

SM490B 용접부의 피로균열 성장 거동에 미치는 초고속 용사코팅 효과

윤명진·최성종*·조원익

경일대학교 기계자동차학부

The Effect of High Velocity Oxygen Fuel Thermal Spray Coating on Fatigue Crack Growth Behavior for Welded SM490B

Myungjin Yoon · Sungjong Choi* · Wonik Cho

School of Mechanical & Automotiv Engineering, Kyungil University, Gyeongsbuk 712-701, Korea

(Received 8 December 2005 / Accepted 23 January 2006)

Abstract : High velocity oxygen-fuel thermal spray coating of the WC-Co cermet material is a well-established process for modifying the surface properties of the structural components exposed to the corrosive and wear attacks, and also these coating are well-known method to improve the fatigue strength of material. In this study, HVOF coated SM490B are prepared to evaluation of the effect of coating on tension and fatigue crack growth behavior. The pre-crack of the fatigue crack growth test specimens machined at deposited material area, heat affected zone and boundary, respectively. Through these test, the following results are obtained: 1) Tensile strength was about 498 MPa, and fracture occurred on base metal area. 2) The fatigue crack of coated specimens propagated more rapidly than non-coated specimen in all specimens. 3) In the same coating thickness specimens, the specimens with pre-crack at boundary more rapidly propagated than the specimens with pre-crack at HAZ and deposited material area. These results can be used as basic data in a structural integrity evaluation of rolled SM490B weldments considering HVOF coating.

Key words : High velocity oxygen-fuel thermal spray coating(초고속 용사코팅), Fatigue crack propagation(피로균열진전), Fatigue strength(피로강도), Heat affected zone(열영향부), Deposited material(용착금속)

1. 서론

일반기계 및 구조물에서 가장 많은 중량을 차지하는 구조용 탄소강재는, 볼트(bolt) 및 리벳(rivet) 등과 같은 기계적 체결방법과 함께 금속융합을 이용하는 용접으로 많이 제작되고 있다.

특히, 용접을 이용한 구조물 제작은 기계적 체결 방법에 비하여, 공정이 단순하고 강도와 형상의 변화에 제약을 받지 않는 장점을 가지고 있어 다양한 재료 및 조건에 있어서의 용접방법이 개발되고 있으며, 전 산업분야에서의 응용이 증가되고 있다. 그

러나, 용접은 기본적으로 고온에서의 금속융합을 이용하기 때문에 냉각에 의한 금속의 상변태 과정에서 필연적으로 발생하는 슬래그(slag), 언더컷(undercut), 기공(blowholes), 미세균열 등 다수의 결함을 포함한다고 알려져 있다.¹⁾ 또한, 이러한 용접 공정의 속성 때문에 용접부의 금속조직이 복잡해지며, 모재와 용가재가 융합한 용착 금속부, 열에 의하여 모재의 조직변화로 형성되며 모재에 비하여 기계적 강도특성이 저하하는 용접 열영향부(heat affected zone: HAZ)가 형성 된다.²⁾ 용접부에 형성되는 이러한 각종 결함부 및 HAZ부는 용접 구조물의 설계에 있어서 결함을 고려한 파손 안전설계 측면

*Corresponding author, E-mail: dgjches@kiu.ac.kr

에서의 해석을 요구한다.

일반적으로, 기계 및 구조물의 파손 및 파괴사고는 대부분이 반복하중에 의한 피로손상에 기인한다는 점과 초기 피로손상은 금속 조직학적 미세결합에서 발생한다는 사실로부터 용접 구조물의 피로균열 발생 및 성장에 관한 검토의 중요성이 인식되어 많은 연구가 이루어져 왔다.

용접구조물 HAZ부는 모재에 비하여 기계적강도가 열등 할뿐만 아니라 용접 시 발생된 미세균열 및 결함의 대부분은 HAZ부를 따라 진전한다고 알려져 있으며,³⁻⁵⁾ 국내에서도 많은 연구가 진행되고 있는 실정이다.⁶⁻⁸⁾ 그러나 용접부의 피로현상은 용접 시 발생하는 미세균열 및 각종결합, HAZ부의 출현, 잔류응력 등의 인자가 복합적으로 영향을 미친다고 알려져 있으며, 이러한 인자의 감소 또는 제거를 위한 용접공정의 개발과 함께 여전히 많은 연구가 요구되어지고 있다.

