

Grit Blasting이 용사층의 밀착력에 미치는 영향에 관한 연구

김선규
금속공학과

<요약>

grit blasting의 공정변수가 모재의 표면조도와 용사층의 밀착력에 미치는 영향을 연구하였다. blasting각도, blasting 압력, 노즐과 시편의 거리, 용사층의 두께, blasting 후 용사할 때 까지의 시간, 용사후 밀착력 측정시까지의 시간 등의 변화가 밀착력에 미치는 영향을 조사하였다. blasting한 시편의 morphology와 밀착력 시험시 파괴의 모양도 아울러 조사하였다.

A Study on the Effects of Grit Blasting on the Bond Strength of Thermal Sprayed Layer

Sun Kyu Kim
Department of Metallurgical Engineering

<Abstract>

Effect of various parameters of grit blasting on the surface roughness and the bond strength of sprayed layer were investigated. Blasting angle, blasting pressure, distance between nozzle and specimen, thickness of sprayed layer, time elasped from grit blasting to thermal spraying and time delayed from thermal spraying to bond strength measurement were varied and their effects on bond strength were determined. Morphology of blasted specimens and failure mode of bond test were also studied.

1. 서 론

용사(Thermal Spray)란 금속 및 세라믹 분말이나 와이어를 다양한 열원을 이용하여 용융시켜 분사하여 모재의 표면에 코팅을 실시하는 기술을 말하며 용사에 의한 코팅은 일반 도금층 보다 내구성이 탁월하고 전공증착에 의한 내마모성코팅보다 효과적으로 두꺼운 코팅이 가능하여 경제성이 있으므로 내마모성 혹은 공기중에서의 산화나 해수에 대한 내식성을 부여하는데 이용된다. 열원으로는 전기와 불활성기체에서 발생하는 플라즈마 또는 개스에 의한 화염등을 이용한다. 분해, 기화, 승화되지 않고 용융시킬 수만 있는 물질은 거의 모두 다 용사가 가능하다.

용사층의 모재에 대한 결합의 가장 중요한 기구는 용사층 마모재의 요철부위와의 mechanical interlocking이다[1]. 이외에도 van der Waals force 혹은 확산에 의한 금속학적 결합도 있을 수 있다. 따라서 모재의 표면상태가 용사층의 결합력에 대단히 중요한 역할을 하므로 모재의 전처리는 대단히 중요한 단계이다.

모재에 요철을 주는 전처리로서 grit blasting이 가장 많이 사용되고 있는데 grit blasting이 이와 같이 중요한 공정임에도 불구하고 용사공정 자체는 많은 연구가 이루어졌지만[2-3] 용사 전처리에 관해서는 많은 연구가 이루어져 있지 않은 실정이다. 본 연구에서는 연강에 Al을 용사할 때 grit blasting의 공정 변수가 모재의 표면조도와 코팅층의 밀착력에 미치는 영향을 조사하였다. 성수대교 붕괴이후 교량, 구조물의 완전한 부식관리가 중요하게 대두되고 있다. 따라서 앞으로 내식성 코팅의 적용이 보다 활발해질 것으로 기대되며 내식 코팅을 위한 용사 처리 관련 연구도 보다 활성화 될 것으로 기대된다.

2. 실험방법

grit blasting은 nozzle이 부착된 blasting cabinet에서 하였으며 압축공기의 압력은 $2.5\text{kg}/\text{cm}^2 \sim 6.0\text{kg}/\text{cm}^2$ 이었으며 주로 $4.5\text{kg}/\text{cm}^2$ 에서 실험을 행하였다. grit은 Al_2O_3 를 사용하였다. blasting 각도와 nozzle과 모재거리를 유지하기 위하여 jig를 제작하여 cabinet내부에 부착하였다. 시편은 구조물에 많이 쓰이는 구조용 연강(C:0.2%, Si:0.15%, Mn:0.3%, P:0.03%, S:0.03%)을 사용하였으며 가로×세로×두께를 $25\times45\times5\text{mm}$ 로 가공하여 표면을 사포로 연마하여 사용하였다. 시편을 blasting jig의 table에 놓고 blasting nozzle을 holder에 끼워넣고 각도와 거리를 조절하였다.

