

## Laser Surface Cladding 고탄소 9CrSi 합금강의 마모 특성

유 능 회<sup>†</sup> · 강 성 군  
한양대학교 공과대학 재료공학부

### Wear characteristics of High Carbon 9CrSi Alloy Steel of Laser Surface Cladding

Nung-Hee Ryu<sup>†</sup> and Sung-Goon Kang

Division of Materials Science and Engineering, College of Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791

(2001년 8월 24일 받음, 2001년 9월 17일 최종수정본 받음)

**Abstract** The microstructure and the distribution of hardness of Co and Al alloy powder cladding layer in high carbon 9CrSi alloy steel for roll materials clad by laser surface cladding were investigated. And, for the evaluation of soundness as the roll materials, we examined the wear resistance of the cladding materials with the wear apparatus of pin on disc type. The experimental results showed that the microstructure of laser cladding layer was constituted with the clad surface layer, the alloy layer, the heat treatment layer with base metal. The wear resistance of Ni alloy powder cladding material was superior to that of Co alloy powder cladding material both at the low speed (0.46m/s) and the high speed(0.92m/s). It seemed that the behavior of wear showed the abrasive wear at the early stage and the adhesive wear at the late stage.

**Key words** : laser surface cladding, wear resistance, alloy powder

### 1. 서 론

Laser의 우수한 고유특성중  $2 \times 10^4$  K까지의 급속고온 가열과 가열 용융부위의 급속냉각( $10^6$  K/sec)은 laser만이 지니는 고유의 성질로서, 재료접합에 중요한 기술분야를 담당하게 되었다.<sup>1)</sup> 특히 laser의 활용은 기지금속과 접합소재의 열적 열화 현상의 주 원인인 열충격, 열변형 등을 감소시킬 수 있어, 재료접합공정에 laser의 활용도를 더욱 넓히고 있다.<sup>2)</sup>

최근 laser cladding 접합기술은 손상된 turbin blade의 육성, 성형 및 압연롤(roll)재 표면의 표면경화처리 및 손상부위의 육성접합 등에 응용이 시도되고 있다.<sup>3,4)</sup> 특히 물재의 손상된 표면부의 육성은 laser surface cladding이 일반 용접 육성접합법보다 우수한 물리적, 화학적 특성을 보이는 것으로 알려져 있다.<sup>5,6)</sup>

Laser cladding 접합기술은 다양한 cladding합금분말의 사용과 분말합금성분에 의하여 기지금속보다 동등 내지 우수한 기계적 성질을 나타낼 수 있다. 또한 기지금속과의 뛰어난 접합강도와 우수한 내마모성 및 내산화성의 특성을 나타내는 것으로 보고되고 있다.<sup>7,8)</sup> 더욱이 cladding육성 두께의 자유로운 조절과 cladding후 재가공 공정의 단축을 꾀할 수 있어, 연구의 대상으로 부각되고 있다.<sup>9)</sup>

본 연구에서는 물재 고탄소 9CrSi 합금강의 손상된 표면의 육성에 관한 laser cladding 접합기술의 기초적 연구의 일환으로서, laser surface cladding 접합공정기술을 본실

험에 적용하였다. 이때 laser cladding 합금분말은 Co 합금분말과 Ni 합금분말을 사용하였으며, laser cladding 처리후 기지금속과 laser cladding 처리에 따른 clad 합금층의 조직변화와 경도분포를 조사하였고, laser cladding 처리에 따른 물재의 건전성 평가를 위하여 pin on disc 형 마모시험을 하여 내마모성을 검토하고자 하였다.

### 2. 실험 방법

#### 2-1. Laser surface cladding

Laser cladding을 위한 기지금속은 고탄소 9CrSi 합금강이었으며, cladding분말은 Co 합금분말과 Ni 합금분말로서, 이들 조성 단위를 명확하게 (atomic % or weight %)를 Table 1에 나타내었다. 본실험에 적용된 laser cladding 접합기술은 5kW CO<sub>2</sub> 레이저 발생장치를 이용하였고, cladding 조건은 laser광원의 에너지출력을 1300W로, 광선의 이송속도 (beam scanning)는 4 m/sec로, 광선의 직경을 3 mm로, 레이저 조사광선의 중복비율은 10%로 정하여 laser cladding 접합하였다. cladding 분말재의 이송 (feeding)은 자체 제작된 이송기(feeder)를 사용하여, 공히 200 mesh의 Co 합금분말과 Ni 합금분말을 동일한 이송속도로 laser cladding접합에 사용하였다.

#### 2-2. 경도 및 마모시험

경도시험은 laser cladding 접합된 두 시험재의 단면을 수직으로 절단하여, 절단된 수직면의 미소경도를 CHX-1 micro vickers 미소경도시험기를 사용하였다. 마모시험은

<sup>†</sup> E-mail: sgkang@email.hanyang.ac.kr

Table 1. The Chemical compositions of base metal and Q235 pin material and alloy powders for laser cladding.