한편, 산업용 금속재료에 내마모성, 내식성 및 내열성 부여와 피로수명을 연장하는 방법으로서 침탄 및 질화와 같은 표면경화 방법과 더불어 다양한 표면코팅(surface coating) 방법이 개발되어져 왔으며,⁹⁾ 최근에는 환경 친화성, 경제성, 안정성 및 효율성이 기존방법에 비하여 우수한 용사코팅이 주목받고 있다.¹⁰⁾

용사코팅은 분말 또는 선형의 코팅재료를 고온 열원을 이용하여 용융액적 상태로 모재표면에 고속으로 충돌시켜 비교적 두꺼운 피막을 형성하는 방법으로, 1980년대에 개발되어진 고속 용사코팅(high velocity oxygen fuel spraying coating: HVOF)¹¹⁾은 접합강도, 내마모성, 내피로성 및 열충격 저항성이 우수하여 자동차산업 분야, 항공우주 분야, 반도체 및 전자공학 분야로의 응용이 확대되고 있다. 용사코팅에 관한 다양한 연구들이 국내에서도 활발하게 수행되고 있으나 대부분은 용사방법, 내열성, 내식성 및 내마모성 등의 검토가 주를 이루고 있으며, 피로수명에의 영향평가에 관한 보고는 극히 드문 실정이다.¹²⁾

본 연구에서는 용접부의 기계적 강도 및 피로손상 개선방법으로서 HVOF 코팅효과를 검토하고자 하였다. V형 그루브(groove) 용접을 수행한 구조용

압연강재(SM490B)의 용접부 표면에 고속 용사코팅을 실시한 후, 기계적 강도 및 피로균열 성장거동을 검토하였다.

2. 재료 및 시험편

본 연구에서 사용된 재료는 일반구조용 압연 강재로써 KS D 3503의 규정에 의해 (주)포항제철에서 생산된 SM490B이며, 화학적 성분은 Table 1에 나타내는 것과 같다.

용접재는 두께 16mm의 평판을 사용하여 자동 용접기로 구속 상태에서 용접하였으며, 용접형태는 V형 그루브 용접을 하여 시험편이 재현성을 갖도록 하였다.

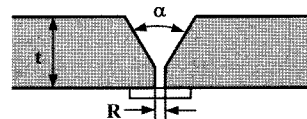
사용한 용접와이어는 저 탄소강용 지름 4 mm EH14이다. 본 연구에서 사용한 시험편은 모재의 압연 시의 과부하 방향으로 채취하여, Fig. 1과 같이 V형 그루브 용접을 한 후, 열영향부 및 용착부가 피로균열 진전경로에 평행하도록 채취하였다. 상기와 같은 방법에 의하여 용접한 재료에서 채취한 시험편은 Fig. 2와 같다.

인장 시험편은 Fig. 3에 나타내는 사진과 같이 KS B 0802 규격에 따라 표준 인장시험편으로 제작하고, 용접부위에 채색을 하였으며, 두께부에서는 그루브 용접으로 인한 용접 각을 볼 수 있었다.

용접부의 피로균열 진전특성에 미치는 고속 용사코팅의 영향을 평가하기위한 피로 시험편은, ASTM

Table 1 Chemical composition of SM490B(Wt.%)

C	Si	Mn	P	S
0.18	0.55	1.60	0.035	0.035



(α : $45^\circ+10^\circ-5^\circ$, T : $4.8 \leq t \leq 40$, R : 6 mm)

Fig. 1 Shape and dimensions of V groove for weld

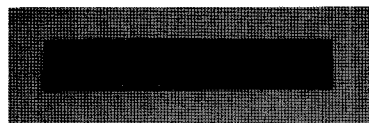


Fig. 2 Welding specimen

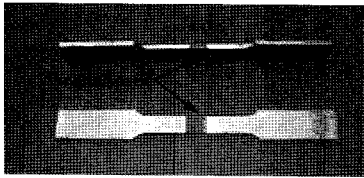
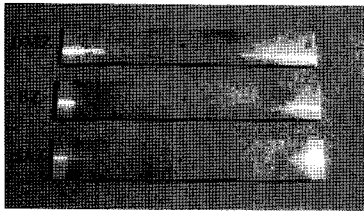
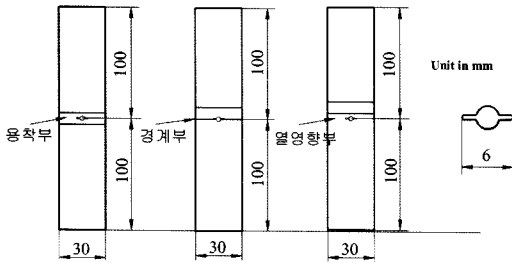


