

초내열합금분말에 의한 PTA 오버레이부의 연삭 마모 특성 연구

김영식^{*†} · 최영국^{**} · 임창훈^{***} · 김종도^{****}

^{*}한국해양대학교 기계소재공학과

^{**}(주) 종합 폴스타

^{***}한국해양대학교 대학원

^{****}한국해양대학교 기관시스템공학과

A Study on the Abrasive Wear Properties of the PTA Overlay Layers using the Super Alloy Powder

Young-Sik Kim^{*†}, Young-Gook Choi^{**}, Chang-Hoon Lim^{***} and Jong-Do Kim^{****}

^{*}Dept. of Mechanic & Material Eng. Korea Maritime Univ., Busan 606-791, Korea

^{**}Jonghap Polstar, Busan 606-080, Korea

^{***}Graduate student of Korea Maritime Univ., Busan 606-791, Korea

^{****}Division of Marine Engineering System, Korea Maritime Uni., Busan 606-791, Korea

[†]Corresponding author : yskim@hhu.ac.kr

(Received December 26, 2008 ; Revised March 23, 2009 ; Accepted May 6, 2009)

Abstract

The Plasma Transferred Arc (PTA) overlay welding method is lately introduced as one of the most useful surface overlay method of the engine component. In this paper, the overlay welding on the SNCrW heat resisting alloy was conducted by the PTA overlay welding process using the super alloy powder. The characteristics of the overlay layers were investigated through the metallurgical and abrasive test. Experimental results showed that the overlay on the SNCrW heat resisting alloy surface was successfully made without hot cracking. The friction wear characteristics of the Co-base Stellite 6 overlayer were most superior. However the abrasive wear characteristics were most inferior in the Co-base Stellite 6 overlayer.

Key Words : PTAW, SNCrW, Abrasive wear, Super alloy, Overlay

1. 서 론

내연기관 밸브와 같은 매우 가혹한 분위기에 사용되는 부품소재로는 내열강 또는 니켈기 및 코발트기 초내열합금 재료가 사용되고 있다. 이들 초내열 합금재는 매우 고가인 소재이기 때문에 이의 사용수명 연장을 위한 대책이 매우 중요하다. 수명 연장 방법으로는 일정한계 이상 마모되어 수명이 끝 난 상태에서 오버레이 용접에 의한 재생처리를 하는 방법과 새로이 제작된 밸브에 대해 그 작동표면에 더욱 성능이 우수한 표면을 창생 하는 표면개질처리를 실시하는 방법이 현장에서 이용되고

있다.

내연기관의 밸브표면은 연소실내에서 발생하는 미세한 고형물질과 충돌·마찰이 일어나 반복해서 연삭마모가 발생하기 때문에 연삭마모 (Abrasive Wear)특성이 매우 중요 하다. 이러한 가혹한 분위기에서 사용되는 엔진 부품의 표면개질 방법으로는 PTA(Plasma Transferred Arc Welding) 법이 널리 이용되고 있다. PTA법에 의한 표면개질 층의 마찰 특성에 대해서는 최근 들어 그 연구 성과가 발표되고 있다¹⁻³⁾. 그러나 연삭 입자에 의한 연삭 마모 특성은 아직까지 연구되지 않았다.

이 연구에서는 현장에서 이용되고 있는 PTA법에 의해

Table 1 Compositions of experimental materials

(a) Experimental substrate

| Compositions (wt%) | Fe | Ni | Si | Mn | C | Cr | W | Co | Ti | Al | other |
|--------------------|-------|------|-----|-----|------|------|-----|-----|------|-----|-------|
| SNCrW | 65.75 | 10.0 | 1.0 | 1.0 | 0.25 | 20.0 | 2.0 | - | - | - | - |
| Nimonic 80A | 1.5 | 73.0 | - | - | 0.05 | 19.5 | - | 1.0 | 2.25 | 1.4 | 0.1 |

(b) Experimental overlay powder

| Compositions (wt%) | Cr | Ni | Co | Mo | W | Nb | Ti | Al | Fe | C | other |
|--------------------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|-------|
| Inconel 625 | 21.5 | 61.0 | - | 9.0 | - | 3.6 | 0.2 | 0.2 | 2.5 | 0.05 | |
| Inconel 718 | 19.0 | 52.5 | - | 3.0 | - | 5.1 | 0.9 | 0.5 | 18.5 | 0.08 | 0.15 |
| Stellite 6 | 30.0 | 1.0 | 61.5 | - | 4.5 | - | - | - | 1.0 | 1.0 | - |