Materials	Chemical compositions (wt. %)										
	C	Mn	Si	Ni	Cr	Fe	Co	Mo	W	S	P
9CrSi Alloy Steel	0.85 ~0.95	0.3~0.6	1.2~1.6							<0.03	<0.03
Co Alloy Powder				8.78	20.81	18.57	44.90	0	6.94		
Ni Alloy Powder				62.62	22.78	5.52	0	3.60	0.81		
Q235	0.14 ~0.22	0.25 ~0.55	0.3							<0.03	<0.03

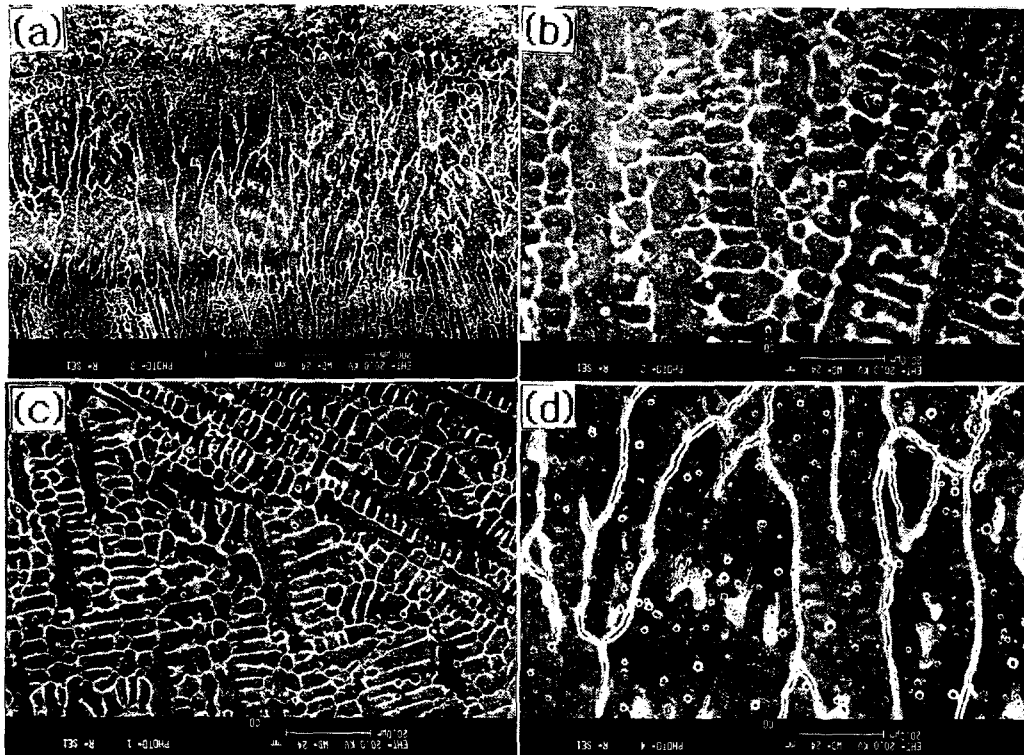


Fig. 1. SEM photographs in Laser clad layer of Co alloy powder a) SEM photograph in transectional area of Co clad specimen b) SEM photograph in subsurface of (a) c) SEM photograph in medium area of (a) d) SEM photograph in interface area of (a)

pin-on-disc 형 마모시험기를 사용하여 상온, 건식분위기하에서 마모시험하였다. 이를 위하여 laser cladding 처리된 시험재를  $\phi 34\text{mm} \times t10\text{mm}$  disc 형 주 시험편으로 가공하였고,  $\phi 5\text{mm} \times 110\text{mm}$  pin을 상대 시험재로 하여 마모시험에 사용하였다. 특히 본 시험에 사용된 상대 시험재는 0.15~0.22 carbon wt%의 저탄소 구조용강(Q235강)으로 실제 형강의 압연공정에서 사용되는 강재로서, 실제 압연과정의 모사를 위하여 상대시험재로 선정하여 마모시험에 사용하였으며, 이의 조성 역시 Table 1에 나타내었다.

마모시험의 속도는 disc의 회전속도를 0.46 m/sec와 0.92 m/sec의 두 시험조건으로 하여, 부하압력을 100, 150, 200, 250, 300N 압력조건하에서 시험하였다. 이때 주시험편은 laser cladding 접합상태 그대로의 것을 시험편으로 사용하였고, 상대시험재 시험편은 표면을 3~4  $\mu\text{m}$ 의 표면

조도로 정밀연삭 가공하여 시험에 사용하였다. 마모감량의 측정은 마모시험전·후의 마모시험편의 무게차를 0.1 mg의 감도를 갖는 자동저시 정밀천평에 의해 정량하였다.