Fig. 3 Photograph of tension test specimen



(a) Photograph of HVOF coated specimen



(b) Shape and dimensions of specimen

Fig. 4 Specimen for fatigue crack growth test(CCT type)

647-95에 준거하여 CCT(Center Cracked Plate Tension) 시험편으로 제작 후 코팅하였다.¹⁰⁾

시험편의 형상 및 치수는 Fig. 4(a) 및 (b)와 같으며, 예비 노치(notch) 6mm는, 용접부에서 금속조직의 변화가 확연한 용착금속부(deposited metal area: DMA), 경계부 및 HAZ부 부분에 Fig. 2와같이 와이어 컷 가공으로 제작하였다. 고속 용사코팅 분말소재는 Nanodyne에서 제조된 WC-Co 서멧소재를 이용하였으며, 코팅은 등유 및 산소를 이용한 초고속 화염용사(JP-5000)를 이용하여 코팅두께 50 μm , 100 μm 및 150 μm 가 되도록 용사코팅 하였다.¹³⁾

3. 재료조직, 경도 및 인장특성

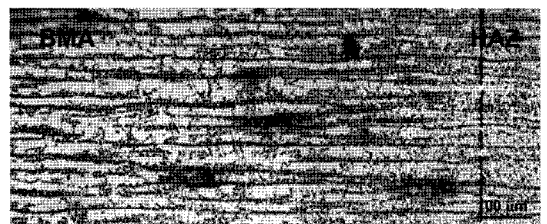
3.1 재료 조직

용접부의 재료조직을 평가하기 위하여 3% 나이탈(nitric-acid) 용액으로 약 10초간 부식시킨 후에 광학 현미경을 이용하여 시험편 길이방향(용접 패스

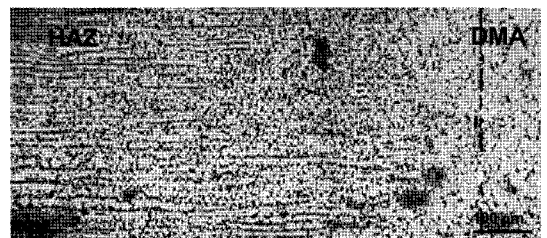
의 직각방향)으로 관찰하여 그 결과를 Fig. 5에 제시하였다. Fig. 5(a)에는 모재부(base metal area: BMA)와 HAZ부와의 경계영역을 나타내고 있으며, 모재부에서는 압연방향으로 재료조직이 강한 방향성을 나타내며 조대한 조직으로 이루어져 있었다. 그러나 HAZ부로 갈수록 방향성이 약해지고 조직은 상대적으로 미세하게 변하고 있었다. 그러나 경계영역은 뚜렷하게 구분되지 않았으며, 용접과정 및 용접 후의 냉각속도를 반영하며 연속적으로 변화하였다.

HAZ부와 용착금속부의 경계를 Fig. 5(b)에 보여주고 있으며, 약한 방향성을 유지하고 있으나 HAZ부에서 용착금속 영역으로 접근 할수록 조직이 조대하여지고 있었으며, 비교적 경계영역이 선명하였다.

이러한 특징적인 3종류의 조직을 보다 면밀하게 검토하기 위하여 확대하여 관찰한 것을 Fig. 6에 제시하였다. Fig. 6(a)에 나타내는 모재부 조직은 펄라이트(pearlite) 혹은 미세 베나이트(bainite)로 추측되는 부분과 조대 페라이트(ferrite)가 압연방향으로 강한 방향성을 지니고 있었다. 이러한 방향은 피로균열 성장 방향과는 직각을 이루게 된다. Fig. 6(b)에는 가장 대표적인 HAZ부의 조직사진을 제시하고 있으며, 방향성이 다소 남아있었으나 페라이트는 거의