Al의 용사는 Metco type 5p-II Flame spray gun을 사용하였으며 Al분말은 Metco사의 제품인 54NS-1 Al powder를 사용하였다. blasting한 시편을 지지대에 걸고 spray gun을 시편에 수직되게 하여 용사하였다. gun과 시편의 거리는 보통 100mm이며 gun의 이동속도는 40mm/sec이었다. gun은 산소압력 25 psi, acetylene 압력 15 psi로 작동하였다. 표면조도는 조도 측정기(Surfcomber SE-40C, Kosaka labortory Ltd.)로 측정하였으며 용사층의 모재에 대한 밀착력의 측정은 Sebastian system을 이용하였다. 이 방법은 코팅층에 stud를 bonding한 후 tensile pull test를 함으로서 측정하는 방법이다.

3. 실험결과

강재시편을 grit blasting 할 때 blasting angle을 10° , 30° , 60° , 90° 로 변화시키면서 새 grit와 오래된 grit(1년 정도 사용한 grit)을 사용하여 blasting 한 시편의 표면조도(R_a)를 조도측정기로 측정한 결과를 Fig. 1과 Fig. 2에 각각 나타내었다. 새 grit을 썼을 때 Fig. 1에서 보는 바와같이 blasting angle이 90° 일 때 $R_a = 3.6\mu\text{m}$ 로서 90° 일 때 요철 부위의 평균 깊이가 가장 큰 것을 알 수 있었다. 90° 에서 blasting하였을 때 grit이 시편에 충돌할 때의 momentum이 가장 커서 결과적으로 시편에 가장 큰 요철 부위를 형성한다고 사료되며 이는 30° 에서 90° 까지 blasting angle을 변화시켰을 때 90° 에서 가장 큰 R_a 를 얻었다고 보고한 Mellali등[4]의 보고와 일치한다. 오래된 grit을 썼을 때는 Fig. 2에서 보는 바와같이 60° 와 90° 일 때 $R_a = 2.7\mu\text{m}$ 으로서 새 grit을 썼을 때 보다 요철 부위의 평균 깊이가 현저하게 감소하였음을 알 수 있었다. 이는 새 grit의 각진 모양이 오래 사용하면 둥글게 되고 grit의 크기도 감소하여서 blasting의 효과가 감소하기 때문이다.

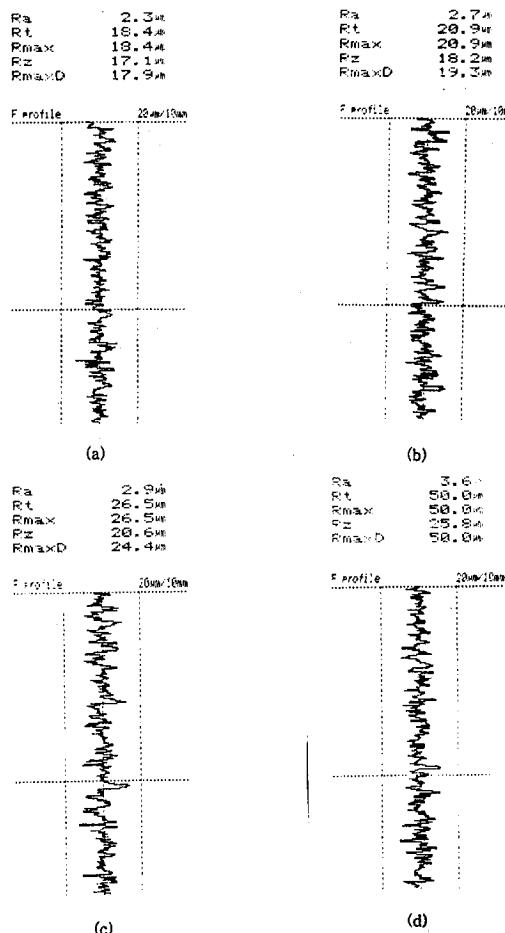


Fig. 1. Surface profile of specimens blasted at different angles with new grits
(a= 10° , b= 30° , c= 60° , d= 90°)

