiC입자가 커짐에 따라 마모량이 감소하다가 다시 증가하는 것은 도금액중에 첨가한 SiC입자크기가 커짐에 따라 도금층내에 공석되는 공석량이 증가하므로써 마모량이 감소하고, 14 μ m이상에서 오히려 마모량이 증가하는것으로 나타난것은 앞서 설명한 복합미립자의 전착기구에서 보는바와같이 미립자가 도금층내에 매몰될때 복합미립자가 크기때문에 도금층밖으로 많이 노출되어있다가 미립자가 마모시험 초기에 연마석에 의해 마모되는 것이아니라 연마석과 충돌에의해 도금층 밖으로 이탈되기 때문에 마모량이 증가한 것으로 사료된다. 본 연구에서 복합도금층의 평균두께가 18 μ m 정도로 14 μ m이상의 입자크기에서는 도금초기에 공석된 입자만 도금층에 깊이 공석되어있어 내마모성 향상에 기여하지만, 그후에 공석된 미립자는

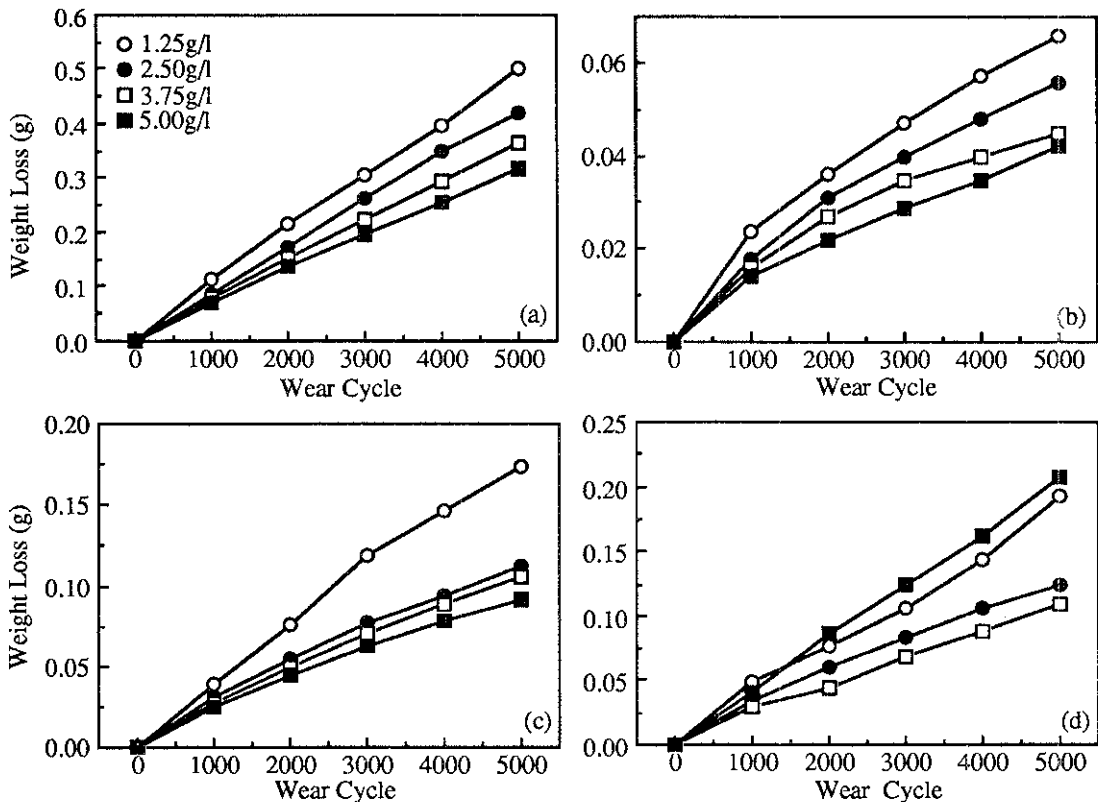


Fig. 9-A. The change of weight loss as a function of wear cycle in the electroless Ni-P-SiC composite coating layer :

(a) 1.2 μ m;

(b) 6.7 μ m;

(c) 14 μ m;

(d) 20 μ m.