SNCrW 내열강 소재 표면에 여러 가지 초내열합금재 분말을 이용하여 표면 개질 처리를 실시하고, 이 표면에 대해 연삭마모 특성을 정량적으로 조사하고자 한다. 그 결과 현장에서 실시되고 있는 PTA 오버레이 공정의 적합성여부를 판정하고 여러 가지 분말을 이용한 개질표면의 내 연삭 마멸 특성을 비교 고찰하고자 한다.

2. 시험편 준비 및 실험방법

오버레이용 모재는 선박용 주 기관 밸브재료로 사용되고 있는 SNCrW 내열강을 사용하였으며, 비교재료로서 니모닉(Nimonic)초내열합금재도 사용하였다. 오버레이(Overlay) 재료로 사용한 초내열합금재는 국내에서 그 응용범위가 넓은 인코넬(Inconel) 625, 인코넬 718 및 스텔라이트(Stellite) 6의 3종류 분말로 하였다.

Table 1은 실험에 사용한 모재와 오버레이재료의 성분을 나타낸 것이다.

Table 2는 PTA 오버레이 공정의 조건을 보인 것으로 현장에서 적용하고 있는 조건이다.

오버레이부의 조직관찰은 단면을 절단 후 연마하여 CuSO₄+HCl+메타놀의 부식액으로 에칭 후 광학현미경으로 관찰하였다. 또한 경도시험은 마이크로비커스 시험

기를 이용하여 용접부, 계면, HAZ, 모재를 각각 측정하였다.

연삭마모 특성은 Fig. 1과 같은 기구에 의해 알루미늄나(Al₂O₃)연삭입자를 시험편 표면과 바퀴 표면 사이의 마찰면에 주입하면서 일정 회전수(15,000회) 만큼 바퀴를 회전하여 마찰시험을 실시하여 시험 전과 시험 후의 무게감량을 측정하여 평가하였다. Photo 1은 연삭마찰시험 장치를 보인 것이다.

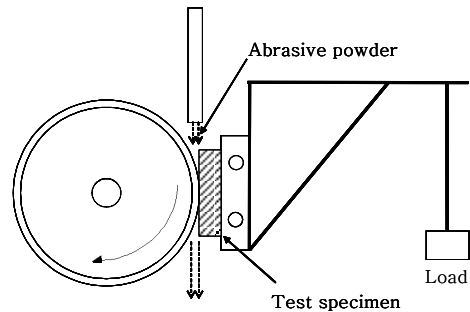


Fig. 1 Schematic of abrasive wear test

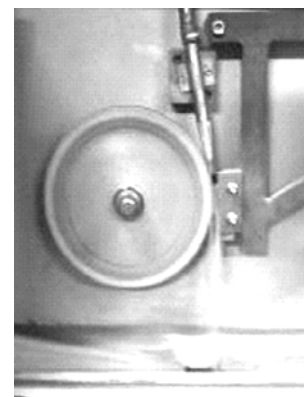


Photo 1 Abrasive wear test

Table 2 PTA conditions used

| | |
|------------------|-------------|
| Speed | 0.555 r.p.m |
| Current(A) | 115A |
| Pilot gas(Ar) | 2.5/min |
| Powder gas(Ar) | 10/min |
| Shield gas(Ar) | 22.5/min |
| Powder feed rate | 45g/min |