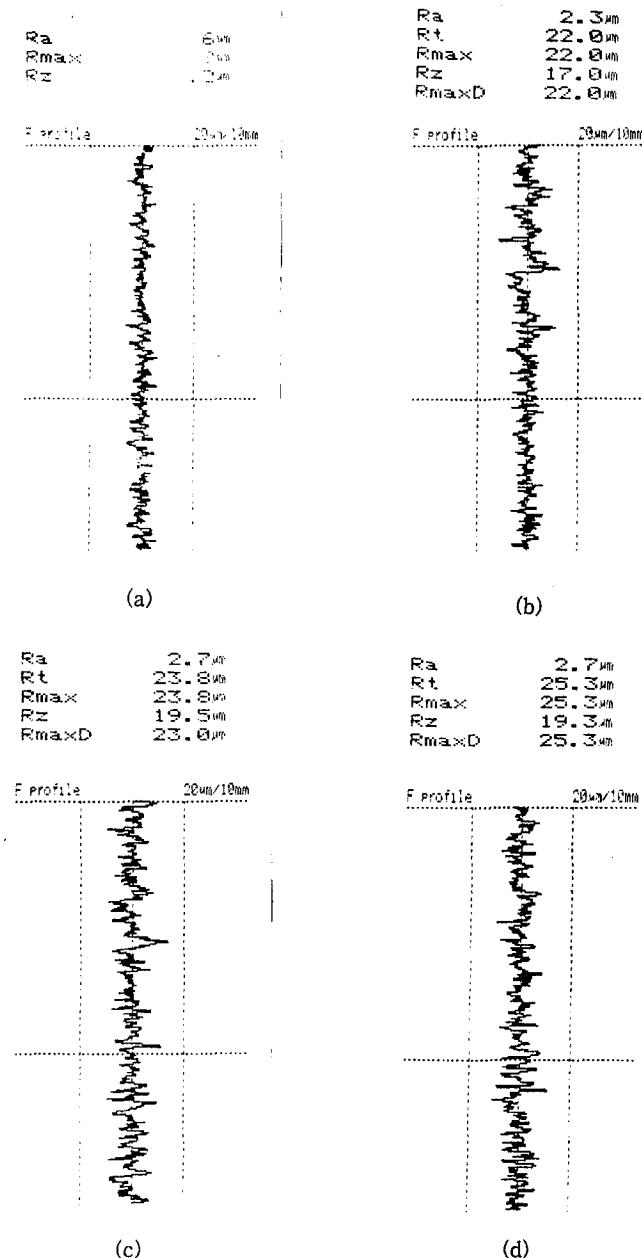


Fig. 2. Surface profile of specimens blasted at different angles with worn grits
 (a=10° , b=30° , c=60° , d=90°)

새 grit을 사용하여 90° 와 10° 에서 blasting한 시편과 오래된 grit을 사용하여 90° 와 10° 에서 blasting한 시편의 금속 현미경에 의한 표면 morphology를 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3에서 보는 바와같이 새 grit을 사용하였을 때가 오래된 grit을 사용하였을 때보다 표면의 요철 부위가 더 확실하게 나타남을 알 수 있다.