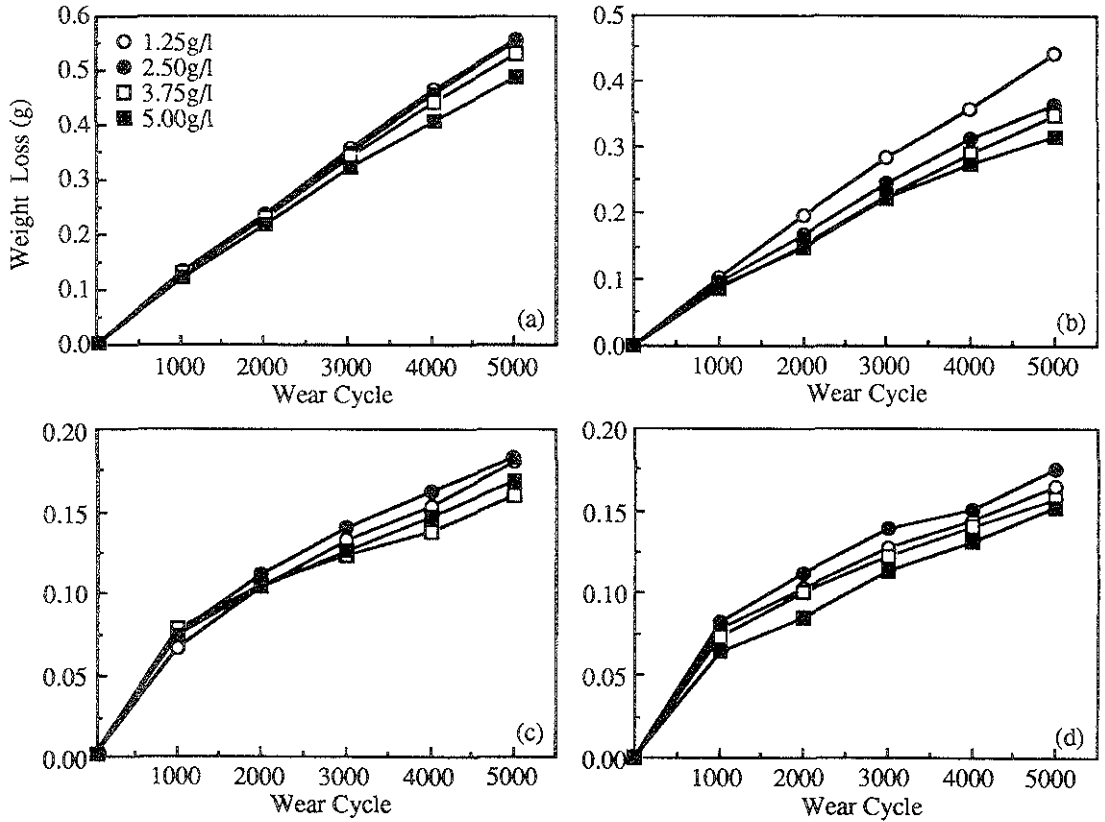


Fig. 9-B. The change of weight loss as a function of wear cycle in the electroless Ni-P-Al₂O₃ composite coating layer :
 (a) 1.2μm; (b) 6.7μm; (c) 11.5μm; (d) 20μm.

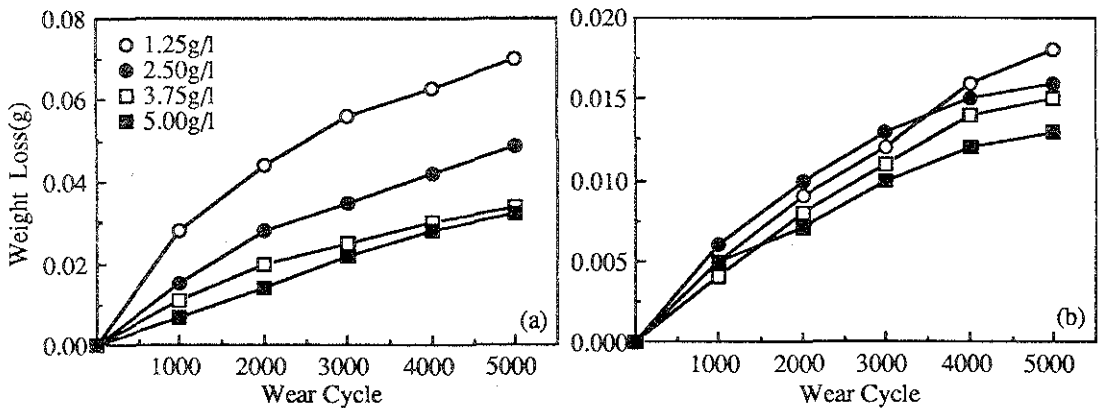


Fig. 9-C. The change of weight loss as a function of wear cycle in the electroless Ni-P-Diamond composite coating layer :
 (a) 1.5μm; (b) 5μm.