(a) Boundary region of base metal and HAZ

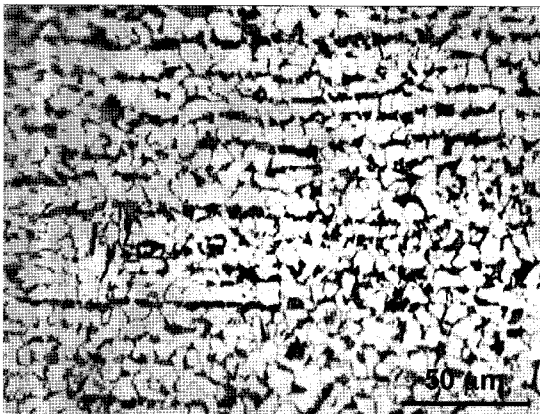


(b) Boundary region of HAZ and deposited metal area

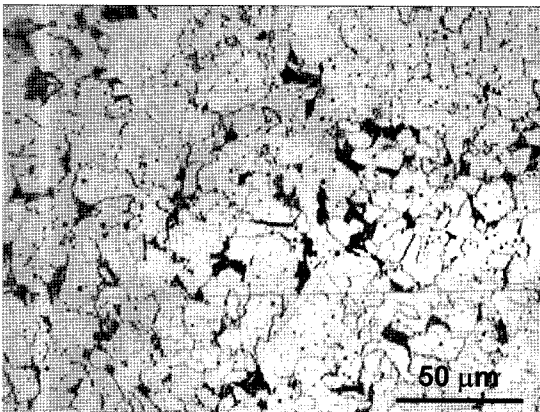
Fig. 5 Micrographs of SM490B weldments



(a) Base metal area



(b) HAZ



(c) Deposited metal area

Fig. 6 Magnification view of the BMA, HAZ and DMA

미세한 등축조직으로 변화하였으며, 펄라이트 혹은 미세 베나이트로 추측되는 부분은 모재부에 비교하여 연속성이 사라지고, 등축 펄라이트 사이에 균등

하게 위치하고 있었다.

용착 금속부는 Fig. 6(c)에 나타내는 것과 같이 펄라이트가 가장 조대하였으며, 장소에 따라서는 펄라이트 혹은 미세 베나이트로 추측되는 부분이 혼재하고 있었으나, HAZ부 및 모재부와 비교하여 현저히 적었으며, 펄라이트 내부 및 결정입계에 매우 미세한 형태로 고르게 분포하고 있었다. 이러한 미세한 부분은 용착부에 존재하는 템퍼링된 마르텐사이트(tempered-martensite) 조직으로 알려져 있으며, 강도와 인성을 고루 겸비한, 강인한 성질로 알려져 있다.¹⁴⁾

3.2 경도 및 인장특성

경도시험은 마이크로 비커스(Micro-Vickers) 경도계를 사용하여 용접부의 경도시험을 수행하였으며, Table 2에 각 영역에서 얻은 평균 경도치를 나타내었다. 그 결과, 용착부와 HAZ부의 경도가 비슷하고, 경계부와 모재와의 경도치가 비슷하였다. 또한 경계부에서 경도치가 다소 감소하고 있었다. 그러나 두께 100 μm로 코팅한 시험편에서 얻은 경도 값은 HAZ부 805, 용착부 725, 모재부 700 정도로 HAZ부가 상대적으로 높게 나타났다. 코팅 과정 중에 발생하는 열에 의한 표면경화 정도가 장소에 따라 다르기 때문으로 추측되어지나 명확한 원인은 밝히기 어려웠다.

용접부를 포함하는 시험편의 인장특성 평가를 위하여 사용한 시험기는 Instron사의 Series IX Automated Materials Testing System을 사용하였다.

Fig. 7은 인장 시험 후, 파단 된 시험편의 모습이다. 일반적으로는 HAZ부의 기계적 강도특성이 용착부나 모재에 비하여 저하하기 때문에 HAZ부에서 파단이 발생한다고 알려져 있다. 그러나 본 시험편에서는 3회의 인장시험 결과 모두 모재부에서 연신 후 파단이 발생하였다.

이러한 결과는 Fig. 6의 용접부 조직관찰 결과를 나타내는 것과 같이, 미세한 등축조직인 HAZ부 및 매우 미세한 탄화물이 펄라이트 내에 분포하는 용착부가 모재부에 비하여 상대적으로 정적인 하중에 변형하기 어렵고 강인하기 때문으로 추정된다.