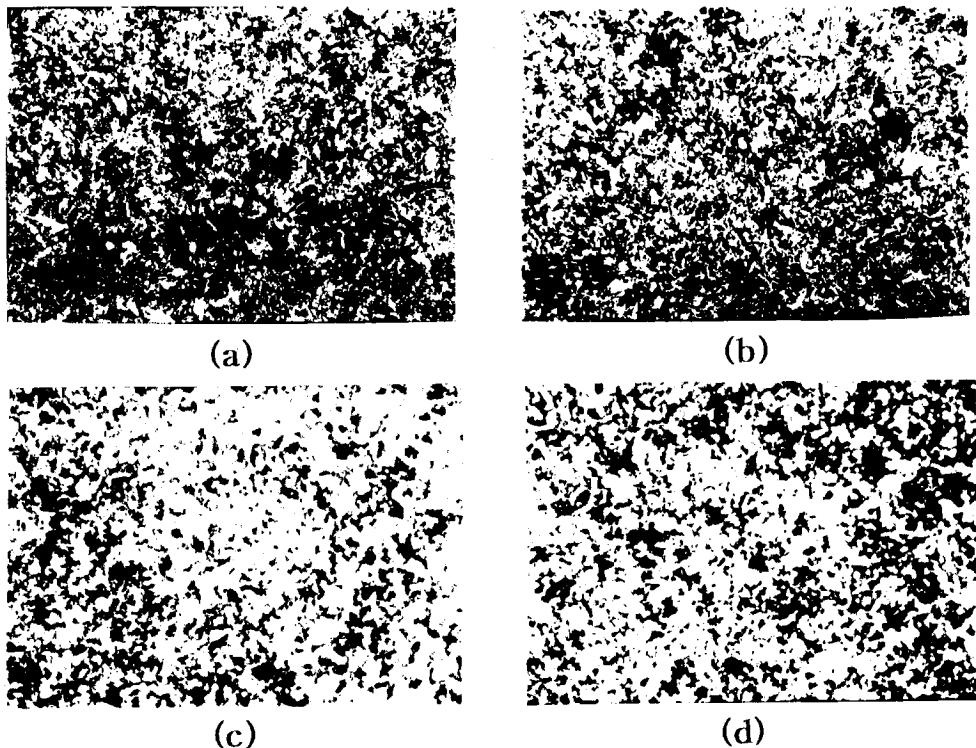


Fig. 3. Surface morphology of blasted samples ($\times 100$)

(a):blasting angle= 90° , old grit b:blasting angle= 10° , old grit
 c:blasting angle= 90° , new grit d:blasting angle= 10° , new grit)

한편, 새 grit과 오래된 grit의 모양을 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4에서 보는 바와같이 새grit은 각진 모양을 하고 있으나 오래된 grit 은 둥글게 되었으며 입자의 크기도 작아졌을 뿐만아니라 미분도 다양 증가함을 알 수 있었다.

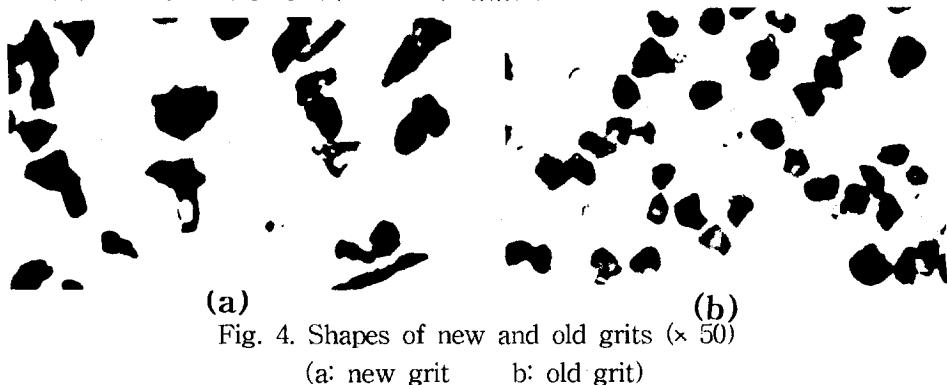


Fig. 4. Shapes of new and old grits ($\times 50$)

(a: new grit b: old grit)

위에서 기술한 바와같이 blasting angle을 변화시키면서 새 grit과 오래된 grit을 사용하여 blasting한 시편을 Al 용사후 밀착력 시험을 한 결과는 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5에서 보는 바와같이 90° 에서 grit blasting한 시편의 용사층의 모재에 대한 밀착력이 가장 강한 것을 알 수 있으며 오래 사용한 grit을 사용하여 blasting한 시편의 밀착력은 새 grit에 비하여 저하됨을 알 수 있었다. 이는 오래 사용한 grit으로 blasting 하였을 때는 시편의 표면의 요철 부위의 깊이가 감소되어서 용사층의 모재에 대한 결합력이 약화되었기 때문인 것으로 사료된다.

위에 기술한 grit blasting시 blasting pressure는 4.5kg/cm^2 을 사용하였는데 이보다 낮은 압력과 높은 압력을 사용하여 90° 에서 blasting하였을 때 용사후 용사층의 모재에 대한 밀착력을 Fig. 6에 나타내었다. blasting pressure가 2.5kg/cm^2 에서는 밀착력의 저하를 야기시키나 4.5kg/cm^2 이상에서는 밀착력에 크게 영향이 없음을 알 수 있었다. 낮은 blasting 압력에서는 깊이가 적은 요철 부위를 형성하나 일정 압력 이상에서는 시편이 가지고 있는 고유 경도 때문에 더 이상 요철부위의 깊이가 커지지 않기 때문이라 사료된다.

