

## 침봉처리\*

장우양

조선대학교 금속·재료공학부

### Boride Surface Treatments

W. Y. Jang

Dept. of Met. & Mater. Engr., Chosun University, Kwangju 501-759, Korea

침봉처리는 금속표면에 B를 확산시키는 것이다. B은 비교적 크기가 작은 금속으로서 Fe 합금, Ni 합금, Co 합금, 금속과 접합된 탄화물 또는 대부분의 고온금속 등을 포함한 여러 종류의 금속 내부로 쉽게 확산시킬 수 있다. B은 이러한 금속들과 반응하여 내마모성을 증가시켜 표면경도를 향상시키는 금속간 붕화물 표면층을 생성한다. 또한 연성을 갖는 박 및 세션을 첨단재료의 접합이나 브레이징용 충전재료로 바뀌게 한다.

본 고에서는 Borofuse라고 알려진 침봉처리가 어떻게 표면경도와 내부식성을 향상시키는지 또, 첨단재료에서 접합과 브레이징을 어떻게 촉진시키는지에 대해 설명한 다.

#### 1. 표면경도

특정한 합금 표면으로의 B의 확산에 의해 완전히 조밀한 금속 붕화물의 반응구역이 생성되며 이것이 효율적으로 내마모성을 증가시킨다. 더욱이 붕화물은 여러

가지 부적절한 부식 환경에서 뛰어난 내부식성을 나타낸다(그림 1). 이러한 특성은 내마모성을 증가시키거나 방식을 필요로 하는 광범위한 부품들의 수명을 연장시킨다. 특히 침봉처리가 마모와 부식에 대한 저항이 동시에 요구되는 분야에 적용되어온 것은 유의할 만 하다.

침봉처리된 표면층은 제트엔진 제조업, 유전 시추장, 정련소, 석유화학제품, 플라스틱, 와이어와 케이블, 섬유 산업과 같은 다양한 산업에서 부품의 수명을 연장시키는 인상적인 결과를 가져왔다. 대체로 이러한 성공은 다음과 같이 구별되는 특징에 기인한다.

- 침봉처리된 표면 영역은 2축 압축응력상태로서 높은 경도를 얻기 위한 우선 응력상태(preferred stress state)가 되며 연성은 낮게 된다. 기지금속을 적절히 지지한다고 가정한다면 붕화물 처리된 경우에는 높은 응력상태에서 사용할 수 있다.

- 붕화물은 기지금속과의 화학반응을 통해서 형성되기 때문에 접착성질은 우수하다.

- 작은 구경의 내면이나 미세하고 복잡한 구멍과 같은 복잡한 형상도 효과적으로 표면처리할 수 있다.

- 표면의 화학물성은 바뀌며 이러한 성질이 염화수소, 불화수소 및 황산과 같은 화학적 부식환경에 대해 저항성을 갖게 된다.

- 처리이전에 600 μm 정도의 표면 마무리를 유지할 수 있다.

#### 2. Fe계 합금

B은 실제로 모든 Fe계 합금과 반응하여 누우프 경도가 1500~1700인 Fe<sub>2</sub>B 형성한다. 이러한 경도는 Co로

그림 1. (a) 침봉처리한 후 기지금속이 노출되도록 붕화물층 아래까지 연마한 인발용 다이스 (b) 다이스를 고온의 염산에 노출시킨 후의 다이스(침봉처리가 되지 않은 기지의 Fe 합금은 염산에 용해)

\*이 기사는 Advanced Materials & Processing, 157(4) (2000. 4) P. 35에 게재된 내용을 번역한 것임

표 1. Borofuse 처리 전후의 Falex 마모시험 결과

재료조건	내구력시험, min	최대압력시험, lb
미처리	6.5	625
Borofuse 처리	105	4500

\*pins are AISI 3135 steel; blocks are AISI 1137 steel.