도금층밖으로 많이 노출되어있다가 마모시험 초기에 연마석과 충돌되어 상당량 이탈된것으로 사료된다. 이를 확인하기 위하여 6.7 μ m와 14 μ m입자에 대하여 마모하기전의 상태와 초기 1000회 마모시험 후의 마모시험한 부위를 SEM으로 관찰한 결과는 그림10과 같다.

그림10에서 보는바와같이 SiC입자크기가 6.7 μ m와 14 μ m인 복합도금층 모두 마모시험 과정에서 입자가 이탈되어 구멍이 형성된 것을 발견할 수 있으나, 14 μ m의 경우 입자크기가 상대적으로 크기때문에 실제 마모에의한 마모량이 아니라 입자가 도금층에서 이탈되어 마모량이 증가한것과 같은 현상이 나타났다.

그림9-B에서 보는바와 같이 Al₂O₃를 첨가한 경우에도 SiC를 첨가한 경우와 비슷한 경향을 나

타내고 있으며 첨가량에대한 효과보다 입자크기에 훨씬 더 큰 영향을 받고있음을 알 수 있다. SiC와 비교해서 Al₂O₃의 경우 11.5 μ m에서 최소마모량을 나타내는것은 초기마모시 SiC의 경우에는 경도가 높기때문에 입자가 커지면 연마석과의 충돌에의해 도금층에서 이탈되지만, Al₂O₃의 경우에는 입자가 커서 도금층 밖으로 많이 노출되어 있어도 경도가 낮기때문에 이탈되지않고 연마석에의해 마모가 일어나기 때문으로 사료된다. 전반적으로 Al₂O₃를 첨가한 복합도금층의 마모량은 SiC를 첨가한 경우보다 많았으나 무전해 니켈도금한 경우와 비교해서는 약 1/4로 감소하였다.

그림9-C는 diamond를 첨가한 경우 마모량의 변화를 나타낸것으로 마모횟수가 증가함에 따라 마모량이 증가하는 경향을 나타내고 있다. Diamond