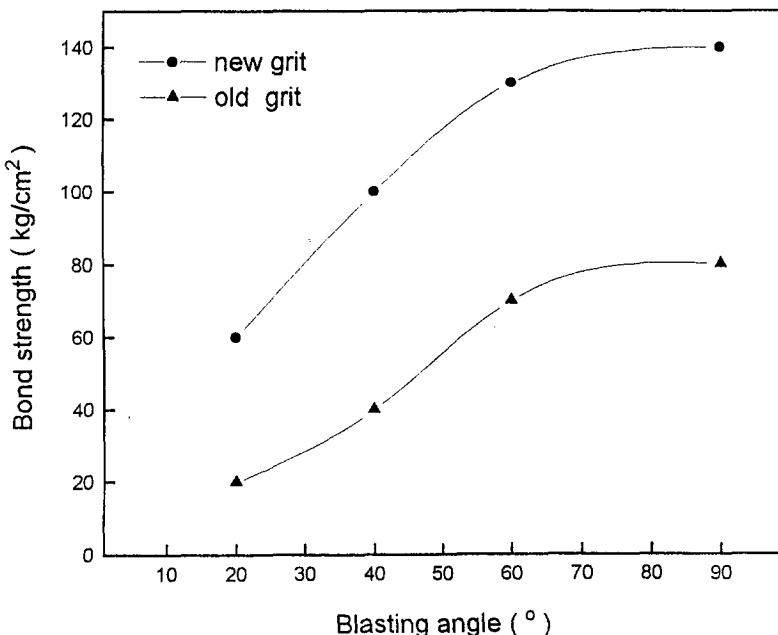


Fig. 5. Effect of grit condition on bond strength
(blasting pressure= $4.5\text{kg}/\text{cm}^2$)

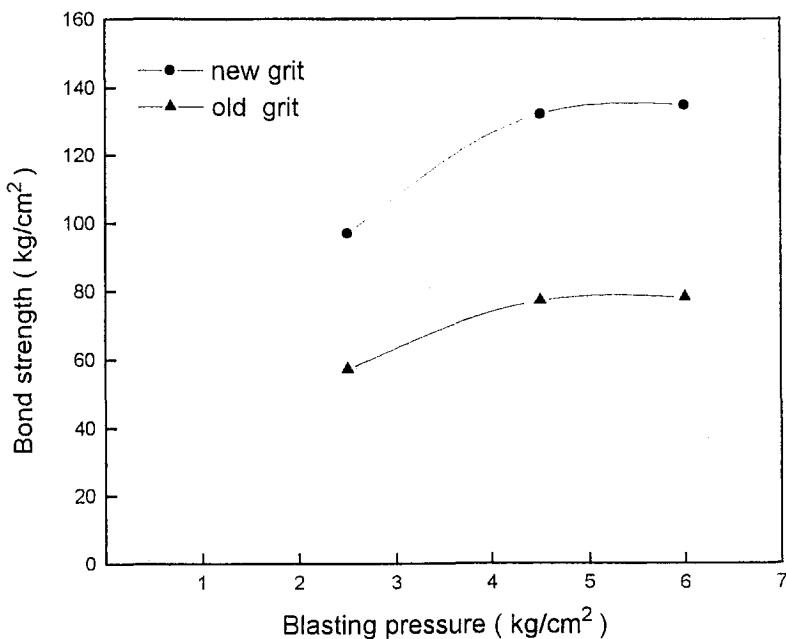


Fig. 6. Bond Strength vs. blasting pressure
(blasting angle=90°)

grit blasting시 nozzle과 시편의 거리가 밀착력에 미치는 영향을 조사하기 위하여 nozzle과 시편과의 거리를 10cm에서 20cm, 30cm로 변화시켜 blasting pressure $4.5\text{kg}/\text{cm}^2$ 에서 blasting한 후 용사층의 모재에 대한 밀착력을 측정한 결과를 Fig. 7에 나타내었다. nozzle과 시편과의 거리를 멀리하면 밀착력의 저하를 유발하겠지만 본 실험에서 변화시킨 거리내에서는 nozzle과 시편의 거리는 용사층의 모재에 대한 밀착력에 거의 영향을 미치지 않았다.

용사층의 두께 변화에 따른 용사층의 모재에 대한 밀착력의 변화를 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 8에서 보는 바와 같이 용사층의 두께가 $50\mu\text{m}$ 에서 $150\mu\text{m}$ 으로 변할 때 상당한 밀착력의 변화를 수반하였다. 그러나 $150\mu\text{m}$ 에서 $300\mu\text{m}$ 의 두께에서는 밀착력의 변화는 크지 않았다. 이 두께에서는 밀착력은 $108\text{kg}/\text{cm}^2$ 와 $98\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 범위내에 있었으며 평균값은 $102\text{kg}/\text{cm}^2$ 였다.