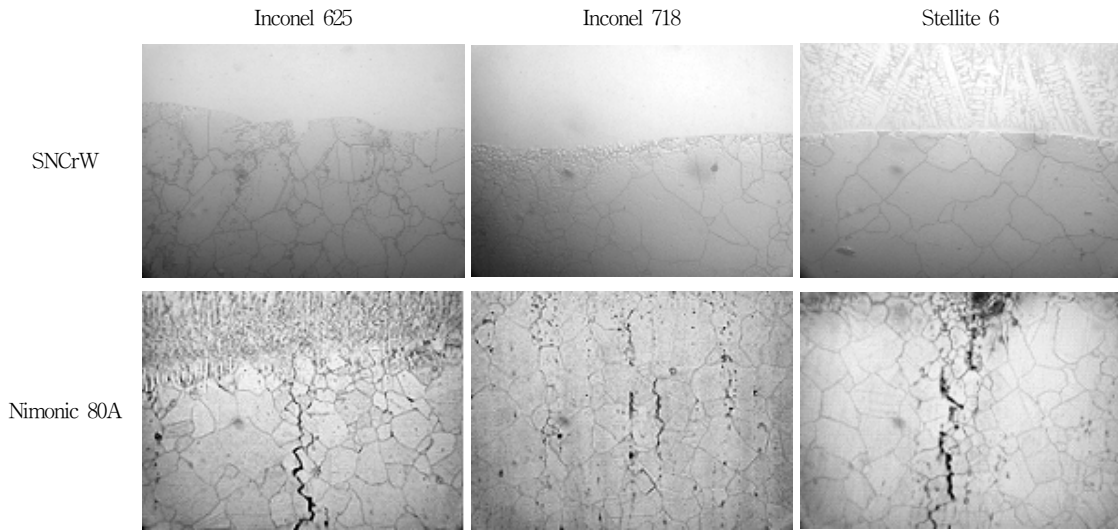


Photo 2 Microstructure of the overlay layer on the SNCrW and Nimonic substrate

3. 실험 결과

3.1 오버레이부의 조직과 경도특성

Photo 2는 SNCrW 내열강재 표면과 니모닉(Nimonic) 초내열합금재 모재 표면에 PTA공정으로 각각 스텔라이트(Stellite) 6, 인코넬(Inconel) 625 및 인코넬 718 분말을 오버레이 재료로 하여 오버레이를 실시한 단면의 미세조직을 보인 것이다.

Photo 2에 의하면 기지재가 SNCrW 내열강재의 경우에는 미세균열이 관찰되지 않고 건설한 용접부를 얻을 수 있음을 보인다. 그러나 니모닉 초내열합금이 기지재인 경우에는 3종류의 시험편 모두에서 경계층 아래의 모재부에서 미세한 균열이 발생되어 있음을 알 수 있다. 이러한 균열은 입계균열로 나타나 있어서 오버레이 시공 중의 액화균열로 판단된다⁴⁾.

이러한 액화 균열은 모재의 결정립계에 저용점원소의 편석에 기인한 현상으로 판단되며, 이의 방지를 위해서는 오버레이 시공에 앞서 모재에 대한 사전 확산열처리를 실시함이 필요하다고 판단된다.

Fig. 2는 SNCrW 내열강모재와 니모닉 초내열합금 모재에 대해 용가재료를 달리 하였을 때 각 오버레이층에 대한 경도시험 결과를 나타 낸 것이다.

이 결과에 의하면 SNCrW 내열강 기지재에서는 오버레이부의 경도값이 기지재와 거의 비슷하거나 스텔라이트 오버레이부는 상승하는 양상을 보이고 있다. 이에 비해 니모닉 기지재에서는 스텔라이트에서만 기지재와 비슷한 경도값을 보이며, 인코넬재의 오버레이부에서는 기지재보다 경도값이 낮아지는 현상을 보이고 있다.

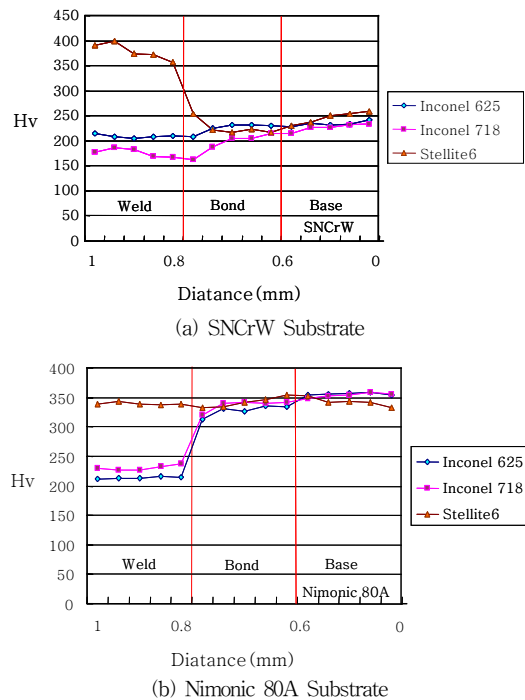


Fig. 2 Results of hardness tests with various overlay materials

3.2 오버레이부의 연삭 마멸특성

Fig. 3은 이전의 연구에서 밝힌 핀 온 디스크(Pin on disk)방법에 의해 마찰시험 한 결과이다³⁾. 이 결과에 의하면 기지재의 경우에는 SNCrW 가 가장 작은 마모량을 보이고 있으며, 니모닉기지의 경우가 가장 많은 마모량을 보이고 있다. 그리고 SNCrW내열강 모재의 오버