### 2-3. 현미경 관찰

Laser cladding 처리된 Co, Ni 합금분말 cladding 두 종류의 시험재의 표면과 수직단면을 주사전자 현미경(SEM)을 사용하여 관찰 조사하였다. Cladding 처리된 두 시험재의 기지금속과 cladding 금속간의 계면분석을 위해서 XRD를 사용하여 계면층의 상을 분석 조사하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3-1. Laser cladding 에 따른 조직 관찰

Fig. 1은 Co 합금분말의 clad층 단면을 관찰한 SEM 조직사진이다. 사진(a)에서 볼 수 있듯이 전반에 걸쳐 clad

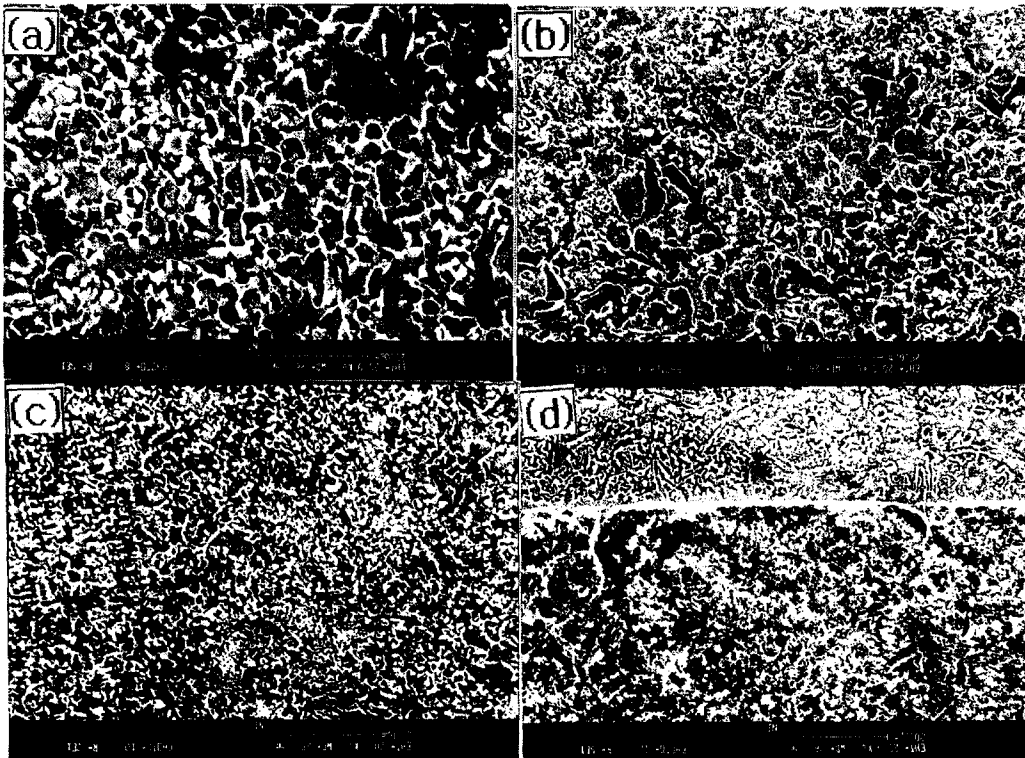


Fig. 2. SEM photographs in Laser clad layer of Ni alloy powder a) SEM photograph in transectional area of Ni clad specimen b) SEM photograph in subsurface of (a) c) SEM photograph in medium area of (a) d) SEM photograph in interface area of (a)

층은 전형적인 응고 조직의 형태를 보이면서 세 구역으로 나누어져 있는 것을 볼 수 있다. 사진 (b)는 초기표면층으로 Co 합금분말의 저 유동성과 함께 합금 및 기지금속 표면의 가스의 발생에 의한 극소수의 미세 기공과, 큰 결정입 분포를 보이는 것으로 관찰되었다. 사진 (c)는 clad 층의 중간층으로서, 전형적인 응고조직인 수지상구조를 띠고 있으나 미세 가스공이나 균열은 관찰할 수 없었다. 사진 (d)는 clad층의 저면층으로서 columnar 구조를 보이고 있다. 사진 (a)의 전체 clad합금층 사진 관찰에서 볼 수 있듯이 합금층과 기지금속과의 계면층에서 결합이나 다른 계층물 등을 관찰할 수 없었다.

Fig. 2는 Ni 합금분말의 clad 층을 조사한 SEM 조직사진이다. 앞서 Fig. 1의 경우와 유사한 조직변화를 보이고 있었으나, 다소 흥미로운 점은 Ni는 오스테나이트 안정화 원소로서, 응고조직과 계면조직 및 기지금속에서의 오스테나이트 결정입도의 차이에 기인한 조직미세화 현상을 관찰할 수 있었다. 즉 사진 (a)에서 볼 수 있듯이 clad 합금층과 기지금속은 뚜렷한 경계를 이루고 있으며, 용융열 냉각속도에 따라 표면층 (b)로부터 (c), (d)로 갈수록 다소 결정입이 미세화되는 것을 볼 수 있다.

한편 XRD를 사용하여 Co 합금분말 clad층과 Ni 합금분말 clad층의 상분석 결과를 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3에서 볼 수 있듯이 Ni 분말합금층의 계면은 오스테나이트와 페라이트 및  $(CrFeMo)_{23}C_6$  및  $Cr_7C_3$ ,  $Fe_3C$ 의 탄화물,  $Cr_3Ni_2$ 로 이루어진 금속간 화합물층으로 조사되었다. 이들 clad층과 기지금속의 미소경도 분포를 조사하였다.

