



# Ni 계 초내열합금의 PTA 오버레이 층 특성에 관한 연구

김 영 식\* · 최 영 국\*\* · 이 광 렬\*\*\*

\*한국해양대학교 기계소재공학부

\*\* (주) 종합 폴스타

\*\*\*한국해양대학교 대학원, 현재 (주) 에코조인

## A Study on the Characteristics of the Ni base Super Alloy Overlay Layer by Plasma Transferred Arc (PTA) Method

Young-Sik Kim\*, Young-Goog Choi\*\* and Kwang-Ryeol Lee\*\*\*

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

\*\*Jonghap Polstar, Busan 606-080, Korea

\*\*\*Graduate student of Korea Maritime Univ. Present belonging to Ecojoin co., Ltd, Busan 606-791, Korea

### Abstract

The Plasma Transferred Arc (PTA) overlaying method is lately introduced as one of the most useful surface modification method of the engine component. In this paper, the characteristics of the Co-base and Ni-base super alloy overlay layers by PTA method were investigated through the metallurgical, abrasive and cavitation erosion test.

Experimental results showed that the abrasive wear resistance of the Co-base Stellite 6 overlayer was the most superior and followed in order of Nimonic 80A, Inconel 625 and Inconel 718. However, the cavitation erosion characteristic of the Stellite 6 overlayer was the most inferior and it was better in order of Inconel 625, Inconel 718 and Nimonic 80A.

\*Corresponding author : yskim@hhu.ac.kr

(Received April 19, 2006)

Key Words : PTA, Ni-base super alloy, Overlay layer, Abrasion test, Cavitation erosion test

### 1. 서 론

오버레이 용접은 내마모성, 내식성 또는 내열성을 갖는 재료를 모재 표면에 용착시킴으로서 모재의 표면특성 향상을 위한 목적으로 시행되는 표면개질법의 한 방법이다. 현재의 오버레이 방법은 주로 용사 (Thermal spray), MIG 용접, SAW용접 등이 이용되어 왔다. 그러나, 산업설비의 사용 환경이 더욱 가혹화함에 따라 기존의 용접방법에 의한 기존의 합금을 이용한 오버레이법으로는 충분한 내식성, 내열성, 내마모성을 보장할 수 없게 되었다.

PTA 오버레이법은 비교적 최근에 개발된 방법으로

기존의 용접법으로는 오버레이가 불가능한 고용점의 합금분말, 탄화물 분말을 이용하여 고도의 기능을 갖는 오버레이층을 얻을 수 있는 기술로 각광을 받기 시작했다<sup>1,2)</sup>. 그러나 이 방법의 응용범위를 확대해 나가기 위해서는 이의 공정변수가 오버레이층에 미치는 영향, 또는 이 방법에 의한 오버레이층의 특성에 대한 정량적인 연구가 필요하다. 이 연구와 관련하여 이창희 등은 Ni 계 및 Co계 합금 PTA 오버레이 층에 대한 마모거동을 밝힌 바 있으나, 고온노출의 영향, 케비테이션 에로전성에 대해서는 아직 밝혀지지 않았다<sup>3)</sup>.

본 연구에서는 PTA 방법에 의해 내연기관의 흡·배기 밸브의 표면 오버레이법을 확립할 목적으로 Nimonic 재료 표면에 Ni기 초합금 분말을 이용하여 PTA 오버

레이층을 구성하고 이 오버레이층에 대한 금속조직학적 특성, 내마모성, 고온노출 후의 마모특성, 내 캐비테이션 특성을 조사하였다. 조사 대상 초합금 분말로서는 국내에서 그 응용범위가 가장 넓은 Nimonic 80A, Stellite 6, Inconel 625, Inconel 718이다.

## 2. 실험재료 및 실험방법

### 2.1 실험재의 화학성분 및 오버레이 용접조건

모재로서는 선박용 내연기관의 흡·배기 밸브로 사용되고 있는 Nimonic 80A재 밸브를 사용하였으며, 오버레이 재료로 사용한 초합금재는 국내에서 가장 그 응용범위가 넓은 Nimonic 80A, Inconel 625, Inconel 718, Stellite 6의 4 종류 분말로서 그 화학 성분은 Table 1과 같다.

