

전해Ni-P-Al₂O₃복합도금층의 내마모성에 미치는 열처리의 영향

김호남, 신윤섭

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《과학자, 기술자들은 현실에 튼튼히 발을 붙이고 사회주의건설의 실천이 제기하는 문제들을 연구대상으로 삼고 과학연구사업을 진행하여야 하며 연구성과를 생산에 도입하는데서 나서는 과학기술적문제들을 책임적으로 풀어야 합니다.》(《김정일선집》 증보판 제15권 492페이지)

현시기 피스톤, 노즐, 다이스, 축, 치차, 헤파, 드릴 등과 같이 높은 굳기와 내마모성을 요구하는 부분품이나 공구들의 특성을 개선하기 위하여 여러가지 합금들과 복합재료들을 개발하는 한편 경질재료들을 피복하고있다. 경질재료들을 피복하는 방법에 복합도금방법들이 널리 개발응용되고있다.[1-4] Ni-P-Al₂O₃복합도금층은 기능성재료로서 열처리 온도에 따라 도금층의 결정구조가 변화되며 결과 마모특성도 변하게 된다.

우리는 전해도금방법으로 제조한 Ni-P-Al₂O₃경질복합도금층의 내마모성에 미치는 열처리의 영향을 고찰하였다.

실험 방법

직경과 두께가 각각 30, 3mm인 원형강철판에 전류밀도 $J=1.6A/dm^2$, pH 3의 조건에서 전해도금방법으로 Ni-17.8원자% P-Al₂O₃복합도금한 시편을 제조하였다.(표) 복합도금방법은 Ni-P합금도금방법[1]과 같다.

시편에 대한 열처리는 흑연도가니에 시험시편들을 넣고 11.4°C/min의 가열속도로 로의 온도를 400°C까지 올리고 필요한 시간동안 유지한 후 로안에서 방온도까지 냉각시키는 방법으로 진행하였다.

결과 및 분석

그림 1에 마모시험기의 원리도를 보여주었다.

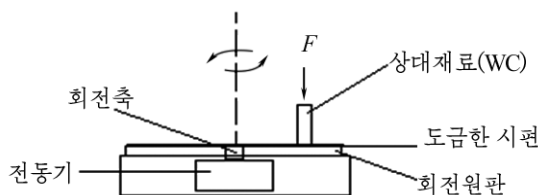


그림 1. 마모시험기의 원리도

마모시험은 열처리한 원형시편을 회전체에 고정시키고 일정한 속도로 회전시키면서 경질합금핀으로 5N의 힘으로 누르면서 마찰시간에 따르는 마모량의 변화를 측정하는 방법으로 진행하였다. 마모특성은 마찰시간에 따르는 마모량의 변화와 단위시간당 마모량(마모속도)으로 평가하였다. 시편의 마모량측정에 전자천평(《HZK-FA210》)을 리용하였다.

도금시편의 내마모성시험을 위한 상대재료는 경질합금 WC-6Co이다.

먼저 400℃에서 열처리한 Ni-17.8원자% P합금도금층의 마찰시간에 따르는 마모량의 변화를 고찰하였다.(그림 2)

그림 2에서 보는바와 같이 마찰시간이 증가함에 따라 마모량은 선형적으로 증가한다. 열처리시간이 1, 2, 3h인 경우 평균마모속도는 각각 0.38×10^{-4} , 0.28×10^{-4} , 0.13×10^{-4} g/min 이다.

각이한 온도에서 1h씩 열처리한 Ni-17.8원자% P합금도금층의 열처리온도에 따르는 마모속도의 변화를 고찰하였다.(그림 3)