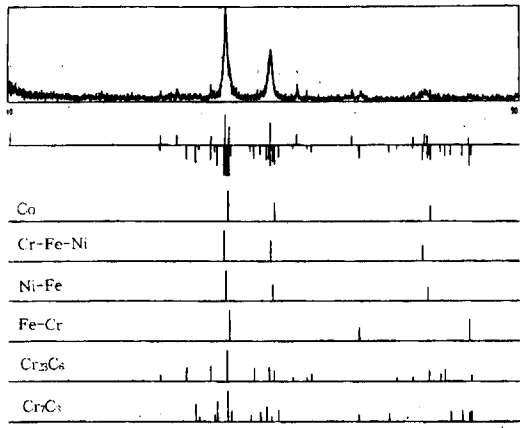
### 3-2. 미소경도

앞서 단면 조직 관찰에서 볼 수 있듯이 clad 층의 조직변화에 따른 미소경도를 측정하여 Fig. 4와 Fig. 5에 각각 나타내었다. Fig. 4는 Co 합금분말 clad층과 기지금속의 경도분포도이고, Fig. 5는 Ni 합금분말 clad층과 기지금속의 경도분포도이다. 그림에서 볼 수 있듯이, Co 합금분말 clad 층의 두께는 1.35 mm이었고, Ni 합금분말 clad층의 두께는 1.57 mm로 각각 조사되었다. 또한 Co 합금분말 clad 표면의 경도는 Hv 385이었고 기지금속으로 갈수록 미세한 경도의 감소가 나타나다가 1.43 mm에서 급격한 경도의 증가를 보이고 있다. 이는 clad층의 경우 Co 합금분말에 의한 Co화합물의 거동과 오스테나이트 결정입도의 차이에 의한 경화층의 경도변화로서, 계면층에서 조사된 탄화물과 금속간 화합물 및 급격한 열유동에 의한 조직변화에 기인한 것으로 생각된다.

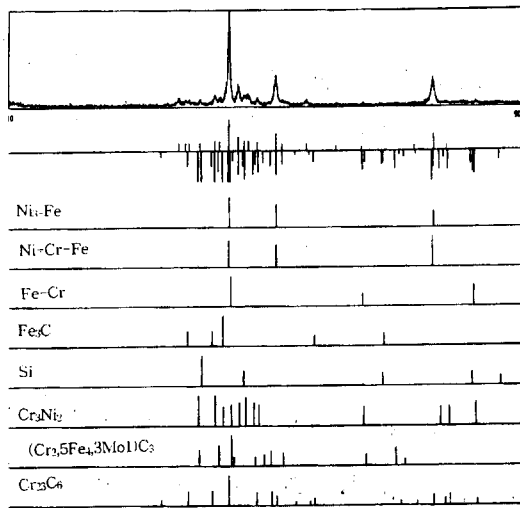
Fig. 5는 Ni 합금분말의 clad층으로 앞서 Co 합금분말과는 다소 다른 형태로 나타났다. 이는 Ni 영향에 의한 clad층내 경화층의 차이에 따른 것으로 생각되며, clad 표면경도는 Hv 842로 Co 합금분말보다 월등히 높은 표면경도로 조사되었고, clad층의 전반적 경도분포는 Co 합금분말에서 보다 더욱 큰 경도의 변화를 보이고 있다. 그러나 1.46 mm의 clad 계면층에서 경도의 증가현상은 앞의 Co 합금분말의 현상과 비슷한 거동을 보이는 것으로 조사되었다.

### 3-3. 마모시험

마모시험은 Laser Cladding층을 disc 시험편으로, Q235 물재를 pin 시험편으로 하여, 부하압력에 따른 마모



(a)



(b)

Fig. 3. XRD Data of surface layer clad by two alloy powder a) XRD pattern of Co alloy powder cladding surface b) XRD pattern of Ni alloy powder cladding surface

량의 변화 및 disc slide거리와 마모감량과의 관계를 조사하였고, disc의 회전속도는 0.46m/s와 0.92m/s 두가지로 각각 10분간 마모실험하였다.

Fig. 6은 0.46m/s의 마모속도에서 마모시험한 Ni합금 레이저 크래딩층과 Q235 pin의 마모감량과 부하압력간의 관계를 조사한 결과이다. 마모초기의 마모감량은 두 시험편 모두 큰 것으로 나타났다. 이는 초기 clad층의 표면조도에 의한 마모현상으로 탈락된 마모편과 이들 마모편이 연삭제로 작용하여 Q235 상대 시험재에도 마모감량을 증가시킨 것으로 생각된다. 마모초기 Ni합금과 Q235강 모두 마모량의 증가가 조사되었으나, 150N 부하압력에서 Q235강 pin의 마모량은 부하압력의 증가와 함께 감소하는 것으로 나타났다. 즉 부하압력의 증가가 마찰력을 크게 하고, 마모표면의 표면온도의 증가로 이어져 Q235 pin 상대재는 가공경화되어 경도가 높아지고, 마모량이 적어지게 된다. 따라서 Ni 합금분말 cladding 시험편은 상대시험재 경도증가 현상과 더불어 부하압력 증가의 영향에 의하여 마모감량은 증가하게 되는 것으로 생각된다.