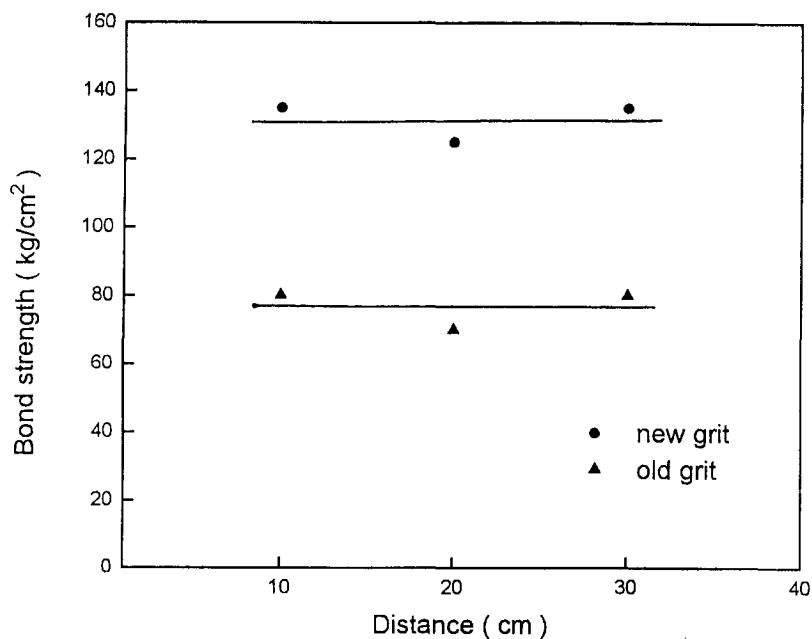


Fig. 7. Bond strength vs. nozzle to substrate distance

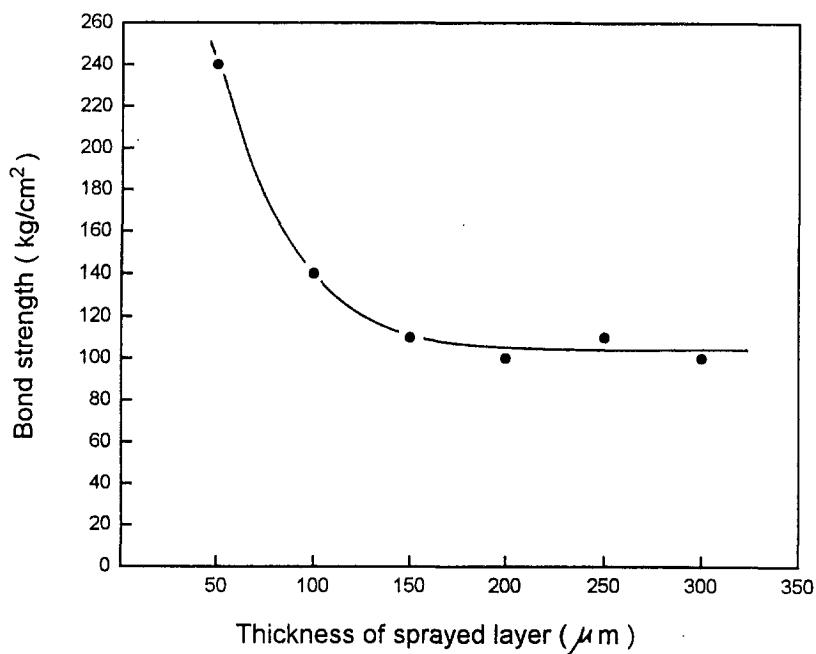


Fig. 8. Bond strength vs. thickness of sprayed layer

밀착력 시험한 시편의 단면의 사진을 Fig. 9에 나타내었다. 밀착력 시험시 파괴의 거동은 모재가 용사층의 계면에서의 파괴, 용사층내에서의 파괴, 용사층과 stud사이에서의 파괴의 세종류로 대별할 수 있다. 본 실험에서는 밀착력 시험 시 대부분의 경우 Fig. 9에서 보는 바와같이 용사층은 남아있지 않고 용사층과 모재의 계면에서 파괴가 일어났었다. 이는 Al분말은 용사에 의하여 결합력이 강하고 조밀한 Al용사층을 형성하므로 층 내부에서의 파괴 보다는 용사층과 모재의 계면에서의 파괴를 유발한다고 사료된다.