예비실험을 통하여 Nimonic 밸브에 적용할 수 있는 PTA 공정의 적정 조건을 찾았으며, 그 조건을 Table 2에 나타내었다.

시험편은 Nimonic 밸브 표면에 Table 1의 초합금재의 분말을 이용하여 Table 2의 조건으로 오버레이를 실시한 후 채취 제작하였다.

### 2.2 시험방법

#### 2.2.1 조직 및 경도측정

용접부의 조직검사는 용접부 단면을 절단 후 연마하여 CuSO<sub>4</sub>(2g)+HCl(40ml)+Methanol(40ml)의 부식

Table 1 Chemical compositions of the super alloy materials used

Composition (%)	Cr	Ni	Co	Mo	W	Nb	Ti	Al	Fe	C	other
Nimonic 80A	19.5	73.0	1.0	-	-	-	2.25	1.4	1.5	0.05	0.1
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	-

Table 2 PTA conditions used

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

액으로 애칭한 후 광학현미경으로 관찰하였다. 또한 경도 값은 마이크로 비커스 시험기를 이용하여 하중은 1.96 Newton 으로, 용접부, 계면, HAZ, 모재 순으로 각 10회 측정하여 그 평균값을 계산하여 구하였다.

#### 2.2.2 시험재의 내마모성 평가

오버레이 표면의 표면특성 중 가장 중요한 특성은 내마모성이다. 초합금을 이용한 오버레이 표면의 내마모성을 평가하기 위하여 Fig. 1과 같은 마찰 마모 시험기를 사용하여 Pin on disk 형으로 시험을 실시하였다<sup>4)</sup>. Pin은 일반적으로 내연기관에서 밸브 시트 재료로 사용되는 Stellite 6를 사용하였고, 디스크는 Nimonic 80A재 표면에 PTA 오버레이를 실시한 시험재로 하였다.

시험재의 표면은 선반에 의한 단면가공 후 Abrasive paper로 1000번까지 연마하여 표면조도를 동일하게 만든 다음 초음파 세척하였다. 그리고 시험 전과 시험 후의 무게감량을 측정하여 마모량을 평가하였다. 작용 하중은 200N으로 하여 50 rpm으로 60,000 cycle, 총 마찰거리가 8300 m 가 되게 하여 시험을 실시한 후 다시 초음파 세척을 하여 무게감량을 측정하였다.

#### 2.2.3 캐비테이션 에로전 (Cavitation erosion) 시험

초합금재 PTA 오버레이 표면의 캐비테이션 에로전성을 시험하기 위하여 캐비테이션 시험법으로 표준화된 ASTM-G32를 개량한 캐비테이션 시험법을 이용하였다<sup>5)</sup>. Fig. 2는 이 시험기의 개요를 보인 것이다. 시험편은 디스크로부터 0.5 mm 떨어진 위치에 고정하여 시험편이 수면아래 8~10 mm위치에 잠기도록 설치하였다. 진동자의 진동수는 20 KHz, 진폭은 50 μm로 하고 각 시험편에 대하여 48 시간씩 시험하여 그 무게감량을 조사하였다.