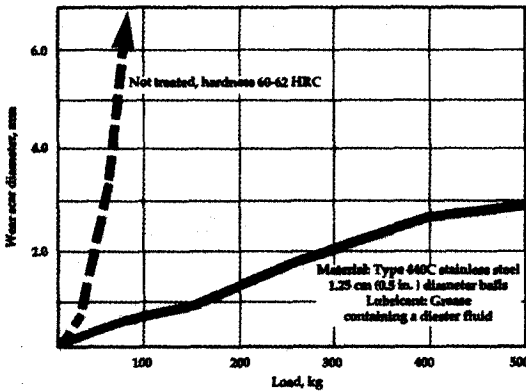


그림 2. 압축시험결과

결합된 WC의 경도값과 비교될 수 있다. 이러한 현저한 표면경도의 증가로 실질적인 마모 및 박리를 감소시킬 수 있다. 이러한 사실은 Falex 마모시험과 (표 1 참조) ASTM 시험법 D-2596에 의해 증명된다(그림 2).

그림 3은 AISI 4150 강 of 침봉처리 구역과 기지 금속에 대한 미소경도시험기의 압흔을 나타낸다. 침봉처리 층의 더 작은 압흔자국은 경도가 현저하게 증가한 결과이다. 동시에 중심부의 경도는 표면과 재료 내부의 성질이 최적조건에 도달하도록 독립적으로 제어할 수 있다.

그림 3. AISI 4150 강 of 침봉처리 구역과 기지 금속에 대한 미소경도시험기의 압흔 자국

Borofuse 공정이 템퍼링온도이상에서 수행되기 때문에 허용공차는 특별한 문제가 될 수도 있다. 그러나 칫수 변화는 Borofuse 공정전 열처리 조건을 조절하거나 공정자체의 적절한 열적 조건을 선택함으로써 최소화할 수 있다.

봉화물은 여러 사용환경에서 Fe계 합금의 부식저항을 개선시킬 수 있다. 예를 들면 그림 1은 침봉처리한 후 기지금속이 노출되도록 봉화물층 아래까지 연마한 인발용 다이를 나타낸다. 그림 1(b)는 다이를 고온의 염산에 노출시킨 후의 결과를 나타낸다. 침봉처리가 되지 않은 기지의 Fe계 합금은 염산에서 용해되나 반면에 침봉처리된 표면은 염산으로부터 안전하다.

침봉처리한 표면이 염산, 불산, 황산에 노출되면 위와 비슷한 결과를 나타내지만, Fe계 합금에서 침봉처리하지 않은 표면은 질산이나 일반적인 부식(녹슬음)에 대한 저항력이 거의 없다.

또한 그림 1(b)는 복잡한 형상의 내경 및 외경을 다 같이 Borofuse 공정으로 처리하였을 때 처리능을 나타낸다. 모든 표면에 균일한 봉화물층이 형성되어 있다. 따라서 전기도금시 발생하는 문제 또는 화염 및 플라즈마 스프레이시 발생하는 균일성 문제가 제거된다. 스크류, 바렐, 부싱, 게이트, 주형 및 구형체 등과 같은 인젝션 몰딩 장치; 스피닝 로터, 링 및 가이드와 같은 방직기 부품; 음료용 캔 집합 플과 같은 포장산업설비; 기타 다양한 산업현장에서 쓰이는 많은 생산품이 침봉처리된 Fe계 합금의 또 다른 예이다.

### 3. Ni계 합금

침봉처리된 Ni계 합금은 표면경도, 마모성질, 고온 경도 및 내식성 등을 향상시킨다.

- 경도: Ni의 침봉처리한 표면은 개선된 내마모성을 위한 표면경도를 나타낸다. Inconel 718과 같은 많은 시효경화형 합금은 적절한 시효처리에 상응하는 조건에서 처리할 수 있다. 그림 4는 760°C에서 Borofuse 처리한 후 650°C에서 2차 시효처리한 Inconel 718을 나타낸다. 충분히 시효한 기지는 HRC=42(425KHN)의 경도값을 나타내나, Borofuse 처리한 표면은 1,450KHN의 경도값을 갖으며 이 값은 금속과 결합한 WC의 경도값에 근접한다. 이와 같이 더 높은 표면경도는 마모, 박리 및 침식 등에 대해 더 강한 내구력을 갖게 한다.