Fig. 7은 회전속도가 0.92m/s의 마모시험결과로서,

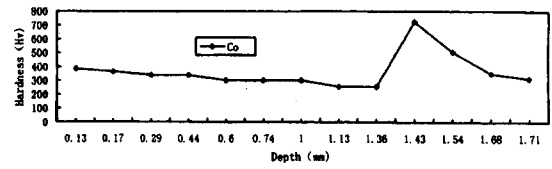


Fig. 4. The relationship of the hardness and the depth of clad layer in Co alloy powder clad.

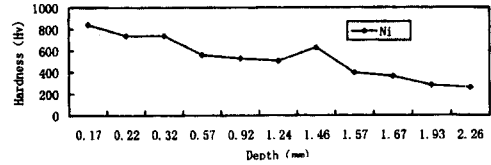


Fig. 5. The relationship of the hardness and the depth of clad layer in Ni alloy powder clad.

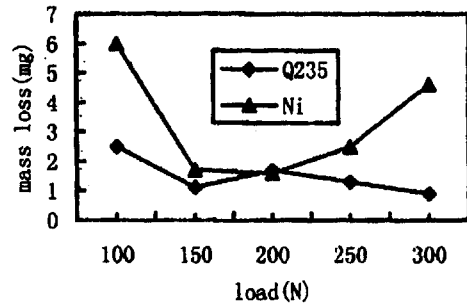


Fig. 6. The relationship of wear loss of Q235 pin and Ni Alloy disc according to various loading press at the wear speed of 0.46m/s.

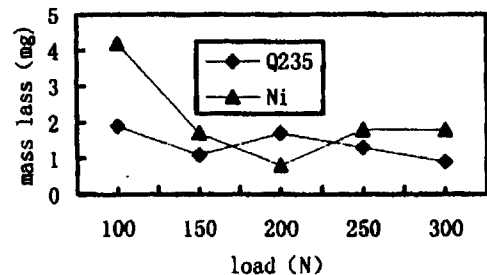


Fig. 7. The relationship of wear loss of Q235 pin and Ni Alloy disc according to various loading press at the wear speed of 0.92m/s.

Q235 시험재와 Ni 합금분말의 마모량은 부하압력의 증가에 따라 모두 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 고속마모에 의한 표면 마찰온도의 상승 및 표면조도의 미세함에 기인하여 연삭마모(abrasive wear)보다는 용착마모(adhesive wear)로 진행되면서, 동시에 두 마모표면의 경도차가 감소하게 되어 나타나는 마모현상으로 사려된다.

이에 본 시험에서는 고속회전시의 저속회전시의 마모감량과 하중사이의 상관관계를 조사하기 위하여 상대마모량 개념을 도입하였다. 즉, 상대마모량은 pin의 마모량과 disc의 마모량의 비로서, 다음과 같은 식으로 상대 마모량(Q)을 나타낼 수 있다.  $Q=q_1/q_2$ ; 여기서  $q_1$ 은 pin의 마모

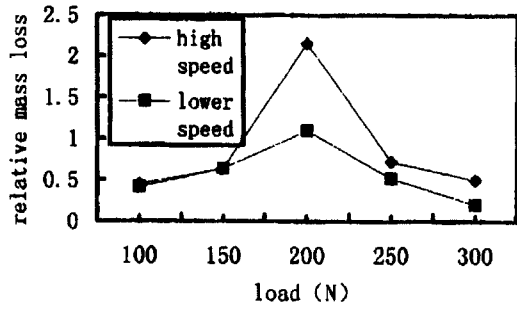


Fig. 8. The relationship of the relative wear loss, Q, of Q235 pin and Ni Alloy disc at low speed(0.46m/s) and high speed(0.92m/s)

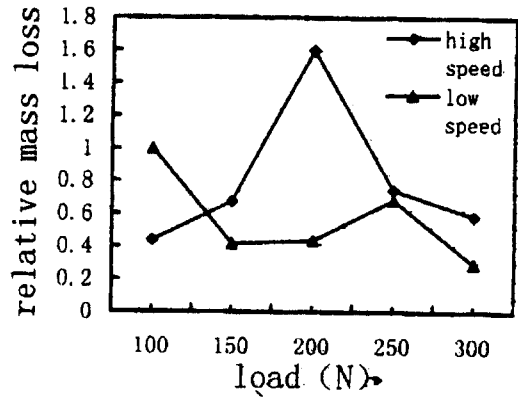


Fig. 11. The relationship of the relative wear loss, Q, of Q235 pin and Co alloy disc at low speed(0.46m/s) and high speed (0.92m/s)

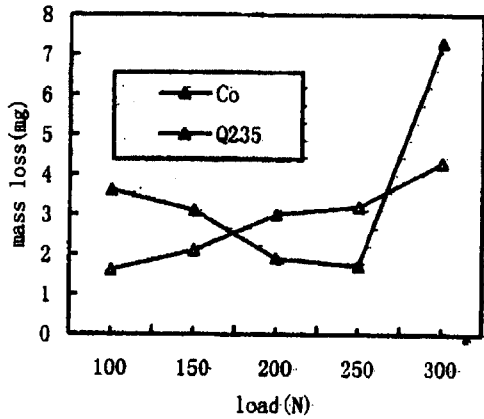


Fig. 9. The wear loss relationship of Q235 pin and Co Alloy disc under various loading press at the wear speed of 0.46m/s.

