

전기강판의 GTA 용접특성

GTAW Characteristics of Electrical Steel

김 영 섭, 강 문 진, 유 영 중*

산업과학기술연구소 집합가공연구팀, 경북 포항시

*산업과학기술연구소 표면처리연구팀, 경북 포항시

1. 서론

Motor 또는 Transformer 등 전력변환기용 core에 사용되고 있는 무방향성 전기강판의 특성중에서 와전류 손실을 감소시키고 중간 절연성을 부여하기 위하여 코팅을 하고 있다. 특히 가전기기의 core로 사용하는 무방향성 전기강판에 있어서는 열처리전후에 충분한 중간 저항성을 가져야 한다. 이와같이 절연 코팅은 종류와 두께에 따라서 중간 저항성이나 내식성, 내열성, 가공성 및 용접성이 중요한 문제로 대두되고 있다. 이러한 특성들을 만족시키기 위하여 종래에는 무기 코팅제(AISI C-4)를 사용하였으나 내열성, 용접성이 우수한 반면 가공성이 나쁜 결점이 있었다. 따라서 가공성 향상을 목적으로 유기 코팅제(AISI C-3)를 사용하였으나 이 코팅은 용접성과 내열성을 저하시키는 문제를 낳았다. 이와같이 상반된 특성 때문에 근래에는 가공성과 용접성을 동시에 만족시키기 위하여 무기와 유기 코팅제의 장점을 갖는 유무기 혼합 코팅제가 개발되고 있다. 이러한 코팅제는 용접조건의 변화에 따라 매우 다른 용접품질을 나타내고 있는데, 특히 용접시 코팅제중에 있는 유기물질의 열분해에 따라 용접부에 blow hole을 형성시키므로 core의 와전류 손실이나 중간 절연성을 저하시키는 결과를 초래할 수 있다고 한다. 이와같은 용접성에 미치는 요인은 코팅제에 의한 것, 가공에 의한 것, 그리고 용접변수에 의한 것등으로 분류할 수가 있다. 이들에 대한 영향이 일부 연구되어 있으나 체계적으로 용접성에 미치는 영향에 대하여는 아직 미흡한 실정으로 본 연구에서는 전기강판의 용입특성을 관찰하여 코팅제에 따른 용접성을 비교하였다.

2. 실험방법

본 연구에서는 무방향성 전기강판의 GTA 용접성에 영향을 미치는 제반 조건(절연 코팅제, 용접변수)에 대한 고찰을 위하여 Table 1과 같은 소재를 사용하였다. 소재는 punch 가공중 발생한 응력을 제거하기 위한 열처리(SRA: Stress Relief Annealing)를 실시하였으며 열처리 전후의 화학성분 변화를 원소재의 화학성분과 함께 보여주고 있다. S18 grade가 S30 grade보다 자기적인 특성이 우수하여 Si의 함량이 높은 것을 볼 수가 있으며 50PNS grade가 Si함량이 가장 낮으므로 나쁜 자기특성을 나타낸다. 유무기혼합코팅 소재에 있어서 원소재에 비해서 SRA전의 C의 함량증가는 코팅제중의 유기물에 의한 것으로 SRA후에는 다시 원소재의 수준으로 낮아지는 것을 알 수가 있다. SRA는 응력제거 뿐 아니라 자기적 특성도 일부 향상시키므로 필요에 따라서 실시하기도 한다. GTA용접은 E 형태의 core(105mm×70mm×0.5mm)를 40mm 두께로 적층하여 측면을 수평으로 실시하였으며 전극은 직경 2.4mm의 EThW-2를 사용하였다. 한편 용접변수는 Table 2와 같이 변화시켰다. 용접성은 용접 bead 폭(w)과 용입깊이(d)를 측정하여 그 비(d/w)를 상호 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

용접부의 단면 profile은 대부분 shallow한 형상으로 SRA전에는 코팅소재간에 큰 차이점은 발견할 수가 없었으나 용입비(d/w)를 비교하였을 때 C6A(50PNS)가 다른 코팅소재에 비교하여 상대적으로 높은 것을 발견할 수가 있었다. 일반적인 용접부의 단면 형상은 negative한 Marangoni력에 의한 용입형태와 Lorentz력에 의한 용입형태가 혼합된 것으로 설명할 수 있으며 SRA를 실시한 후에는 C4(S30)과 C6A(50PNS) 소재를 제외하고는 특별한 차이를 보여주지 않았다. Figure 1은 100amp, 10mm/sec로 용접한 C6A(50PNS) 소재에 대한 SRA전후의 용입형태를 보여주고 있다. SRA전(Figure 1(a))에는 shallow한 용입이었으나 SRA를 실시한 후(Figure 1(b))에는 깊은 용입을 보여주고 있다.