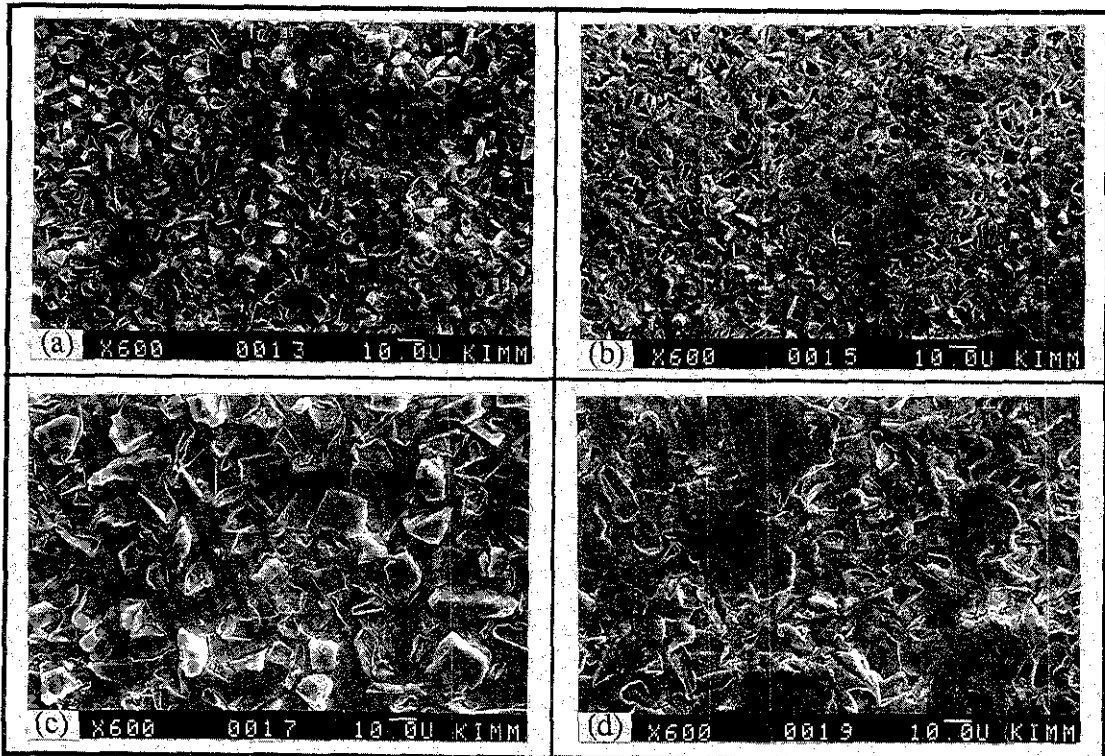


Fig. 10. Surface morphology of electroless Ni-P-SiC composite coating layer before & after 1000cycle wear test(x600) :

- (a) 6.7 μ m, before wear test; (b) 6.7 μ m, after wear test;
 (c) 14 μ m, before wear test; (d) 14 μ m, after wear test.

입자를 첨가한 경우에는 SiC나 Al_2O_3 를 첨가한 경우보다 내마모성이 월등히 향상되었으며 첨가량이 증가함에 따라 마모량이 감소하는 경향을 나타내고 있다. 그러나 앞서 언급한 바와같이 1.5 μm diamond 입자를 첨가한 경우에는 입자들이 균일하게 분산되지 않고 부분적으로 불균일하게 뭉쳐있다가 마모시험시 한꺼번에 떨어져나가서 부분적으로 니켈 도금층이 노출되는 현상이 발생하였다. 그림 11은 마모시험한 표면의 마모상태를 관찰한 것으로 1.5 μm diamond 입자를 복합도금한 경우 부분적으로 불균일한 형태로 남아있으며 입자들이 뭉쳐져서 약하게 결합된 부분이 우선적으로 마모되거나 이탈되어 있음을 발견하였다.

4. 3. 3 열처리후 마모량변화

본 연구에서는 복합도금 후 니켈도금층의 경도를 높혀 내마모성을 향상시키기 위하여 열처리를 하였다. 열처리는 진공분위기에서 400 $^{\circ}C$ 로 가열하여 1시간 열처리하였다. 그림 12는 복합도금하여 열처리 후 마모시험한 결과이다.

그림 12에서 보는바와같이 내마모성 입자가 첨가됨에 따라 마모량의 변화는 열처리하기전과 비교해서 비슷한 경향을 가지고 있으나 마모량은 현저하게 감소하였다. 열처리 하더라도 SiC의 경우 6.7 μm 입자일때 마모량이 최소값을 나타내고 있으며, 14 μm 입

자의 경우에도 열처리 전에는 6.7 μm 입자의 마모량과 상당한 차이가 있었으나 열처리 후 마모량은 큰 차이가 없었다. 그것은 복합도금한 시편을 열처리함으로써 도금층 자체의 경도가 향상되고 미립자와의 결합력이 증가하여 입자크기가 커더라도 마모시험시 이탈되지 않고 도금층에 견고하게 부착되어 있기 때문이다. Al_2O_3 의 경우에는 11.5 μm 입자일때 마모량이 가장 적으며 그다음이 6.7 μm 이고 그다음이 20 μm 입자의 순으로 마모량이 감소하고 있다. Diamond를 첨가하여 열처리한 경우 열처리에 의해 마모량이 감소하였으나 그 효과는 SiC나 Al_2O_3 만큼 크지는 않았으나 가장 우수한 내마모성을 나타내었다.