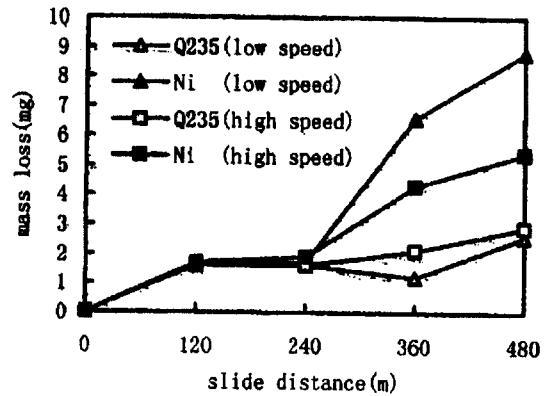


Fig. 12. The relationship of the wear loss of Q235 pin and Ni Alloy disc and various sliding distances.

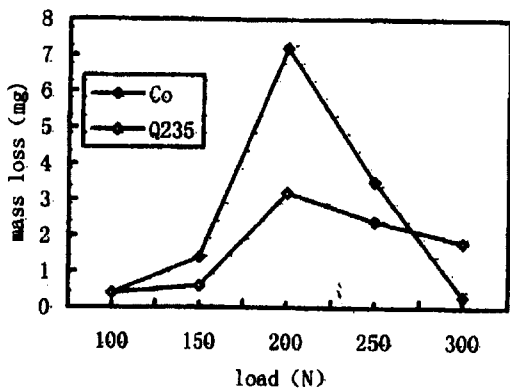


Fig. 10. The wear loss relationship of Q235 pin and Co Alloy disc under various loading press at the wear speed of 0.92m/s.

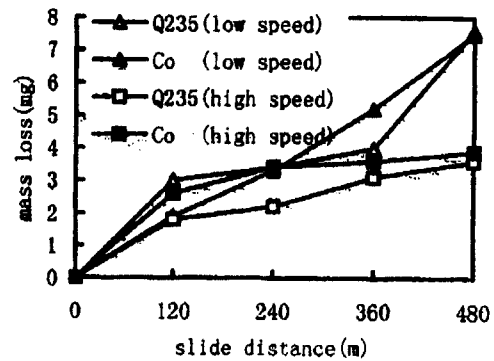


Fig. 13. The relationship of the wear loss of Q235 pin and Co Alloy disc and various sliding distances.

량,  $q_2$ 은 disc의 마모량이다. 상대마모량,  $Q$ 로부터  $q_1$ 이 일정할 때  $Q$ 가 커질수록 disc의 내마모성은 좋은 것으로 생각할 수 있다.

Fig. 8은 Ni 합금분말에서의 상대마모량을 나타낸 것으로서, 그림에서 볼 수 있듯이 마모초기의 상대 마모량은 하중의 증가에 따라 증가되다가 200N 이후의 하중부터  $Q$ 는 감소하는 것을 볼 수 있다. 초기마모의 경우, pin과 disc의 표면조도에 기인한 것으로 표면조도의 거칠기에 따라 마모량도 변화하지만 일정한 마모를 거친후 마모표면의 거칠기가 감소하면서 융착마모로 마모형태가 변화하는 것으로 나타나며, 동시에 부하압력의 증가에 따라 표면온도가 상승되

고 pin의 경도증가에 기인하며 상대 마모량  $Q$ 는 감소하게 되는 것이라 생각된다.

한편 Fig. 9에 마모속도 0.46m/s의 저속마모에 의한 Co 합금분말 크래딩층의 마모결과를 나타내었다. 마모는 Q235 pin의 마모감량은 부하압력의 증가와 함께 증가하는 것으로 나타났으나, Co 합금분말 크래딩층은 부하압력의 증가가 마모량의 감소를 보이다가, 250N 부터 다시 마모량이 증가하는 것으로 나타났다. 이는 Co 합금분말 크래딩에서 200N까지 재료자체의 가공정화에 의해 마모량이 감소하는 것으로 생각된다. Fig. 10은 0.92m/s의 고속 마모 결