Table 2 Micro-Vickers hardness of SM490B weldments

	Deposited metal	Boundary zone	HAZ	Base metal
Original specimen	207	184	206	182
Coated specimen (thickness 100 μ m)	725	-	805	700

Table 3 Tension test result of SM490B weldments

	Yield stress [MPa]	Tensile stress [MPa]	E [GPa]	Poisson's ratio
Test result	367	498	197	0.3

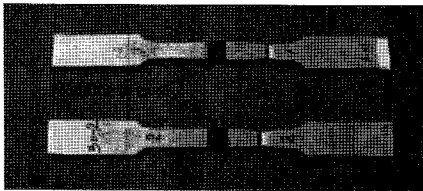


Fig. 7 Tensile fractured specimen

4. 피로균열 진전거동

구조용 압연강재 SM490B 용접부 피로균열 진전 거동에 있어서의 용사코팅 효과를 검토하기 위하여, 코팅하지 않은 용접소재(용착부와 HAZ부 경계, HAZ부), 코팅한 소재(코팅 두께 50 μ m, 100 μ m, 150 μ m)에 대하여 피로균열 진전시험을 수행하였다.

시험은 ASTM E 647-95에 준거하여 수행하였으며, Instron사의 30 ton 유압 servo식 피로 시험기를 사용하였다. 시험조건은 응력비($P_{min}/P_{max} = \sigma_{min}/\sigma_{max} = K_{min}/K_{max}$) $R=0.1$, 하중 반복속도는 15 Hz인 인장-인장 형태의 정현파형으로 시험하였다.

균열길이 측정은 이동식 현미경을 사용하였으며, 시험편 좌우 균열을 동시에 측정하여 그 평균값을 균열길이로 하였다.

응력확대계수 범위 ΔK 의 계산은 ASTM E647-88a에 의거하여 다음 식 (1)을 사용하여 구하였다.

$$\Delta K = \frac{\Delta P}{B} \sqrt{\frac{\pi a}{2W}} \cdot \sec \frac{\pi \alpha}{2} \quad (1)$$

$$\alpha = 2a/W < 0.95$$

여기서, W 는 시험편 폭이며, B 는 두께를 나타낸다. 시험결과 얻은 균열진전 속도 da/dN 과 응력확대계수 범위 ΔK 와의 관계를 Fig. 8 및 Fig. 9에 제시하였다.

용착 금속부에서의 피로균열 진전거동을 나타내는 Fig. 8(a)는 모든 코팅두께의 시험편에서 유사한 결과를 보여주고 있다. 또한, 용착 금속부와 HAZ부 경계에서의 균열진전 특성 Fig. 8(b) 및 HAZ부에서의 균열진전 특성 Fig. 8(c)의 결과는 코팅하지 않은 시험편의 균열진전 속도가 가장 느렸다. 즉, 피로균열 진전 특성이 가장 우수하였다. 코팅 층의 두께에

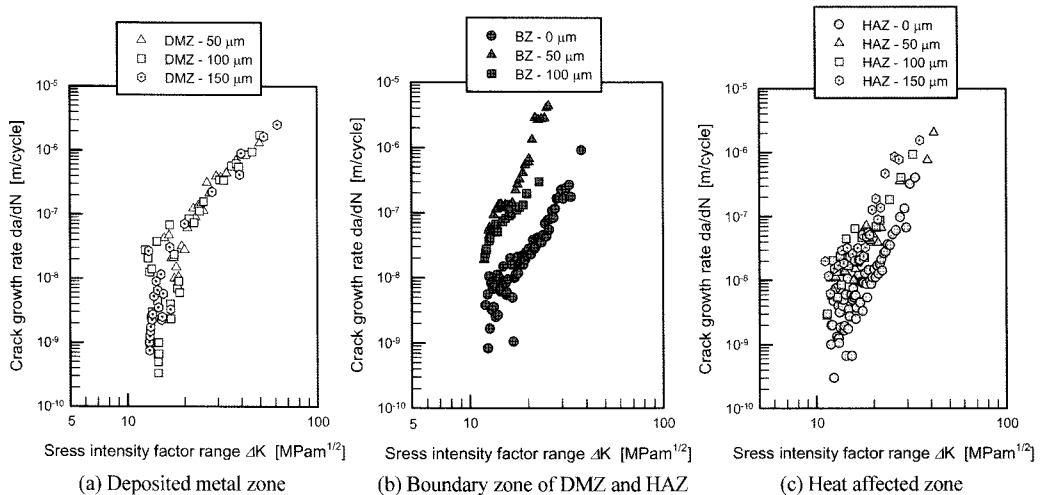


Fig. 8 Relationship between stress intensity factor ΔK and crack growth rate da/dN