4. 3. 4 초기마모

이상에서 설명한 바와같이 미립자를 복합도금하여 내마모성을 비교한 결과 입자의 종류와 크기에 따라 마모시험초기에 연마석과의 충돌에 의해 복합도금층에서 입자가 이탈됨으로써 전체적인 마모량이 큰 차이가 있음을 발견하였다. 특히 입자가 커짐에 따라 공석량이 증가하여 마모량이 감소할 것으로 생각되었으나 마모시험 초기에 연마석과의 충돌에 의해 도금층 밖으로 이탈되어 전체마모량이 증가하는 현상이 나타나 비정상적인 마모가 발견되어 초기마모가 상당히 중요함을 알 수 있었다. 이것을

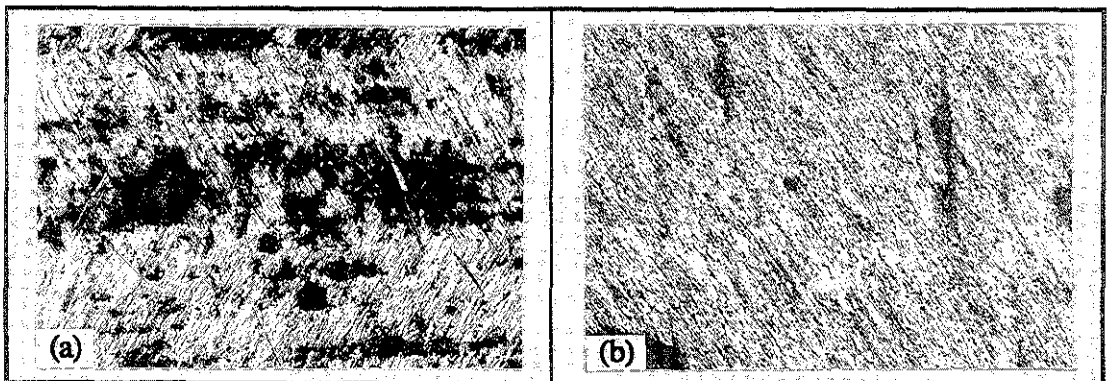


Fig. 11. Surface morphology of electroless Ni-P-Diamond composite coating layer after 5000cycle wear test(x50) :
(a) 1.5 μm ; (b) 5 μm .

위하여 SiC입자에 대하여 초기마모량을 구하여 아래의 식으로 초기마모율을 계산하였다.

$$\text{초기마모율} = \frac{\text{최초1000회동안 마모감량}}{\text{전체 5000회동안 마모감량}} \times 100(\%)$$

초기마모율은 5000회 마모시험하는 동안에 초기의 1000회 마모감량으로 부터 계산하였다. 그림13은 SiC입자의 크기에 따른 초기마모율을 나타낸 것이다.

그림13에서 보는 바와같이 입자크기가 증가할수록 초기마모율은 증가하는 경향을 나타내고있으며 열처리한 경우에는 초기마모율이 전체마모의 약 60%정도까지 증가하였다. 이 결과는 초기 1000회 마모시험한 마모량이 5000회 마모시험한 마모량의 약 60%정도로 초기에 마모가 급격하게 일어나고 그 후에는 마모회수가 증가하더라도 마모량이

서서히 증가하는 정상마모의 특성을 나타내었다. 따라서 복합도금층의 초기마모를 줄이면 그 후에는 마모량이 현저하게 감소함을 알 수 있었다. 초기마모량을 줄이기 위해서는 가능한한 입자크기를 작은 것으로 사용하고 큰 입자의 경우에는 복합도금층에서 도금 후 입자가 첨가되지않은 도금층에서 일정시간 도금하여 초기에 이탈되는 입자를 최소화함으로써 초기마모를 방지할 수 있을것으로 사료된다.

4. 3. 5 마모량 종합비교

복합도금한 도금층의 도금상태와 열처리후의 시험편에 대하여 내마모성을 상호 비교 검토하였다. 그림14는 SiC, Al₂O₃, Diamond를 첨가하여 복합도금한 도금층의 내마모성을 종합적으로 비교한 것이다.