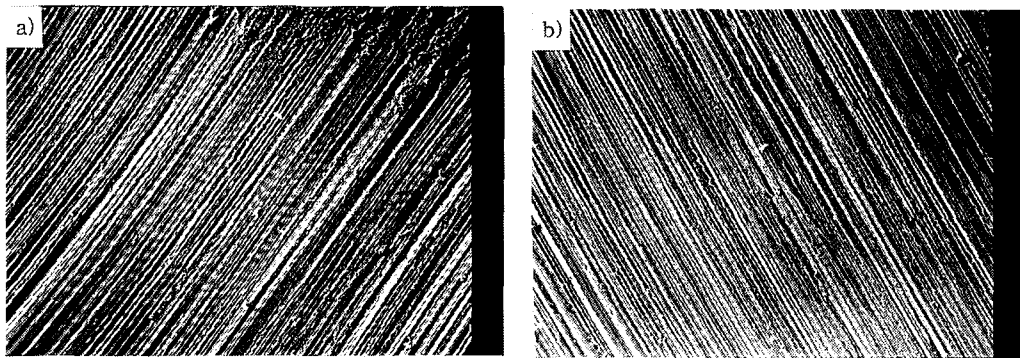


Fig. 14. SEM photographs of surfaces clad with two alloy powder. a) SEM photograph of Ni cladding surface ( $\times 100$ ) b) SEM photograph of Co cladding surface ( $\times 100$ )

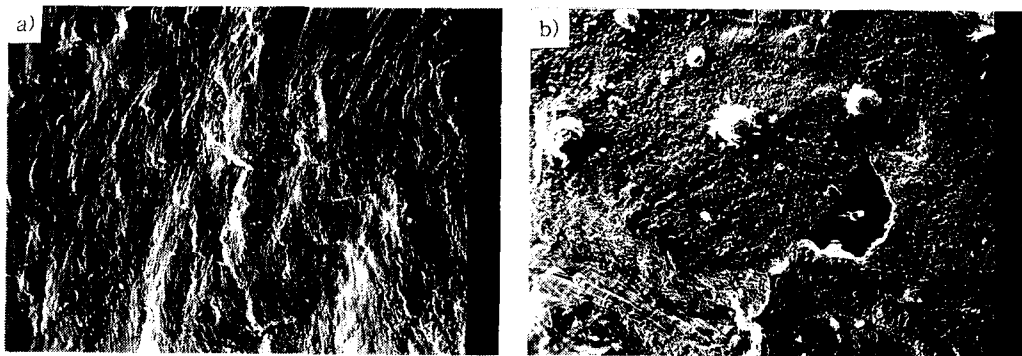


Fig. 15. SEM photographs of the worn surface under two wear speed. a) SEM photograph of Co cladding worn surface at 0.46m/s wear speed ( $\times 100$ ) b) SEM photograph of Co cladding worn surface at 0.92m/s wear speed ( $\times 100$ )

과로서, 앞서 Fig. 9의 저속마모의 경우와는 다소 다른 마모거동을 보이고 있으나, Q235와 Co 합금분말 크래딩 모두 동일한 마모거동을 보이는 것으로 조사되었다. 이를 상대마모량, Q로 Fig. 11에 나타내었다. 앞서 Ni 합금분말의 경우와 비슷한 결과로, 200N 이후 상대적으로 Q 값이 증가하다가 재차 감소하고 있다.

한편 Ni, Co 합금분말 크래딩 모두 부하압력의 증가가 마모량의 증가로 나타났으나, 고부하압력에서 마모량이 감소하는 것으로 조사되었고, Ni 합금분말 크래딩의 경우가 Co 합금분말 크래딩 보다 내마모성이 우수한 것을 볼 수 있었다. 즉 저속도 마모의 경우 Ni 합금분말 크래딩층의 평균 마모량은 3.28mg 이었으나, Co 합금분말 크래딩층은 4.04mg으로 Ni 합금분말 크래딩 마모량의 1.23배를 보이고 있다. 고속도 마모의 경우 Ni 합금분말 크래딩의 평균마모량은 2.06mg으로, Co의 경우 3.7mg으로 조사되어, 이 역시 Ni 합금분말 크래딩이 Co보다 1.8배의 내마모성을 보이는 것으로 나타났다. 그러므로 Ni 합금분말 크래딩층의 표면경도가 Co의 경우보다 2배이상 높은 것으로 생각할 수 있겠다. 또한 Ni 합금분말 크래딩에서는 저속마모의 경우가 고속마모의 경우보다 1.6배의 내마모성을 보이고 있으며, Co 합금분말의 경우에는 저속마모가 고속마모보다 1.09배의 우수한 내마모결과를 나타내었다. 이는 고속도에서 내마모성이 저속도에서보다 우수한 것으로 조사되었으나, Co 합금분말의 경우에는 그의 상관성이 적은 것으로 조사되었다.