- 내마모성: 침봉처리한 Ni의 마모저동에 대한 현저한

**그림 4.** Borofuse처리된 Inconel 718(기지; HRC=42(425 KHN), Borofuse 처리 표면; 1,450KHN)

개선은 Falex ISC pin-on-disk 마모시험에 의해 증명되었다. 이 시험에서 핀과 디스크 모두 침봉처리되었고, 무게 감량에 의해 마모량을 측정하였다. 완전히 시효된 조건에서 침봉처리하지 않은 Inconel 718은 디스크의 경우 10.1 mg의 무게감량을 나타냈지만, 침봉처리한 디스크는 무게감량을 감지할 수 없었다(무게측정은  $\pm 0.5$  mg의 허용오차범위 내에서 실행).

더욱이 침봉처리하지 않은 디스크는 마모흔적이 현저하게 나타났지만, 침봉처리한 디스크는 가볍게 연마한 흔적만 관찰되었다. 또한 이 시험에서 G99 질차에 의해 체적 손실량을 계산하면 침봉처리하지 않은 디스크의 체적 손실량은 침봉처리한 디스크의 체적 손실양보다 100배 정도였다.

· 고온경도: Ni의 침봉처리한 표면은 우수한 고온 경도를 나타내며 고온의 환경에서 사용할 수 있다. 예를 들면, 신에 미공군 F-22기를 움직이는 Pratt & Whitney사의 F119-PW-100기 가스 터빈 엔진의 골치아픈 문제를 해결했다. 이 엔진은 엔진출력을 최대로 하기 위해 고온의 기류의 방향을 조절하고 가스를 압축하는 노즐이 장착되었다. 노즐 베어링 부품은 Ni계 초합금의 마모, 박리 및 부식을 최소화하기 위해 침봉처리하였다.

· 내부식성: Ni의 침봉처리한 표면은 실제적으로 염산, 불산 및 황산의 침식에 영향을 받지 않는다. 침봉처리한 Ni의 마멸, 침식 및 부식 등에 대한 저항력은 유전 굴착 특히, 산패가스 환경과 같은 많은 응용분야에 사용되어왔다. 예를 들면 침봉처리는 게이트 밸브, 볼 및 시트, 컨트롤 밸브, 및 고온용 밸브 등과 같은 사용수명을 연장시킨다.

**그림 5.** Borofuse처리된 6% Co-WC 부품의 내마모성

#### 4. 금속과 결합된 카바이드

모든 종류의 Co 및 Ni로 결합된 WC와 TiC는 침봉처리할 수 있다. B의 확산에 의해 표면의 연한 Co와 Ni 결합체는 분해물로 바뀌며 이는 부식에 대한 저항성을 현저하게 향상시킨다. 그러나 확산구역아래에는 연한 결합체가 잔류하고 있기 때문에 내충격성과 같은 최적의 벌크 성질을 나타낸다. 그림 5는 Borofuse처리된 6% Co-WC 부품에 대해 미세입자를 수직으로 충돌시켰을 때 미세입자에 마모저항을 나타낸 것이다. 페인트 분사용 노즐이나 제트 엔진의 연료 펌프 등과 같은 여러 응용분야에서 부품의 수명은 5~10배 이상 증가하였다.

Co계 합금 및 고온재료들을 포함하는 많은 다른 재료들 역시 침봉처리할 수 있다. 특히 Mo은 약 3000 KHN의 높은 경도값을 나타낸다.

#### 5. 확산접합

B는 금속의 용융점을 떨어뜨린다. 또한 매우 높은 확산성의 장점을 가지고 있어, B가인 영역에서 농도가 낮은 영역으로 쉽게 이동한다. 그러므로 접합온도가 일정하게 유지되는 동안, B이 접합영역 밖으로 이동하게 되면 원래의 용융점을 회복하게 된다. 접합영역에서 용융점이 점차적으로 상승함에 따라 등은 응고 즉 접합과정 중 일정한 온도에서 응고가 진행된다.

이러한 등은응고에 의해 응고시 발생하는 응력 생성을 피할 수 있으며 냉각중 온도 구배에 의한 찌수변형을 방지할 수 있기 때문에 미세조직에 결합이 없는 단결정 초합금과 같은 침단재료의 접합을 가능하게 할 수 있다.