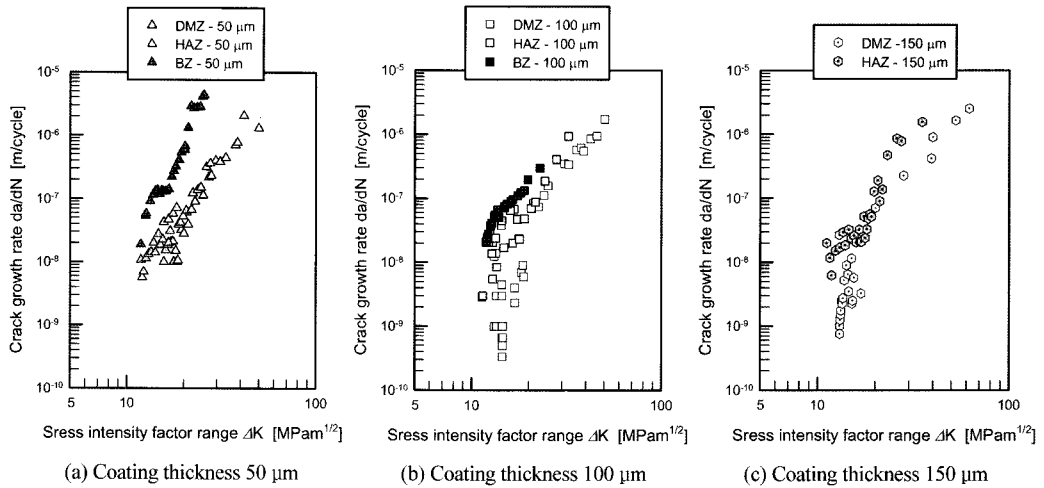


Fig. 9 Relationship between stress intensity factor ΔK and crack growth rate da/dN

다른 균열진전 속도의 차이도 미미하였으며, 경계부에 따라서는 Fig. 8(b)에 나타나는 것과 같이 두께가 얇은 것이 빠르게 진행되는 경우도 있었다.

일반적으로 표면의 경질코팅은 피로수명을 연장시켜주는 역할을 한다고 알려져 있다. 그것은 피로손상 과정에 있어서 초기균열 발생까지의 수명을 표면 코팅 층이 연장시킨다고 이해 할 수 있다. 그러나 본 연구결과를 보면, 일단 균열이 발생한 후에는 Fig. 10에서 보여주는 것과 같이 경도가 크고 기공을 다량 함유하는 코팅 층의 취성과파괴가 인성이 강한 내부의 원소재보다 선행하여 성장하며, 이것이 내부 소재의 균열진전을 조장시키는 결과로 이해되어진다.

코팅 두께별로 표시한 Fig. 9의 결과는 모든 두께의 코팅에 있어서 경계부의 균열이 가장 빠르고, 용착금속부에서 가장 느리게 진전하였다. 즉 피로균열 진전특성은 용착 금속부가 가장 우수하였으며, HAZ부와 경계부는 미소하지만 상대적으로 HAZ부가 우수하였다. 이러한 결과는, 용접 경계부가 슬래그(slag), 기공(blowholes), 미세균열 등의 각종 용접 결함을 함유하기 쉽고 재료조직변화가 경계부에서 크게 발생하기 때문이라고 추정된다.²⁾

즉, 치밀한 조직을 보여주는 HAZ부나 강인한 조직을 가지는 용착부에 비하여 각종 결함을 함유하고 있으며, 용접시의 열영향으로 조직체계가 불안정한 경계부에서 균열이 상대적으로 빠르게 진행한

결과라고 판단되어진다.

피로균열 진전시험 후, SEM(scanning electron microscope)으로 파면관찰을 수행한 결과를 Fig. 11~Fig. 14에 나타내었다.

Fig. 11~ Fig. 13은 각 시험편의 피로균열 성장영역을 관찰한 결과로서 모든 파면에서 Fig. 11(b)와 같은 스트라이에이션(striations)이 관찰되었다.