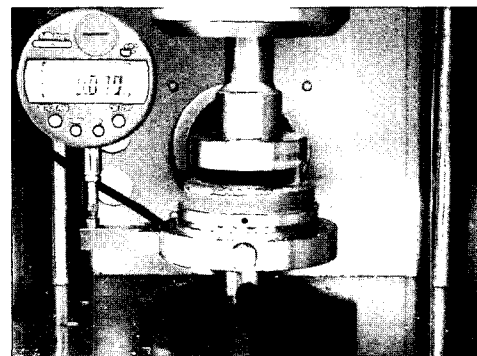


Fig. 1 Friction and wear tester

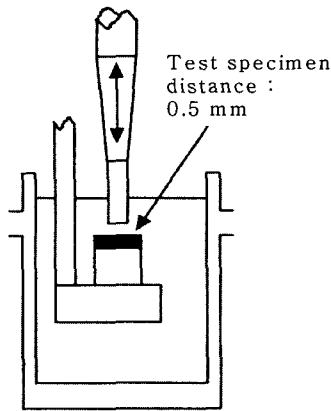


Fig. 2 Schematic of the Cavitation tester

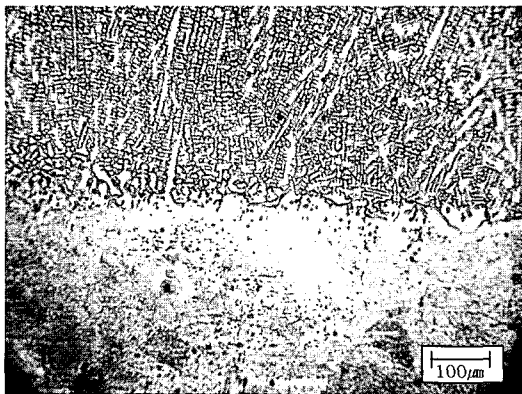


Fig. 3 Microstructure of PTA overlayer (Base metal : Nimonic 80A, Overlay metal : Stellite 6)

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 오버레이부의 조직 및 경도특성

Fig. 3은 Nimonic 80A재를 모재로 하고 Stellite 6 분말을 오버레이재로 하여 PTA 공법에 의해 형성된 오버레이층의 광학 현미경조직을 나타낸 것이다.

이에 의하면 피막층은 완전용융에 의해 주상정 조직을 나타내고 있으며, 경계부에서는 모재 결정립으로부터 에피탁시얼 (Epitaxial) 조직으로 되어 있어<sup>6)</sup> 용접부의 용융금속과 모재부의 퓨전라인 (Fusion line)에서의 조직과 일치한 양상을 보이고 있다.

이러한 현상은 같은 플라즈마 열원을 이용하는 플라즈마 용사기법에 의한 용사층과는 판이하게 다른 양상을 나타내고 있다. 플라즈마 용사에서는 모재표면과 용사피막층과는 분리되어 있고 또한 피막층은 용사입자의 상호응착에 의해 형성되기 때문에 다수의 기공이 내재된다<sup>7)</sup>. 따라서 기계부품에 플라즈마용사를 실시할 경

우, 피막의 탈락, 기공의 존재로 인한 마멸의 촉진 등의 문제가 발생할 수 있으나, PTA 오버레이의 경우는 이러한 문제는 발생치 않을 것으로 생각된다.

Fig. 4는 용가재료를 달리하였을 때 각각 모재로부터 오버레이층까지의 경도 변화를 나타낸 것이다. 이 결과에 의하면 각 시험편에서 다같이 경계층 근방의 열영향부에서 연화현상을 보이고 있다. 또한 Ni계 초합금인 Nimonic재 및 Inconel재 다같이 모재인 Nimonic재에 비해 약간 낮은 경도 값을 보이고 있다. 반면에 Co계 합금인 Stellite 6 용가재의 경우는 오버레이층에서 현저한 경도 증가 현상을 보이고 있다.

#### 3.2 각 용가재료에 따른 오버레이층의 마찰 마모 특성

마모는 재료의 표면에서 발생하는 기계적인 손상으로서 기계부품의 수명을 결정짓는 중요한 요소이다. 이 연구에서는 오버레이층의 내마모성을 평가하기 위하여 마찰 마모시험기를 이용하였다. 마모시험은 앞서 2.2.2항에서 언급한 방법으로 실시하였다.

Fig. 5는 마모시험결과를 나타낸 것이다. 이 결과에 의하면 Stellite 6재에 의한 표면 육성층은 Nimonic 80A재에 비해 1/5, Inconel 625재나 Inconel 718재에 비해서는 1/6 정도의 마모량을 나타내고 있다. 이러한 결과로부터 Stellite 6 오버레이층이 가장 뛰어난 내마모성을 나타내며, Nimonic 80A, Inconel 625, Inconel 718순으로 내마모성이 열악해지는 것을 알 수 있다.