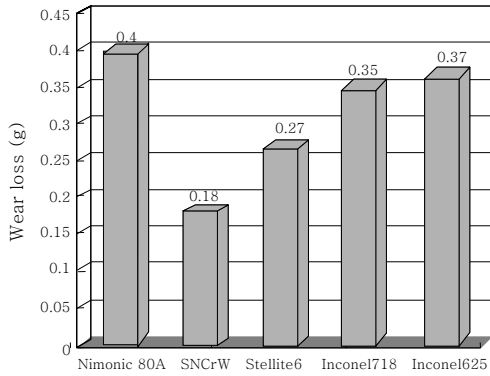


Fig. 3 The result of friction wear test

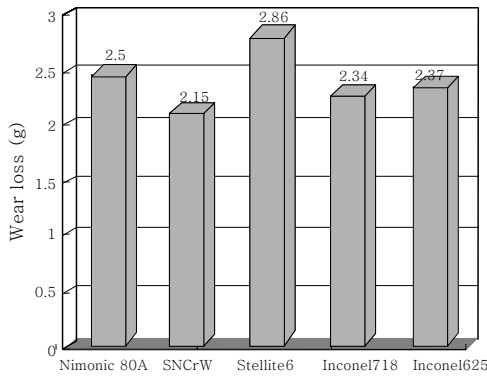


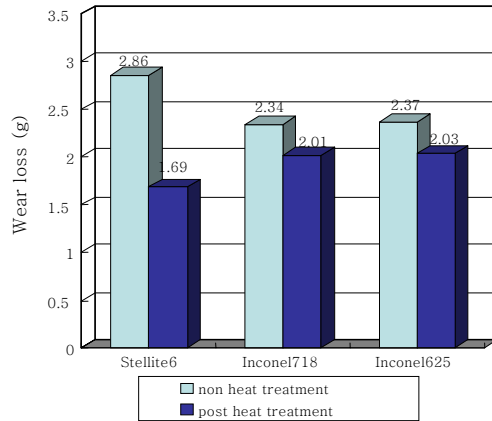
Fig. 4 The result of abrasive wear test

레이부에서는 스텔라이트에서 가장 작은 마모량이 나타나는 현상을 보이고 있다.

또한 Fig. 4는 본 실험에서 밝힌 연삭마모시험결과를 보인 것이다. 이 결과에 의하면 스텔라이트가 가장 많은 마모량을 보이고 있다

Fig. 3과 4의 결과에 의하면 마찰마모와 연삭마모 양상이 다른 결과를 보인다. 즉 마찰시험에서는 경도가 가장 높은 스텔라이트에서 내마모성이 가장 우수하게 나타나, 연삭마모에서는 스텔라이트에서 가장 열악한 마모 특성을 보인다는 것이다.

이상과 같은 결과는 이전의 연구³⁾에서 밝힌 캐비테이션 특성과 같은 현상을 보인 것이다. 즉 캐비테이션 시



| post-weld heat treatment condition | | |
|------------------------------------|------|-------|
| Stellite 6 | 620℃ | 10hr. |
| Inconel 718 | 620℃ | 5hr. |
| Inconel 625 | 620℃ | 5hr. |

Fig. 5 The result of abrasive wear test

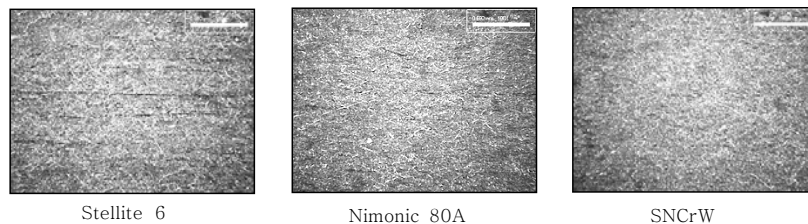
험의 경우에도 표면경도가 가장 높은 스텔라이트의 경우에 가장 많은 캐비테이션 에로전 감량을 보이고 있다.