또한 Fig. 12(b) 및 Fig. 13(b)와 같은 용접기공이

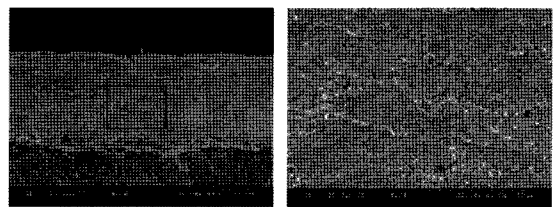


Fig. 10 Fractographs of coating area for HAZ specimen

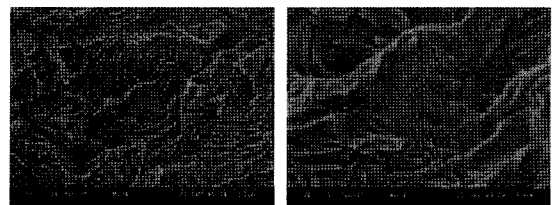
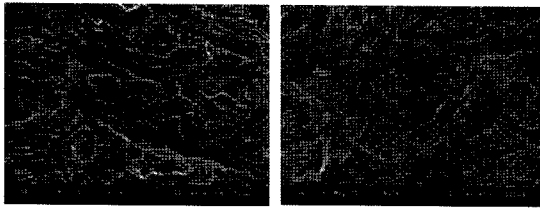
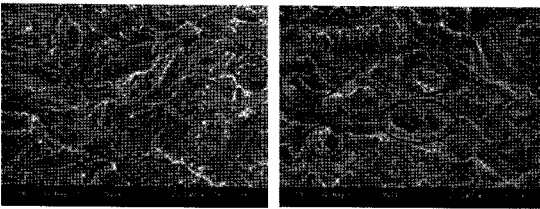


Fig. 11 Fractographs of fatigue area for HAZ specimen (Coating thickness 100 μ m)



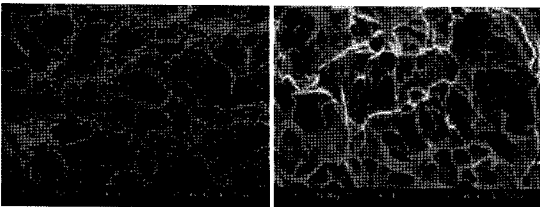
(a) Fatigue region (b) Blowholes

Fig. 12 Fractographs of fatigue area for BZ specimen (Coating thickness 50 μ m)

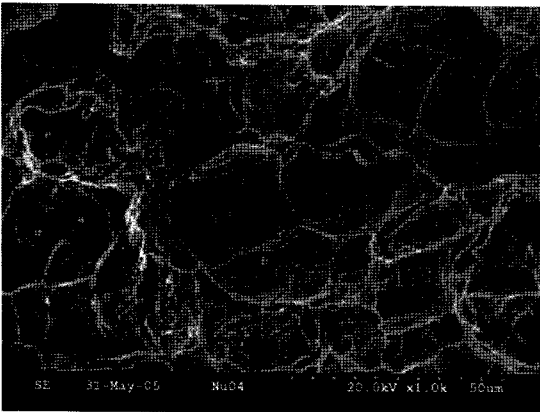


(a) Fatigue region (b) Blowholes

Fig. 13 Fractographs of fatigue area for DMZ specimen (Coating thickness 50 μ m)



(a) Dimples of HAZ (b) Dimples of BZ



(c) Dimples of DMZ

Fig. 14 Fractographs of final fracture area for SM490B weldments

(blowholes) 용착 금속부 및 경계부 시험편에서 관찰되었으나 상대적으로 용착 금속부 시험편에서 많이

관찰되었다.

Fig. 14에는 코팅하지 않은 시험편의 최종 파단부에서 관찰된 딴플(dimples)을 나타내었으며, Fig. 14(c)의 용착 금속부 딴플 내에는 개재물 또는 미세 마르텐사이트로 추정되는 구형 탄화물 입자가 다수 존재하고 있었으며, 경계부 및 HAZ부의 딴플에 비하여 많은 수가 고르게 분포하는 경향을 보였다.

이것은 Fig. 5 및 Fig. 6에서도 설명한 것과 같이 용착금속부에서는 탄화물이 미세한 마르텐사이트 또는 미세 베나이트 등의 형태로 페라이트 내에 고르게 분포하기 때문으로 사료된다.