이들 마모결과를 200N 하중, 0.46m/s의 저속도의 마모감량과 0.92m/s 고속도의 마모감량과 마모거리와의 관계에 관한 마모시험결과를 Fig. 12와 Fig. 13에 각각 나타내었다. Fig. 12는 Q235 pin과 Ni 합금분말 크래딩의 관계이며, Fig. 13은 Q235 pin과 Co 합금분말 크래딩의 마모현상이다. Q235 pin과 두 합금 크래딩층의 마모감량은 마모거리의 증가와 함께 두 합금분말 cladding에서 모두 증가하는 것을 볼 수 있으나, 저속, 고속마모에서 모두 Q235 pin의 마모량이 Ni 합금분말 크래딩의 마모량보다 적었으며, 고속도 마모량이 저속도 마모량보다 큰 것을 확연히 볼 수 있다. Co 합금분말 크래딩의 경우 역시 고속도 마모의 마모량이 저속도 마모보다 큰 것으로 나타났다. 이들 결과와 앞서 마모결과에서 언급하였듯이 본 실험의 크래딩층의 마모거동은 초기마모에는 연삭마모가 주요 마모기구가었다가 마모후기로 가면서 응착마모로 그 마모현상이 변화하는 것으로 생각된다.

#### 3-4. 마모 전·후의 clad 표면

Cladding 처리된 마모전 초기 Cladding 합금분말 표면을 관찰한 SEM 사진을 Fig. 14에 나타내었다. 사진에서 볼 수 있듯이 두 시험편 모두 표면상태가 거친 것을 볼 수 있다. 그러므로 초기마모에서는 표면조도에 기인한 연삭마모기구에 의한 마모탈락편이 주로 발생하다가, 초기마모후 마모표면의 매끄러운 변화에 의해 마모기구의 변화와 함께 마모감량의 감소를 생각할 수 있겠다.

마모시험후 마모표면을 SEM으로 관찰한 마모표면사진

을 Fig. 15에 나타내었다. Fig. 15의 SEM사진은 Co 합금 분말 크래딩 마모표면을 관찰한 것으로서, 0.46m/s 마모속도인 사진(a)의 경우, 마모표면의 마모상태는 마모탈락편의 크기가 좁고 긴 것으로 관찰된다. 이는 앞서 마모감량에서 언급한 바와 같이 연삭마모가 주로 일어나다가 부하압력의 증가와 더불어 용착마모로 진행되는 것으로 생각할 수 있다. 사진(b)의 경우 0.92m/s의 고속회전에서 나타난 마모표면사진으로서, 앞서 사진(a)와 좋은 대조를 보임을 알 수 있다. 앞서 사진(a)의 경우보다 마모탈락편의 흔적이 크고, 부분적으로 산화층으로 여겨지는 산화물의 발견은 고속마모에 따른 용착마모거동이 주된 마모기구로 생각할 수 있다. 즉 부하압력의 증가나 마모속도의 증가는 초기마모과정후, 중기, 후기로 갈수록 마모탈락편의 형성과정에 용착마모가 주된 마모기구로 작용하는 것으로 설명할 수 있겠다.

#### 4. 결 론

1) 고탄소 9CrSi 합금강 레이저 표면 크래딩층의 미세조직은 Co, Ni 합금분말의 크래딩층과 합금층, 기지 열처리층의 세층으로 구성되어졌으며, 접합특성은 모두 우수한 것으로 생각되었다.

2) Co 합금분말의 크래딩층은 1.35mm, Ni 합금분말의 크래딩층은 1.57mm이었고, 미세경도값은 Hv 385와 Hv 842로 각각 조사되었다.

3) 0.46m/s 저속마모에서 Ni 합금분말 cladding의 평균마모감량은 3.28mg이었고, Co 합금분말 cladding에서는 4.04mg이었다. 또한 0.92m/s 고속마모에서 역시 Ni 합금분말 cladding의 내마모성이 Co 합금분말 cladding보다 우수한 것으로 조사되었다.

4) Ni, Co 합금분말 cladding의 마모거동은 초기마모에서는 연삭마모로, 후기마모로 갈수록 용착마모로 마모기구가 변하는 것으로 사려된다.

#### 참 고 문 헌

1. J. I. Nurminen and J. E. Smith, Parametric evaluation of laser/clad interaction for hardfacing applications, E. A. Metzbowler (ed.), Lasers in Materials Processing, ASM, Metals Park, OH, 1983, pp 94-106.
2. J. Mazumder and A. Kar, Solid Solubility of laser cladding, J. Met., Feb., 1987, pp 18-23.
3. Rong-Lu Shun et al, Microstructure and Wear Resistance of NiCrSi Laser clad layer on titanium alloy Applied Laser, Vol.20, No.6, 2000, pp 261-263.
4. Xi-quang yang, Large area laser tonatic clad system and its industry application, chinese laser focus A collection of choice Laser, Vol.6, No.3, 1996, pp 17-20.
5. J.M yellup, Surface and Wating Technology, 71, 1995, pp 121.
6. Bo-Lin zhu, Reserch of cracking in laser cladding layer Heat treatment of Metals, 7, 2000, pp 1-4.
7. Jia-Jin Wang, Laser Processing Technology, chinese measure press. 1991, pp 239-284.
8. Jian-ming Lee, Friction metals, Metallogic industry press, 1990, pp 217-243.
9. Ping Jiang, Microstructure and resistance of laser alloyed Ti-6I-4V alloyed with Sic powders, Applied Laser, Vol.19, No5, 1999, pp 229-231.