용접변수의 변화에 따라서 용접성을 나타내는 용입비(d/w)가 크게 변화하지는 않았지만 코팅의 종류와 grade에 따라 상대적인 차이가 나는 것으로 관찰되었다. Figure 2는 100amp, 10mm/sec로 용접하였을 때 각 코팅소재에 대한 용입비를 SRA전후에 비교한 것이다. 이 그림에 따르면 C6A(S30)의 코팅소재가 용접성이 상대적으로 가장 나쁘게 나타났으며, 전체적으로는 유무기혼합코팅 소재인 C6A(50PNS)가 좋은 용접성을 보여주었다. 무기코팅(C4)에 있어서는 S18 grade보다는 S30 grade가 좋게 나타났다. C6A(50PNS)를 제외하고는 전반적으로 무기코팅 소재의 용입비가 유무기혼합코팅의 소재에 비하여 약간 상회하는 것을 볼 수가 있다. 한편 SRA후에는 용접성이 조금씩 좋아지는 경향을 보여주고 있으나 큰 차이는 없지만 C6A(50PNS)의 경우에는 2배이상 증가한 것을 알 수가 있다. 이 코팅소재는 완전한 공정을 거치지 않고 제조된 것으로 표면의 경도가 높으며 사용시 열처리를 하도록 되어 있는 소재이다. 따라서 SRA후에는 조대한 결정립을 가지고 있다. 한편 Si의 함량이 다른 코팅 소재에 비교하여 많이 낮으므로 자기적인 특성이 상대적으로 나쁜 소재이다. 그러나 이러한 수준의 Si함량은 arc특성을 좋게하여 GTA 용접성이 좋은 것으로 알려져 있다.

유무기혼합코팅 소재에 있어서는 용접시 발생하는 코팅제중 유기물질의 연소에 의한 gas가 용접성에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 따라서 이것을 억제하려고 하는 많은 노력이 있었다. 이와같은 용접성은 코팅표면의 조도가 매우 중요하게 작용하는 것으로 보고되고 있다. 즉 표면조도가 높으면 적층시 층간 void가 형성되어 용접시 발생하는 연소 gas가 이 void에 포집되므로 용접부에 blow hole 형성을 억제한다고 한다. 따라서 본 연구에서도 각종 코팅소재의 표면조도를 측정 그 결과를 비교하였다(Figure 3). 그림에서 볼 수 있듯이 C6A(50PNS)가 가장 높은 조도를 나타내었으며 C6A(S30)이 가장 낮은 조도를 보여 SRA전에는 Figure 2의 용접성과 어느정도 상관성을 보여주고 있다고 할 수가 있다. 그러나 SRA후에는 표면조도 변화가 SRA전과 마찬가지로 C6A(50PNS)의 용접성 상승을 표면조도만으로는 설명할 수가 없다.

4. 결론

본 연구를 통하여 전기강판의 코팅제에 따른 용접성을 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다. 전반적으로 무기코팅 소재의 용접성이 유무기혼합코팅에 비교하여 상대적으로 우수하였으며 유무기혼합코팅 소재에 있어서는 C6A(50PNS)가 좋은 용접성을 보였다. 한편 이 코팅 소재에 있어서 SRA후에는 더욱 높아진 용접성을 관찰할 수가 있었다.

Table 1. Chemical compositions of materials used in this study

Coating	Grade	C	S	P	Si	Mn	Cu	Ni	Cr	Al	비고	
무기	C4	S18	0.0015	0.0033	0.016	2.09	0.13	0.007	0.013	0.015	0.33	소재
			0.0015	0.0035	0.039	2.15	0.12	0.007	0.013	0.022	0.34	SRA전
			0.0056	0.0033	0.028	2.12	0.13	0.007	0.013	0.022	0.34	SRA후
	S30	0.0021	0.011	0.026	1.03	0.22	0.014	0.02	0.026	0.27	소재	
		0.0019	0.011	0.055	1.07	0.22	0.014	0.019	0.039	0.28	SRA전	
		0.0086	0.011	0.048	1.04	0.23	0.014	0.018	0.038	0.27	SRA후	
유무기혼합	C6A	S18	0.0021	0.003	0.013	2.27	0.12	0.007	0.017	0.016	0.34	소재
			0.012	0.003	0.012	2.27	0.12	0.007	0.013	0.027	0.35	SRA전
			0.0051	0.003	0.01	2.25	0.12	0.007	0.012	0.025	0.35	SRA후
		S30	0.0036	0.0044	0.032	1.01	0.24	0.013	0.013	0.017	0.23	소재
			0.013	0.0042	0.027	1.05	0.24	0.012	0.012	0.027	0.24	SRA전
			0.0082	0.0046	0.02	1.03	0.23	0.012	0.013	0.024	0.23	SRA후
	50PNS	0.003	0.0067	0.056	0.42	0.27	0.012	0.013	0.021	Tr	소재	
		0.008	0.0065	0.052	0.4	0.27	0.012	0.012	0.024	Tr	SRA전	
		0.0087	0.0064	0.025	0.41	0.26	0.012	0.012	0.023	Tr	SRA후	
	C6B	S18	0.0021	0.0035	0.012	2.18	0.13	0.01	0.016	0.02	0.35	소재
			0.015	0.0035	0.011	2.18	0.13	0.01	0.016	0.032	0.36	SRA전
			0.0062	0.0035	0.008	2.15	0.12	0.01	0.017	0.031	0.35	SRA후