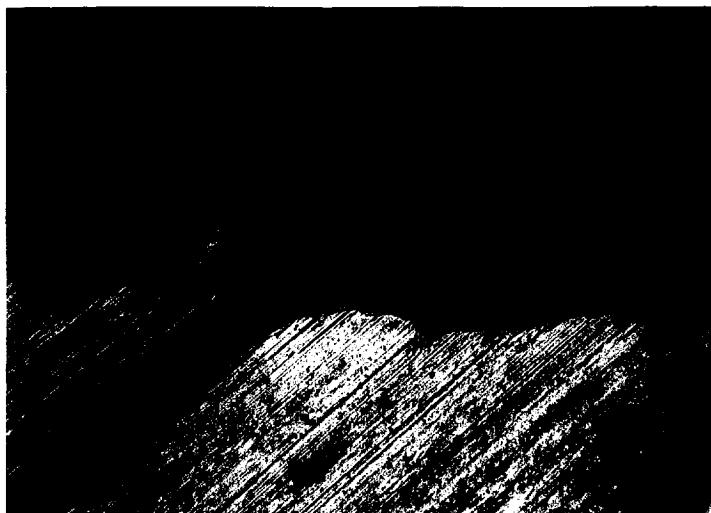


Fig. 9. Cross sectional view of sample after bond strength test ($\times 100$)

grit blasting 후 용사할 때까지의 시간이 밀착력에 미치는 영향을 조사하기 위하여 grit blasting한 후 실험실 내에 건조한 상태에서 보관한 시편과 옥외의 노천에 방치한 시편을 용사한 후 밀착력 시험을 한 결과를 Fig. 10에 나타내었다.

Fig. 10에서 보는 바와같이 실험실 내에서 건조한 상태로 보관한 시편은 시간의 변화에 따라 밀착력의 변화는 거의 없는 것으로 나타났다. 그러나 옥외에 방치한 시편은 습한 분위기에 노출되어 있어서 표면상태가 산화반응에 의하여 나빠짐으로 48hr 지난 후에는 용사층이 모재에 부착되지 않았었다. 따라서 건조한 상태에 보관하면 시간의 영향을 덜 받으나 습한 환경에서는 시간의 영향을 대단히 많이 받는다는 것을 알 수 있었다.

용사한 후 밀착력을 측정할 때까지의 시간을 변화시켜 밀착력에 대한 시간의 영향을 조사한 결과를 Fig. 11에 나타내었다. Fig. 11에서 보는 바와같이 시험한 시간내에서는 용사 후 밀착력을 측정할 때 까지의 시간 변화가 용사층의 밀착력에 크게 영향을 주지 않았었다.