이러한 특징에 의해 주로 Ni계 합금을 접합할 목적으로 침봉처리한 박판 및 선재가 개발되었다. 한 예로 침봉처리된 Ni계 박판은 단결정 초합금인 터빈 블레이드의 접합 및 수리에 사용된다. 반면에 전에는 분말로만

이용되어 온 충전재료로부터 제조된 침봉처리 박판은 특정한 접합 목적에 맞게 제작될 수 있다.

접합 박판은 특별한 용도에 맞게 제작할 수 있다. 만약 미리 정해진 양만큼 박판 및 선재 형태인 충전재에 적절한 조성을 갖도록 확산이 일어나게 한다면 B는 여러 가지 다양하고 복잡한 형상을 갖는 부품의 접합에 응용될 수 있을 것이다. B는 확산영역에서는 봉화물로 존재하며 반면에 중심부는 연성을 갖는다. 보통 브레이징용 합금은 한정되어 있지는 않지만 AMS 4776, 4777, 4778 및 4779 등과 같은 일반 합금을 포함한다.

예를 들면 발전소의 고성능 램프 터빈 시스템은 대형의 단결정의 블레이드 및 베인을 필요로 한다. 이러한 큰 부품의 주조비용은 주조품의 크기가 증가함에 따라 나타나는 결점 결핍때문에 매우 고가인 것으로 알려져 있다. 더구나 용접이나 브레이징과 같은 기존의 접합방법으로는 수리한 곳에 불균질한 미세조직이 형성되기 때문에 단결정 블레이드 및 베인의 수리가 불가능하다. 그러나 침봉처리된 박판은 전체 주물 블레이드의 1/2인 분할 단결정 브레이드의 접합을 가능하게 하는 반면에 코아 및 코아 가공공정을 생략할 수 있다. 큰 부품의 크기와 코아는 모두 단결정의 결합생성의 주요한 원인이 된다. 가장 중요한 분할 블레이드 설계는 추후 성능을 잘 발휘할 수 있도록 블레이드의 최적 냉각을 쉽게 하도록 하는 것이다.

또한 침봉처리된 연성 박판은 일방향 옹고된 블레이드와 베인의 수리도 가능하게 한다. 이러한 부품의 수리는 새롭고 많은 기술이 필요하기 때문에 단계적으로 개선될 듯 하다.

Borofuse 박판으로 또한 미 공군 F-15 이글 전투기에 동력원인 Pratt & Whitney사 F-100 항공기 엔진의 소형 분할 터빈 블레이드를 접합하였으며 다른 Pratt & Whitney사 엔진의 초합금 터빈 베인을 접합하였다. 블레이드와 베인의 접합이외에도 침봉처리된 박판은 군 그리고 민간 항공기 엔진의 다양한 중요 부품의 접합에 사용되고 있다.

박판없이도 확산접합을 할 수도 있다. 직접 확산 접합에서는, 표면으로의 B의 확산에 의해 브레이징할 때와 같은 조성이 되고 충전금속을 사용하지 않고도 부품의 접합에 사용할 수 있다.

기지 금속은 B에 의해 접합면의 용융온도가 낮아지기 때문에 기지금속 자체가 브레이징용 금속이 된다. 직접 접합은 공냉식 다축 터빈 휠에 사용되어지고 있다.

## 6. 선재를 이용한 접합

침봉 표면처리는 파우더와 테잎을 대체할 수 있는 침봉처리된 Ni합금 박판과 선재 개발을 촉진시켜 왔다. 파우더와 테잎은 분말 취급의 문제, 정밀한 양의 첨가, 위치 선정, 다공성, 잔류물 및 칫수 제어 등과 같은 많은 작업상의 문제점을 내포하고 있다. 침봉처리된 박판과 선재를 사용하면 이러한 제약들로 벗어날 수 있다. 이러한 개발은 Ni계 브레이징용 금속의 수요를 대체하고 있다. 예를 들어 침봉처리된 선재는 특히 제트 엔진에서, 가격이 훨씬 비싼 Au-Ni 충전금속을 대체할 수 있으므로 가격면에서 유리하다.