5. 결론

구조용 압연강 SM490B 용접부의 피로균열 진전 거동에 미치는 고속용사 코팅(WC-Co 서멧)의 영향을 평가하고자 하였다. 이를 위하여 용착금속부, HAZ부, 경계부(HAZ부와 용착 금속부)에 각각 예 균열을 도입한 3종류의 시험편에 대하여 코팅 두께 50 mm, 100 mm, 150 mm 되도록 용사 코팅하여 피로 균열 진전시험을 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 용접부 정도는, 용착 금속부와 HAZ부가 비슷하였으며, 경계부, 모재부 순이었다.
- 2) 용접부의 인장시험 결과, 모재부에서 연신 후, 파단이 발생하였으며, 인장강도는 약 498 MPa 정도였다. 용접부의 강도는 양호하며, 적합한 용접으로 판단된다.
- 3) 피로균열 진전시험에서는 코팅한 시험편이 코팅하지 않은 것에 비하여 빠르게 진전하였다. 코팅한 시험편에 있어서는 경계부 시험편에서 균열이 가장 빠르게 진전하였으며, HAZ부, 용착 금속부 순이었다.

이러한 결과는 용착 금속부의 조직이 미세 탄화물 혹은 미세 마르텐사이트가 균일하게 분포하여 재질이 매우 강인한 반면, 경계부는 조직이 불안정하고 각종 결함을 함유하기 때문으로 판단된다.

- 4) 표면관찰 결과 용착 금속부와 경계부에서 용접 기공이 관찰되었으며, 용착 금속부의 최종 파단부에 형성되어 있는 딴플 내면에 매우 미세한 단

화물 입자가 다수 관찰되었다. 이것은 용착 금속 부의 강인성을 시사한다고 사료된다.

References

- 1) Sindo Kou, *Welding Metallurgy*, p.170, John Wiley & Sons, Inc., New York, 2002.
- 2) Japan Welding Society, *Fractographic Atlas Steel Weldments*, Kuroki, Osaka, p.70, 1982.
- 3) R. I. Stephens, A. Fatemi, R. R. Stephens and H. O. Fuchs, *Metal Fatigue in Engineering*, John Wiley & Sons, New York, p.401, 2000.
- 4) L. A. James and W. J. Mills, "Effect of Heat - Treatment upon the Fatigue Crack Growth Behavior of Alloy 718 Weldments, Part 1: Macroscopic Behavior," *J. of Eng. Mat. and Tech.*, Trans. of ASME, Vol.107, p.34, 1985.
- 5) W. J. Mills and L. A. James, "Effect of Heat - Treatment upon the Fatigue Crack Growth Behavior of Alloy 718 Weldments, Part 2: Microscopic Behavior," *J. of Eng. Mat. and Tech.*, Trans. of ASME, Vol.107, p.41, 1985.
- 6) C. H. Kim, S. Y. Cho and D. H. Bae, "Evaluation of Fatigue Crack Charistics Considering Crack Closure Phenomenon in Weldment of Multi-Pass Welded Pipe," *Trans. of the Korean Soc. of Mech. Engineers A*, Vol.25, No.5, p. 797, 2001.
- 7) S. H. Han, J. W. Han, B. C. Shin and J. H. Kim, "Fatigue Life Estimation of Welded Components Considering Welding Residual Stress Relaxation and its Mean Stress Effect," *Trans. of the Korean Soc. of Mech. Engineers A*, Vol. 27, No.1, p.175, 2003.
- 8) M. S. Han, "A Study on Fatigue Fracture Behavior of Surface Crack in Finite Plates and Fillet Weldment," *Trans. of the Korean Soc. of Automotive Engineers*, Vol.12, No.4, p.65, 2004.
- 9) M. Araki, *COATING*, CTI-Kakoukenkyukai, Tokyo, 2002.
- 10) L. Pawlowski, *The Science and Engineering of Thermal Spray Coating*, John Wiley & Sons, New York, 1995.
- 11) S. Y. Hwang, B. G. Seong and M. C. Kim, "R&D Trends of Thermal Sprayed Coatings," *J. of Korean Powder Metallurgy Institute*, Vol.3, No.2, p.79, 1996.
- 12) J. S. Oh, J. Komotori and C. K. Rhee, "Effect of Post-heat Treatment on Fatigue Strength of Thermally Sprayed Stellite Alloy on Steel," *J. of Korean Powder Metallurgy Institute*, Vol.12, No.2, p.106, 2005.
- 13) Y. D. Jeong, W. I. Cho, M. J. Yoon and B. M. Kim, "The Processing Parameters of HVOF and Optimal Characteristics Coating Condition," *The J. of KASBIR*, Vol.4, No.4, p.47, 2003.
- 14) R. Koterazawa, *Fractography and Application*, p.266, Nikankogyosinbunsha, Tokyo, 1981.