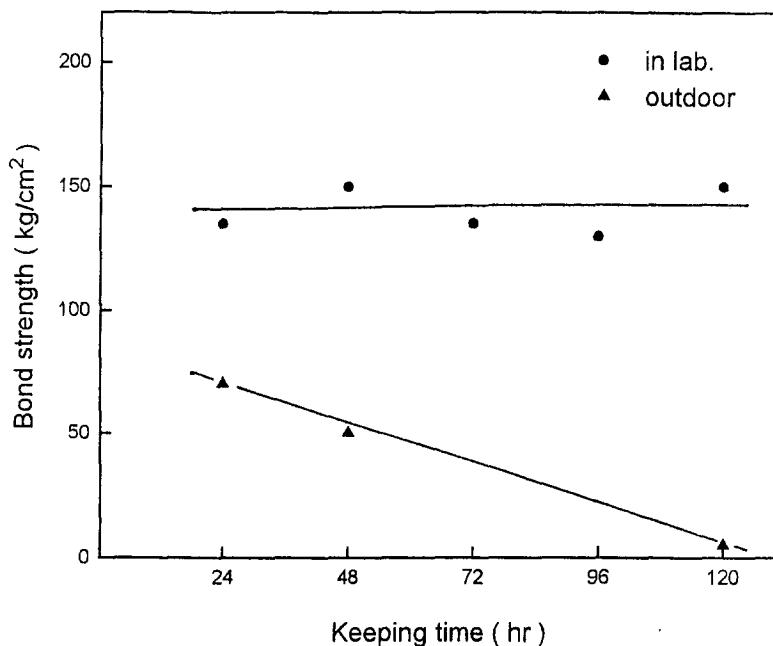


Fig. 10. Effect of keeping time after spraying

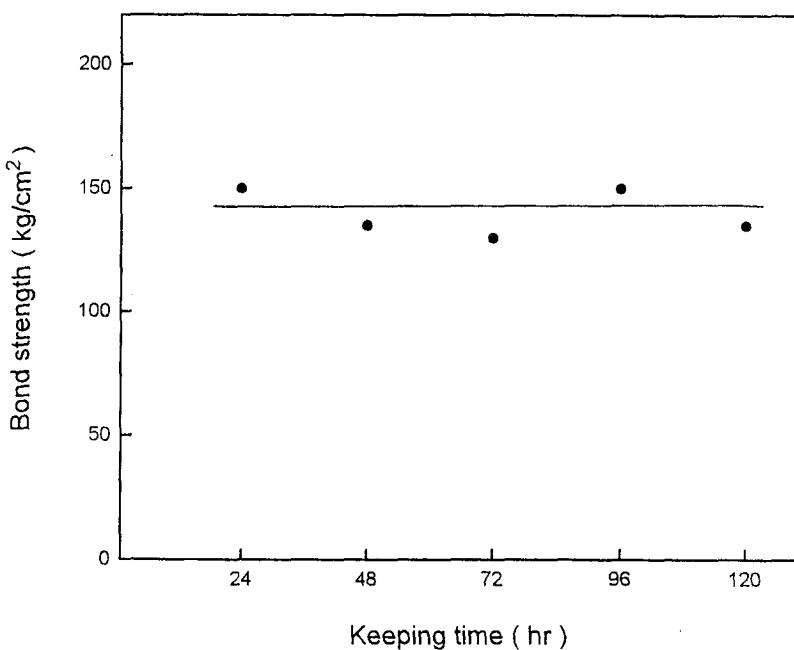


Fig. 11. Effect of delay time before bond strength test

4. 결 론

구조용 연장을 사용하여 grit blasting의 조건을 변화시키고 이에 따른 용사층의 밀착력을 조사한 바 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 알루미나 grit을 사용하여 blasting angle을 변화시키면서 blasting하였을 때 blasting angle이 90° 일 때 요철 부위의 평균깊이가 가장 깊었고 blasting angle을 변화시켜 blasting한 시편을 용사 후 용사층의 밀착력을 측정하였을 때 90° 에서 blasting한 시편의 용사층의 밀착력이 가장 강하였다.
2. blasting pressure 4.5kg/cm^2 이상에서는 blasting pressure가 용사층의 밀착력에 크게 영향을 주지 않았다. 본 실험에서 변화시킨 거리내에서는 blasting nozzle과 시편의 거리는 용사층의 모재에 대한 밀착력에 거의 영향을 주지 않았다. 용사층의 두께가 얇을 때 밀착력이 컷으며 용사층과 모재의 파괴는 주로 계면에서의 파괴이었다.
3. 용사층의 밀착력은 건조한 환경에서는 시간의 영향을 덜 받으나 습한 환경에서는 시간의 영향을 대단히 많이 받았다. 또한 용사한 후 밀착력을 측정할 때 까지의 시간의 변화는 본 실험에서 시험한 시간내에서는 큰 영향이 없었다.

참 고 문 헌

1. "Metallic and ceramic coatings", M. G. Hocking et al., Longman Scientific & Technical, 1989
2. Thermal spray coatings: research, design and applications, C. C. Berndt and T. F. Bernecki(Editors), Proceedings of the 5th National Thermal Spray Conference, ASM International, 1993
3. Thermal spray industrial applications, C. C. Berndt and S. Sampath(Editors), Proceedings of the 7th National Thermal Spray Conference, ASM International, 1994
4. M. Mellali et al., "Parameters controlling the sand blasting of substrates for plasma spraying", Thermal spray industrial applications(Edited by C. C. Berndt and S. Sampath), Proceedings of the 7th National Thermal Spray Conference, ASM International, 1994