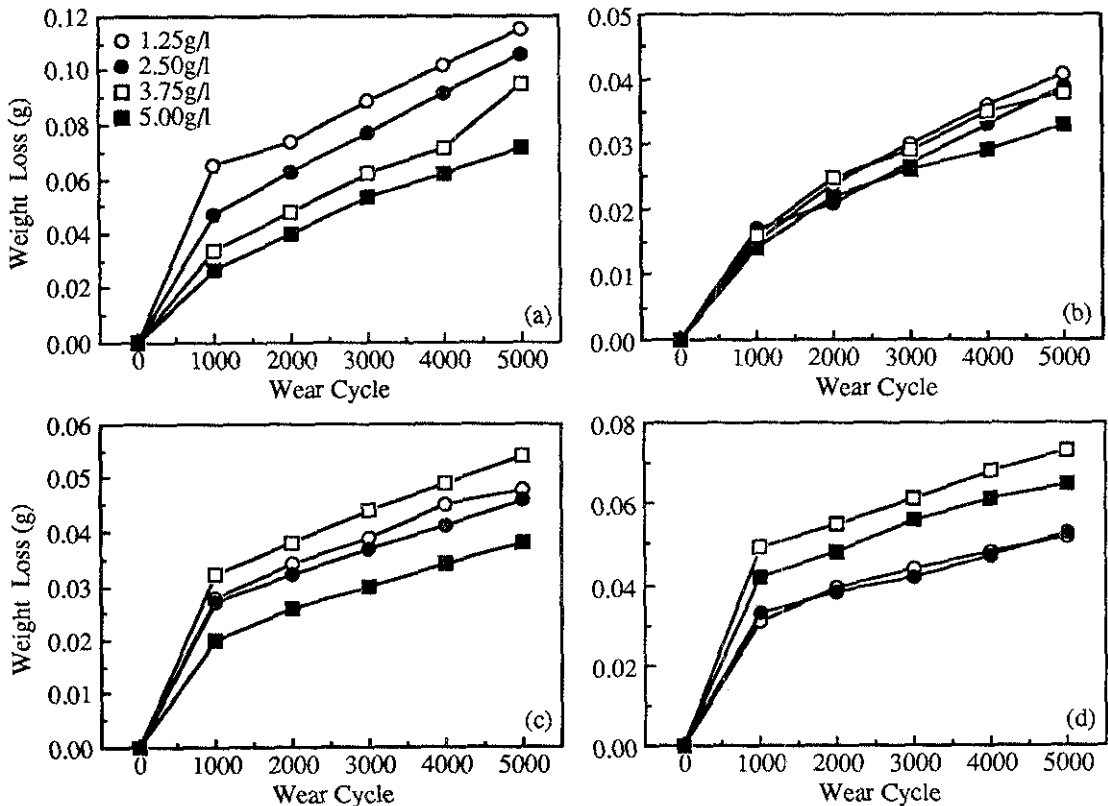


Fig. 12-A. The change of weight loss as a function of wear cycle in the electroless Ni-P-SiC composite coating layer heat-treated at 400°C for 1hr :