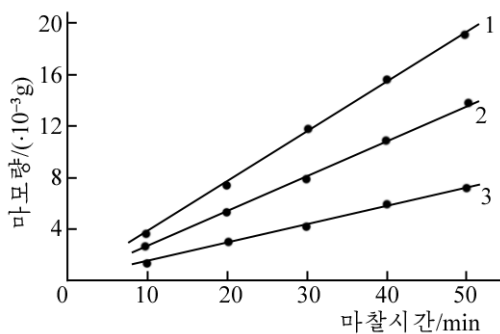


그림 2. Ni-17.8원자% P합금도금층의 마찰시간에 따르는 마모량의 변화
1-3은 열처리시간이 각각 1, 2, 3h인 경우

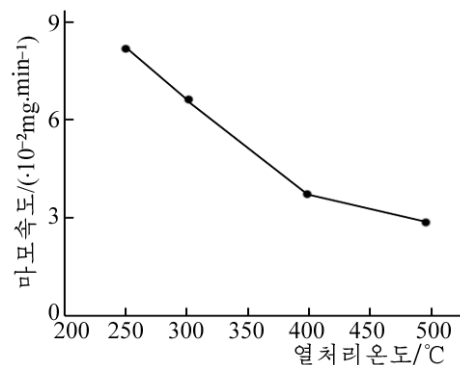


그림 3. 열처리온도에 따르는 Ni-17.8원자% P합금도금층의 마모속도변화

그림 3에서 보는바와 같이 열처리온도가 증가함에 따라 내마모성이 더 좋아진다. 그리고 열처리하지 않은 Ni-17.8원자% P도금층의 마모량은 400℃에서 1h 열처리한 Ni-17.8원자% P도금층의 마모량에 비하여 약 12배나 크다.

열처리한 도금층의 내마모성이 개선되는것은 열처리에 의한 도금층의 결정구조변화와 관련된다.[2] Ni-17.8원자% P합금도금층은 약 300℃에서 Ni₃P상변환이 일어나기 시작하며 400℃에서 1h 열처리하면 무정형상으로부터 Ni와 Ni₃P결정들이 생성되고 성장하며 결과 Ni결정과 금속간화합물 Ni₃P결정들의 혼합상으로 된다. 400℃에서 1h 열처리하였을 때 굳기는 최대 HV1 200이다.

일반적으로 굳기가 증가하면 내마모성도 같이 좋아지지만 항상 그렇지는 않다. 400℃에서 열처리시간을 늘이거나 400℃보다 높은 온도에서 열처리할 때 도금층의 내마모특성이 개선되는것은 결정화온도이상에서 유지시간이 증가함에 따라 Ni와 Ni₃P결정들이 점차 크게 성장하여 홀-피치관계식 $H = H_0 + kd^{-1/2}$ 으로부터 굳기는 감소하지만 그것들속에서의 결함들이 없어지고 살창이지러짐이 없어짐에 따라 파괴인성이 개선되기때문이라고 볼 수 있다. 도금층의 굳기가 지나치게 높으면 마찰과정에 상대재료와의 충격에 의하여 쉽게 부스러지게 되며 마모량이 증가하게 된다. 그러므로 내마모성을 높이려면 파괴인성을 높여야 한다. 그러나 굳기가 지나치게 낮으면 꺾임에 의한 마모량이 커지게 되므로 적합한 굳기와 인성을 다같이 보장하여야 한다.

다음으로 400℃에서 열처리한 Ni-17.8원자% P-Al₂O₃복합도금층의 열처리시간과 마찰 시간에 따르는 마모량의 변화를 고찰하였다.(그림 4)

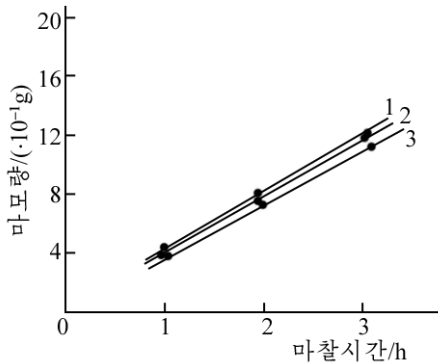


그림 4. Ni-17.8원자% P-Al₂O₃복합도금층의 마찰시간에 따르는 마모량의 변화
1-3은 열처리시간이 각각 1, 2, 3h인 경우

그림 4에서 보는바와 같이 Ni-17.8원자% P-Al₂O₃복합도금층은 Ni-P도금층에서와 같이 마찰시간이 증가함에 따라 선형적으로 증가한다. 그리고 열처리시간이 각각 1, 2, 3h일 때 마모속도는 각각 4.3×10^{-4} , 4.2×10^{-4} , 4.0×10^{-4} g/h로서 거의 비슷하다.

복합도금층을 400℃에서 1h 열처리한 경우 그것의 내마모성은 Ni-P도금층을 400℃에서 1h 열처리한 시편보다 5배이상 더 좋은 특성을 나타낸다. 그것은 복합된 알루미늄이 경질립자로서 마찰시 상대재료와 접촉하면서 자체의 높은 굳기로 하여 마모를 방지하는 역할을 하기때문이다.