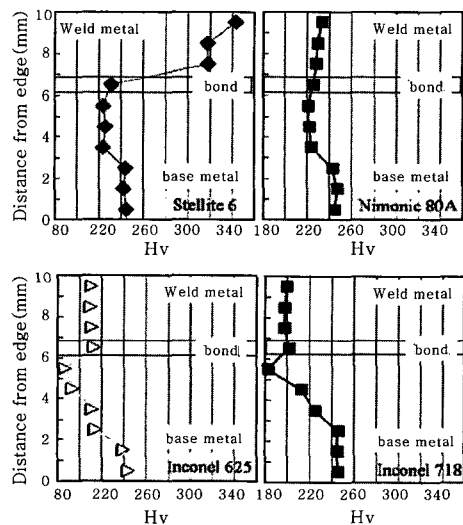


Fig. 4 Results of hardness tests with various overlay materials

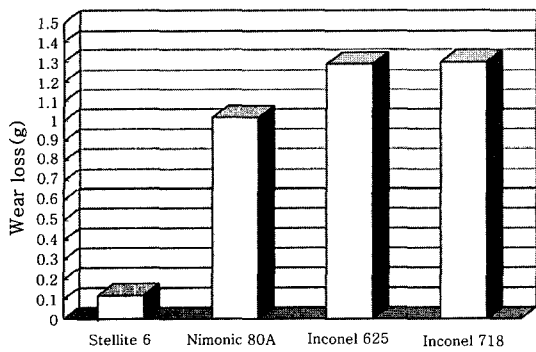


Fig. 5 The comparison of weight loss with various overlay materials

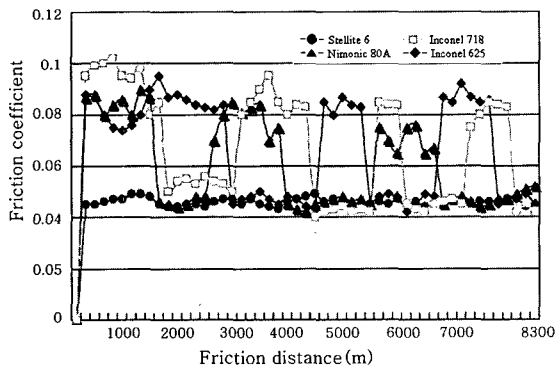


Fig. 6 Relationship between friction coefficient and friction distance on each overlay layer

Fig. 6은 마찰거리에 따른 마찰계수의 변화를 나타낸 것이다. 이 결과에 의하면 Ni기 초합금인 Nimonic 80A, Inconel 625, Inconel 718의 경우는 마찰계수 값이 초기 피크값 이후에도 주기적으로 높은 피크값을 보이고 있다. 반면에 Stellite 6의 경우에는 초기 피크값이 없이 일정한 마찰계수 거동을 보이고 있다.

Nimonic 80A, Inconel 625 및 Inconel 718의 경우에는 일반적인 마찰현상에서 나타나는 것과 같은 초기응착현상에 의해 피크의 마찰계수 값을 나타내며, 그 이후에는 마찰이 진행되는 동안 마찰입자의 응착과 탈락이 반복되기 때문에 피크 값과 낮은 값이 반복되는 것으로 사료된다. 그러나 Stellite 6의 경우는 초기응착이 일어나지 않거나 일어난다 해도 입자가 쉽게 탈락하여 마찰저항이 작아지기 때문에 일정한 마찰계수 값을 보이고 있다고 사료된다.

Fig. 7은 마찰시험 후의 각 시험편의 표면성상을 전자현미경으로 관찰한 사진이다. Nimonic 80A, Inconel 625 및 Inconel 718 시험편에서는 응착이 일어난 흔적이 보이나, Stellite 6에서는 응착이 일어난 흔적이 보이지 않는다.