(a) 1.2; μm (b) 6.7μm; (c) 14μm; (d) 20μm

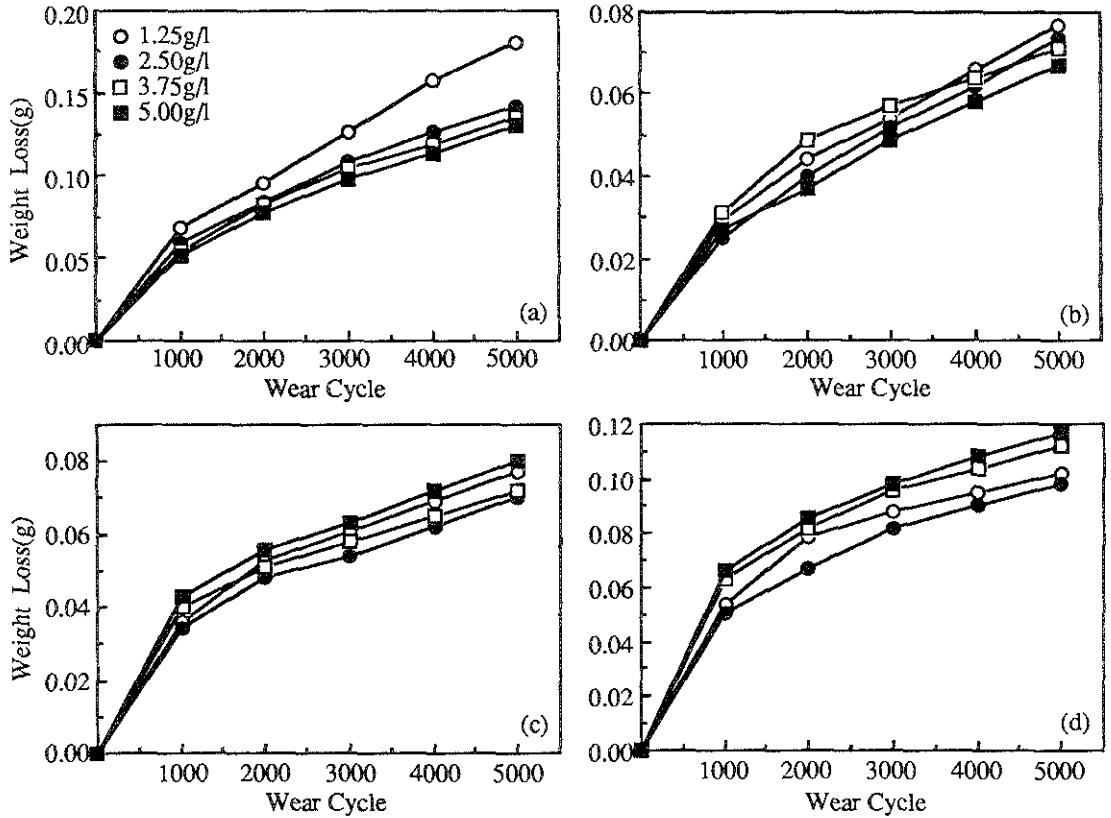


Fig. 12-B. The change of weight loss as a function of wear cycle in the electroless Ni-P-Al₂O₃ composite coating layer heat-treated at 400°C for 1hr :
 (a) 1.2 μm; (b) 6.7 μm; (c) 11.5 μm; (d) 20 μm.

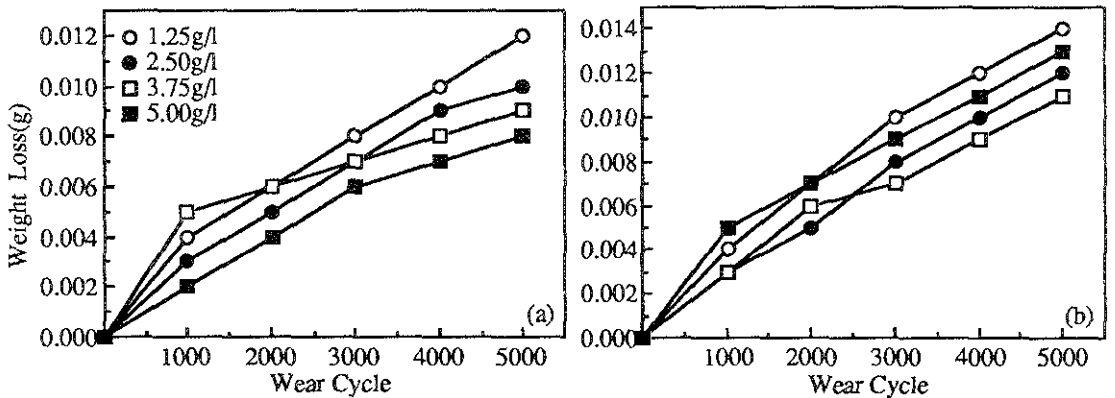


Fig. 12-C. The change of weight loss as a function of wear cycle in the electroless Ni-P-Diamond composite coating layer heat-treated at 400°C for 1hr :
 (a) 1.5 μm; (b) 5 μm.

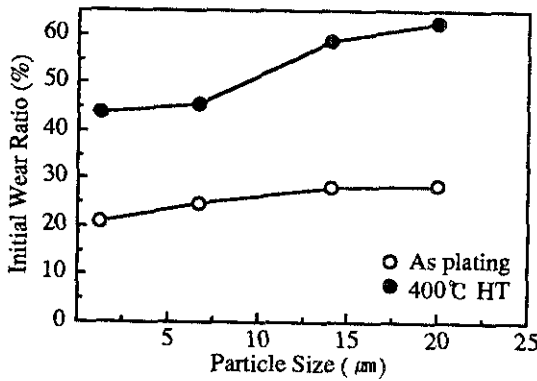


Fig. 13. The Change of initial wear ratio as a function of SiC particle size.