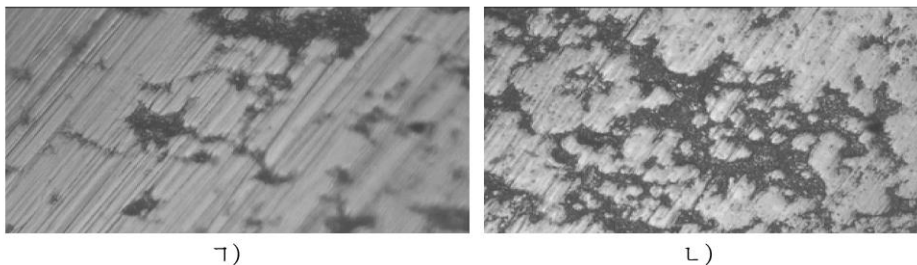
니켈기지층에 석출된 Ni₃P도 HV800의 높은 굳기를 가지지만 알루미늄의 굳기는 HV1 712로서 상대재료인 WC-6Co의 굳기 HV1 385보다 더 크다. 그러므로 알루미늄이 복합된 도금층은 Ni-P보다 더 높은 내마모성을 가진다고 볼수 있다. 그리고 복합도금층에서 열처리시간에 따라 내마모성에서의 차이가 거의 나 없는것은 열처리시간을 증가해도 복합도금층에서의 미세구조변화가 없다는것 다시말하여 복합도금층에서 Al₂O₃의 2차립자들에 의하여 Ni와 Ni₃P결정들의 성장이 억제되어 크게 성장하지 못하였기때문이다.

또한 마모속도가 거의 비슷하다는것은 복합도금층에서 Al₂O₃분말립자들이 균일하게 분산되었다는것을 보여주고있다.

한편 복합도금층이 높은 내마모성을 가지는것은 기지금속의 높은 굳기에도 관계된다. 기지금속이 순수한 니켈인 경우에 기지재료의 굳기가 낮으므로 마찰시 알루미늄립자들을 견고하게 유지하지 못하며 심한 경우에는 립자들이 탈락될수 있다. 그러나 기지금속이 Ni-P합금인 경우에는 열처리에 의한 Ni₃P의 석출경화에 의하여 굳기가 개선되므로 알루미늄립자들을 유지하고 든든하게 고착시키는데서 더 효과적이다.

이로부터 도금층에서 Al₂O₃의 침적량이 많을수록 내마모성은 더 좋아진다고 볼수 있다.

다음으로 마모시험후 Ni-P합금도금층과 Ni-17.8원자% P-Al₂O₃복합도금층의 결면특성을 고찰하였다.(그림 5)



7)

8)

그림 5. 마모시험후 시편의 현미경사진
7) Ni-P합금도금층, 8) Ni-17.8원자% P-Al₂O₃복합도금층

그림 5에서 보는바와 같이 경질립자 Al₂O₃을 복합하지 않은 시편은 홈이 깊어 파졌으며 Al₂O₃을 복합한 시편에서는 홈이 깊게 파지지 않았다. 이것 역시 경질립자인 Al₂O₃알갱이들의 높은 굳기와 내마모성에 의한것이라고 볼수 있다.

맺 는 말

1) 400℃의 온도에서 1h 열처리한 Ni-17.8원자% P합금도금층의 내마모성은 열처리하지 않은 도금층에 의하여 수십배나 개선되며 열처리온도와 열처리시간이 증가함에 따라 더 개선되는 경향성을 나타낸다.

2) 400℃의 온도에서 1h 열처리한 Ni-17.8원자% P-Al₂O₃복합도금층의 내마모성은 400℃에서 1h 열처리한 Ni-17.8원자% P합금도금층에 비하여 5배 더 높으며 이것은 Al₂O₃분말의 복합화와 Ni-P합금기지층의 높은 굳기에 기인된다.

참 고 문 헌

- [1] 김일성종합대학학보 물리학, 66, 3, 29, 주체109(2020).
- [2] 김일성종합대학학보(물리학), 64, 1, 33, 주체107(2018).
- [3] L. Yu et al.; Journal of Alloys and Compounds, 509, 4154, 2011.
- [4] H. Yahia et al.; Int. J. Electrochemi. Sci., 9, 1942, 2014.

주체110(2021)년 3월 5일 원고접수

Effect of Heat Treatment on Wear Resistance of Electrodeposited Ni-P-Al₂O₃ Composite Coatings

Kim Ho Nam, Sin Yun Sop

We have electrodeposited Ni-P-Al₂O₃ composite coating on the surface of steel and studied its wear resistance experimentally. The experimental results showed that the wear resistance of electrodeposited Ni-P-Al₂O₃ composite coatings heat-treated at 400℃ for 1h is 5 times higher than that of Ni-P alloy layer. And electrodeposited Ni-P alloy layer heat-treated at 400℃ for 1h also has scores of times of increase in wear resistance compared with not heat-treated one.

Keywords: Ni-P-Al₂O₃, wear resistance, heat treatment