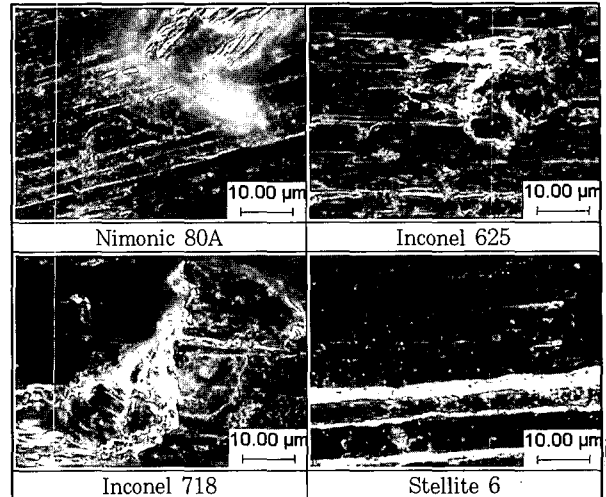


Fig. 7 Photographs of worn surface by friction

### 3.3 오버레이층의 내마모성에 미치는 고온 노출효과

PTA 공정을 통해 밸브의 표면 오버레이 실시 후 실제 밸브의 작동환경인 고온 분위기에 노출되었을 때 오버레이표면의 마모 특성이 어떻게 변화하는가를 파악하는 것은 PTA 공정의 실용화를 위해 필수적인 요소이다. 따라서 이 연구에서는 Nimonic 80A재 표면에 각각 용가재를 이용한 PTA 오버레이를 실시하고 이 시험체에 대해 실온과 실제 밸브의 작동환경인 600℃ 부근에서 5 hr 유지 후, 그리고 각각의 재료에 대한 용체화처리 및 시효처리 조건 (온도, 시간)을 재현하여 부여한 후 그 표면에 대한 내마모성을 평가하였다. 각 온도에서의 가열 후 냉각 시는 공기 중 냉각을 실시하였다.

Fig. 8, 9, 10는 각각 Stellite 6, Inconel 625, Inconel 718의 오버레이 표면에 대한 고온 노출 후의 마모시험 결과이다. 여기서 Stellite 6의 경우는 700℃

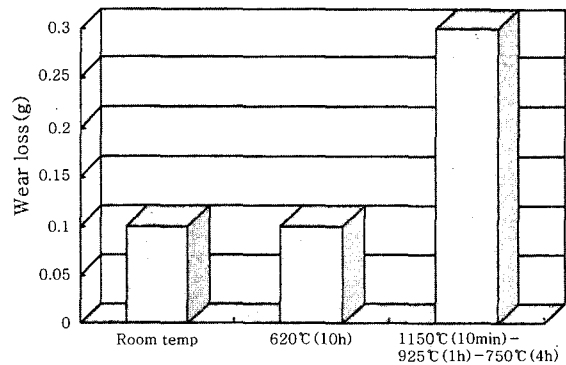


Fig. 8 The comparison of weight loss of Stellite 6 material after exposed to high temperature environment

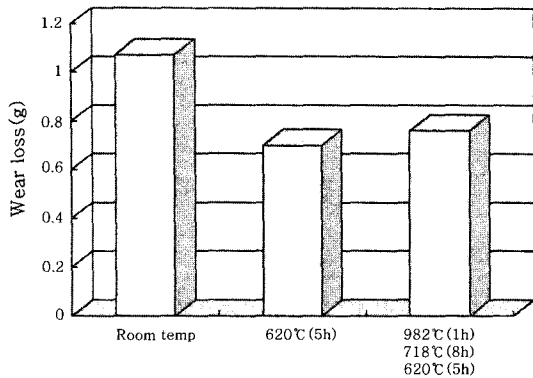


Fig. 9 The comparison of weight loss of Inconel 625 material after exposed to the high temperature environment

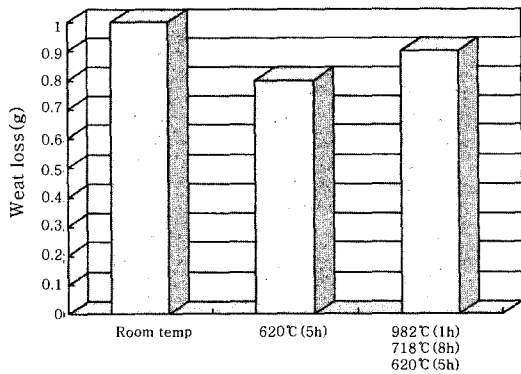


Fig. 10 The comparison of weight loss of Inconel 718 material after exposed to high temperature environment

이상의 열싸이클에 노출되었을 경우에 마모량이 현저히 증가하고 있음을 볼 수 있다. 반면에 Inconel 625 및 Inconel 718의 경우는 고온 노출로 마모량이 감소하는 경향을 보이고 있어 대조적이다. 이러한 결과로부터 Stellite 6를 이용한 오버레이층은 가능하면 고온에 노출되지 않는 표면의 오버레이 공정에 적합하고, Inconel 재를 이용한 오버레이층은 고온에 노출된 오버레이에 적합한 용가재로 사료된다.