Photo 3은 연삭마모 시험을 실시하고 난 후에 각 시험편의 표면을 저배율로 촬영 한 사진이다.

이 사진에 의하면 스텔라이트 시험편의 경우에 가장 거칠게 나타나 있어 연삭 마모 시험 시에 큰 입자들이 탈락되었음을 보여준다. 따라서 PTA공정 중에 충분히 용융되지 못한 상태로 적층된 피막층 입자들이 연삭마모 시험 중 큰 입자상태로 탈락 되기 때문에 가장 큰 마모상태를 보이는 것으로 고찰된다. 이들의 결과는 3종류의 분말에 대해 오버레이 공정조건을 동일하게 한 것으로 최적의 공정조건에 대한 검토가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

후열처리 조건은 예비실험을 통해 오버레이부의 경도값이 최대가 되는 조건으로 하였다⁵⁾.

이 결과에 의하면 후열처리에 의해 전체적으로 연삭마모 특성이 개선된 결과를 보이며, 특히 스텔라이트6재의 경우에 가장 현저히 개선된 결과로 보인다. 이처럼



Stellite 6 Nimonic 80A SNCrW

Photo 3 Appearance of the surface of post abrasive test

후열처리에 의해 연삭마모 특성이 개선되는 것은 3종류의 오버레이 재료에서 각기 다른 기구에 의해 설명될 수 있으나 $M_{23}C_6$ 형 탄화물의 형성, γ' 또는 γ'' 상의 석출거동과 관련이 있는 것으로 사료되나 이들 초내열합금의 고온에서의 시효 상 변화 거동에 대해서는 더 많은 연구가 필요하다⁶⁾.

4. 결 론

SNCrW 내열강 표면에 스텔라이트(Stellite) 6, 인코넬(Inconel) 625 및 인코넬 718의 초내열 합금 분말을 이용하여 PTA오버레이 공정에 의해 오버레이 용접을 실시하고 오버레이 부에 대한 조직검사, 경도변화 및 연삭마모(Abrasive Wear) 시험을 실시하였다. 또한 오버레이부에 대한 열처리를 실시하여, 열처리 효과를 조사하였다. 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

1) SNCrW 내열강 모재에 PTA에 의한 초내열합금 오버레이 실시 시 니모닉(Nimonic)재를 모재로 했을 경우에 비해 액화균열의 발생 없이 건실한 용접부를 얻을 수 있다.

2) 내열강 표면에 형성된 오버레이 층의 경도는 스텔라이트 오버레이 층이 가장 높고 연삭마모 특성은 스텔라이트 오버레이 층이 가장 많은 마모감량을 보인다.

3) SNCrW 내열강 모재 표면에 형성된 초내열합금

오버레이 층은 모재에 비해, 연삭에 의한 마모량이 더 증가한다.

4) 열처리에 의해 오버레이부의 마모 특성이 개선되며 그 효과는 스텔라이트 6경우에 가장 현저하게 나타난다.

참 고 문 헌

1. B. S. Lim, S. H. Hwang, C. J. Shur : A Study on the Formation of Functionally Composite Layer on Al Alloy Surface by Plasma Transferred Arc Overlaying Process. KWS, 17-5 (1999), 107-112 (in Korean)
2. B. H. Yoon, C. H. Lee, H. J. Kim : Wear Behavior of Plasma Transferred Arc Deposited Layers for Ni- and Co-base Alloy, Journal of KWS, 19-5 (2001), 92-99 (in Korean)
3. Y. S. Kim, Y. G. Choi, K. R. Lee : A Study on the Characteristics of the Ni base Super Alloy Overlay Layer by Plasma Transferred Arc (PTA) Method, Journal of KWS, 24-3 (2006), 255-260 (in Korean)
4. Korea Welding Society : Handbook of Welding & Joining, (1998), 207 (in Korean)
5. M. S. Kang : A Study on the Friction & Wear Properties of the Nimonic 80A Superalloys Overlay Layers by PTA Processing with Heat Treatment, (2005), Thesis of Master degree of Graduate School of Korea Maritime Univ
6. KWJS : Hand Book of Welding and Joining (2008), 369-374 (in Korean)