Table 2. Welding parameters used for GTAW

Parameter	Range
Welding current	60 - 150amp
Welding speed	5 - 13mm/sec
Arc length	0.3 - 1.5mm
Vertex angle	15° - 60°
Pressure	600kgf
Ar flow rate	10l/min

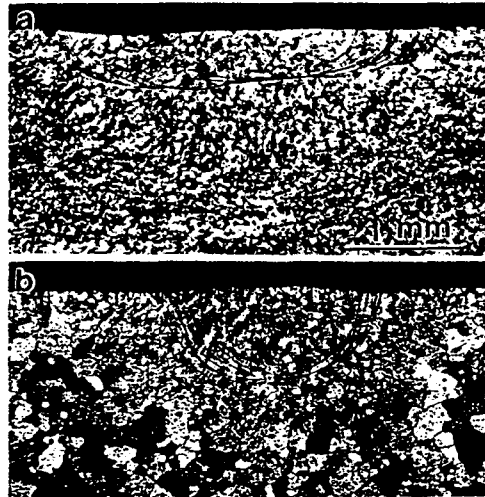


Figure 1. Weld profile of C6A(50PNS) (a)before SRA and (b)after SRA.

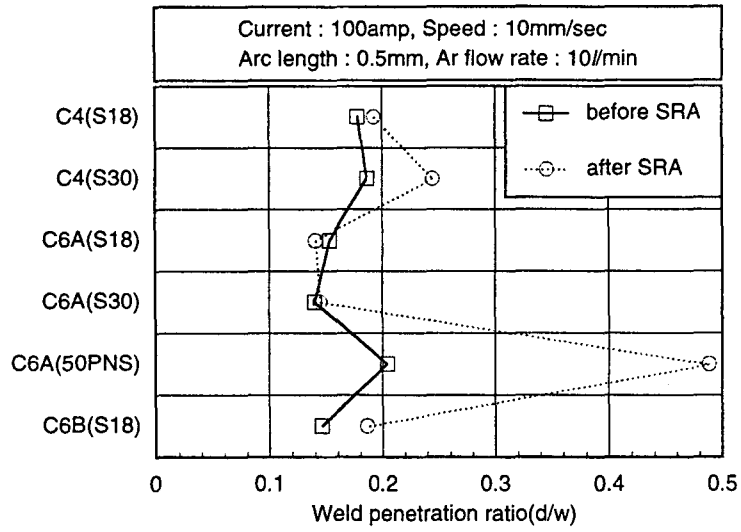


Figure 2. Weld penetration ratio for each coating material before and after SRA.

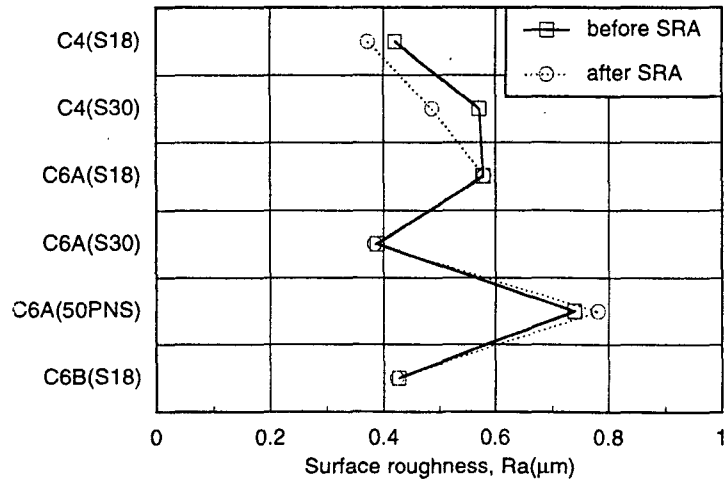


Figure 3. Surface roughness for each coating material before and after SRA.