### 3.4 케비테이션 에로전 특성

Fig. 11은 각 오버레이 층에 대해 48 시간 동안 케비테이션 에로전 시험을 실시하고, 그 무게감량을 측정하여 정리한 결과이다.

이 결과에 의하면 Ni기 초합금인 Nimonic 80A, Inconel 625 및 Inconel 718의 경우는 거의 비슷한 케비테이션 에로전성을 보이고 있으나, Co기 합금인 Stellite 6의 경우는 케비테이션 에로전 감량이 커지고 있어 이 특성이 열악한 결과를 보이고 있다. 케비테이

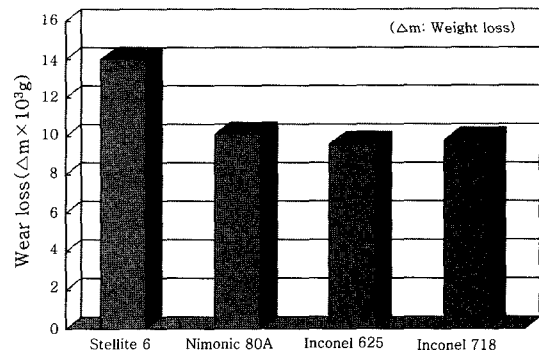


Fig. 11 Results of cavitation erosion test on each overlay layer

션 에로전현상은 피로균열의 발생과 입계면에 따른 전파작용에 의해 발생하는 현상으로 보고되어 있다<sup>8)</sup>. 따라서 Co기 초합금인 Stellite 6에서 이처럼 케비테이션 에로전성이 열악한 결과를 보이는 것은 오버레이층의 고경도로 인한 취성증가 때문인 것으로 사료된다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 내연기관용 흡·배기 밸브의 오버레이에 의한 표면개질을 목적으로 PTA 공법에 의해 Co기 초내열합금인 Stellite 6, Ni기 초내열 합금인 Nimonic 80A, Inconel 625 및 Inconel 718 분말재료를 용가재로 하여 오버레이를 실시하고 각각의 오버레이층에 대한 조직특성, 마찰마모 특성, 케비테이션 에로전 특성을 조사하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 밸브 시트 재료로 사용되고 있는 Stellite 6를 상대 마모 재료로 하여 마찰 마모시험을 실시한 결과, Stellite 6에 의한 오버레이층은 Nimonic 80A재에 비해 1/5, Inconel 625나 Inconel 718의 1/6정도의 마모량을 보이고 있어 Stellite 6, Nimonic 80A, Inconel 625, Inconel 718순으로 내마모성이 열악해지는 것으로 나타났다.

2) 각 오버레이층에 대한 고온 노출 마모시험결과 Stellite 6는 고온 노출로 마모량이 증가하는 경향을 보이고 있으며, Inconel 625 및 Inconel 718의 경우는 마모량이 감소하는 현상을 보인다.

3) 케비테이션 에로전 시험결과 Stellite 6의 경우가 가장 큰 무게감량을 보이고 있으며, Nimonic 80A, Inconel 718, Inconel 625의 순으로 점차 낮은 무게감량을 보인다.

## 참 고 문 헌

1. Y. S. Kim : Plasma Transferred Arc (PTA) Surfacing

- Process, *Journal of KWS*, 14-2 (1996), 28 - 32 (in Korean)
2. 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)
3. 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)
4. ASTM Standard G99-5A : Test Method for Wear Testing with a Pin-on-disk Apparatus16
5. H. G. Kim, J. W. Oh, Y. S. Kim : A Study on the Erosion-Resistant cermet Film Coating using the Detonation Sprayed Method. *Journal of KWS*, 19-1 (2001), 95-103 (in Korean)
6. P. A. Kammer, M. Weinstein, and R. J. Dumola : Proc. of 4th NTSC. Pittsburg, PA. USA (1991) 513-518
7. H. J. Kim : Assessment of the Plasma Spray Coatings. *Journal of KWS*, 17-1 (1999), 45-51 (in Korean)
8. Kreye H., Schwetzke R., Buschinell A., Boccanera L. : Cavitation Erosion Resistant Coating Produced by Thermal Spraying and Weld Cladding. Proc. of 15th Intl. Thermal Spray Conf. (1998) Nice France, 269-275