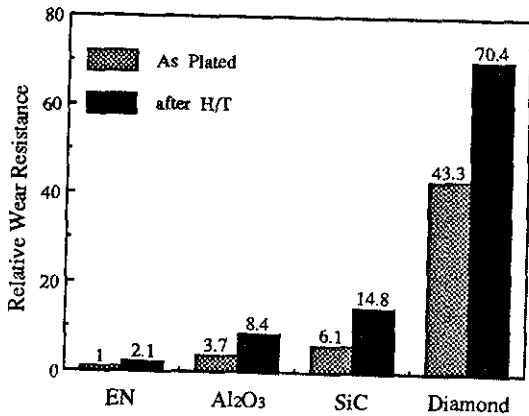


Fig. 14. Comparison of wear resistance of the electroless Ni-P-X composite coating layer.

그림14에서 보는바와같이 무전해 니켈도금층과 무전해 니켈도금 후 열처리한 상태를 비교해볼때 열처리한 도금층의 내마모성이 2배 정도 향상되었다. 또 열처리 전 무전해니켈 도금층의 내마모성과 복합도금 후 복합도금층의 내마모성을 비교하면, Al₂O₃를 첨가하여 복합도금한 경우에는 내마모성이 약 4배정도 향상되었고 열처리 후 약 8배정도 향상되었으며, SiC를 첨가하여 복합도금한 경우에는 약 6배정도, 열처리 후 약 15배정도 향상되었으며, diamond를 첨가하여 복합도금한 경우에는 약 43배정도 향상되었고 열처리 후 약 70배정도

향상되었다. 이상의 결과에서 무전해 니켈도금액중에 diamond를 첨가하여 복합도금하였을때 가장 우수한 내마모성을 나타내었으며 SiC, Al₂O₃순으로 감소하였다.

5. 결 론

이상의 결과들을 종합하여 아래의 결론을 얻었다.

- 1) 무전해 니켈도금액중에 미립자를 분산하여 80분 동안 복합도금 하였을때 도금두께는 무전해 니켈도금만 한것보다 약 5~10%정도 감소하였다.
- 2) 도금층에 공석되는 미립자의 공석량은 도금액에 첨가되는 입자의 양이 많을수록, 입자의 크기가 클수록 증가하였다.
- 3) 복합도금층의 마모량은 입자크기가 커짐에 따라 감소하다가 일정크기 이상이 되면 오히려 증가하였다.
- 4) 복합도금층의 초기마모량은 입자크기가 커질수록 증가하고, 열처리 함으로써 더욱 더 증가하였다.
- 5) 무전해 니켈도금과 비교해서 Al₂O₃, SiC 및 diamond를 첨가하여 무전해 복합도금한 도금층의 내마모성은 열처리전에는 각각 4배, 6배, 43배, 그리고 열처리 후에는 각각 8배, 15배, 70배 향상되었다.

참고문헌

1. D. T. Gawne and U. Ma : Mat. Sci. and Technology, Mar., 3(1987) 228
2. N. Feldstein et al : Metal Finishing, Aug., (1983) 35
3. J. K. Dennis et al : Trans. Inst. Met. Fin., 59(1981) 118
4. J. Lukschandel : Trans. Inst. Met. Fin., 56 (1978) 118
5. J. M. Sale : Metal progress, Apr., (1979) 44
6. A. J. Gould : Trans. Inst. Met. Fin., 66 (1988) 58

7. F. N. Hubble : Trans. Inst. Met. Fin., 56 (1978) 65
8. K. Parker : U.S. Patent 3,562,000, Feb., (1971)
9. W. Metzger et al : U. S. Patent 3,617,363, Jan., (1968)
10. K. Parker : U. S. Patent 3,723,078, Mar., (1973)
11. W. Metzger et al : U. S. Patent 3,753,667, Sep., (1970)
12. Christini et al : U. S. Patent 3,936,577, Feb., (1976)
13. 鷹野 修 等 : 金屬表面技術, 39(1988) 705
14. 鷹野 修 等 : 金屬表面技術, 41(1990) 407
15. 本間 英夫 等 : 金屬表面技術, 31(1980) 536
16. 竹內 信彦 等 : 金屬表面技術, 37(1986) 73
17. 松岡 政夫 等 : 金屬表面技術, 40(1989) 831
18. 伊崎 昌伸 等 : 金屬表面技術, 39(1988) 416
19. 占川 直治, 林 忠夫 : 金屬表面技術, 28(1977) 527
20. N. Guglielmi : J. Electrochem. Soc., 119 (1972) 1009
21. 黑崎 重彦 : 金屬臨時增刊號, (1979) 10