

무방향성 전기강판의 적층용접성에 미치는 용접조건에의 영향

Effect of welding parameters on the weld penetration of electrical steel

김 영 섭, 강 문 진, 유 영 중*

산업과학기술연구소 접합가공연구팀, 경북 포항시

*산업과학기술연구소 표면처리연구팀, 경북 포항시

1. 서론

일반탄소강에 Si를 첨가하면 투자율(permeability)이 향상되고 비저항이 높아지므로 와전류 손실이 감소하는 등의 자기적인 특성이 좋아진다. 이와같은 소재는 전기 또는 자기용 core소재로 많이 이용되고 있으므로 전기강판이라고 하며, 전자강판 또는 규소강판으로도 부르고 있다. 전기강판은 자기적 성질과 쓰이는 용도에 따라서 방향성 전기강판과 무방향성 전기강판으로 구분된다. 방향성 전기강판은 압연방향으로 자기적 성질이 매우 뛰어나도록 제조되므로 일정한 방향으로 자화되는 변압기와 같은 정지기기(static machine)에 주로 사용되고 있다. 무방향성 전기강판은 압연방향에 관계없이 평균자성이 우수하도록 제조되는 강판이므로 motor와 같이 자화방향이 일정하지 않는 회전기기(rotating machine)에 주로 사용된다. 무방향성 전기강판은 주로 Si의 함량에 의해 분류된다. Si이 많을수록 철손이 감소하여 고급 grade로 분류한다.

일반적으로 transformer core는 무방향성 전기강판을 적층하여 사용하므로 특성중에서 와전류 손실을 감소시키고 층간 절연성을 부여하기 위하여 무기 또는 유무기혼합코팅을 하고 있다. 유무기혼합코팅의 전기강판을 적층용접할 경우에는 코팅제중에 있는 유기물질의 열분해로 용접부에 blow hole을 형성하여 와전류 손실이나 층간 절연성을 저하시킬 수 있다고 한다. 이와같은 용접성에 미치는 요인은 코팅제에 의한 것, 가공에 의한 것, 그리고 용접변수에 의한 것으로 분류할 수가 있다. 본 연구에서는 무방향성 전기강판의 용입특성을 Si의 함량과 용접변수에 따라 관찰하여 용접성을 비교하였다.

2. 실험방법

본 연구에서는 무방향성 전기강판의 GTA 용접성에 영향을 미치는 용접변수에 대한 고찰을 위하여 유무기혼합코팅된 소재를 사용하였으며 Si의 함량이 0.42%에서 2.27%로 각기 다른 grade를 사용하였다. 그 소재들의 화학조성은 Table 1과 같다. 각 소재는 punch 가공중 발생한 응력을 제거하기 위한 열처리(SRA: Stress Relief Annealing)를 실시하였으며 열처리 전후의 화학성분 변화를 원소재의 화학성분과 함께 보여주고 있다. SRA는 응력제거 뿐만 아니라 자기적 특성도 일부 향상시키므로 필요에 따라서 실시하기도 한다. Si의 함량에 따라 전기강판의 등급이 결정되는데 S18 grade가 S30 grade보다 자기적인 특성이 우수하므로 Si의 함량이 높으며 50PNS grade는 Si함량이 가장 낮으므로 자기적인 특성이 그만큼 떨어진다.

적층용접은 GTAW로 E type의 core를 약 80매(40mm 두께) 적층하여 측면을 수평으로 실시하였다. 전극은 직경 2.4mm의 EThW-2를 사용하였다. 한편 본 연구를 위한 용접변수는 Table 2와 같이 변화시켰다. 용입특성은 bead 폭(w)과 용입깊이(d)를 측정하여 그 비(d/w)로 상호 비교하였다.

Table 1. Chemical compositions of materials used in this study

Grade	C	S	P	Si	Mn	Cu	Ni	Cr	Al	Remark
S18	0.0021	0.003	0.013	2.27	0.12	0.007	0.017	0.016	0.34	without coating
	0.012	0.003	0.012	2.27	0.12	0.007	0.013	0.027	0.35	before SRA
	0.0051	0.003	0.01	2.25	0.12	0.007	0.012	0.025	0.35	after SRA
S30	0.0036	0.0044	0.032	1.01	0.24	0.013	0.013	0.017	0.23	without coating
	0.013	0.0042	0.027	1.05	0.24	0.012	0.012	0.027	0.24	before SRA
	0.0082	0.0046	0.02	1.03	0.23	0.012	0.013	0.024	0.23	after SRA
50PNS	0.003	0.0067	0.056	0.42	0.27	0.012	0.013	0.021	Tr	without coating
	0.008	0.0065	0.052	0.4	0.27	0.012	0.012	0.024	Tr	before SRA
	0.0087	0.0064	0.025	0.41	0.26	0.012	0.012	0.023	Tr	after SRA

Table 2. Welding parameters used for GTAW in this study

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

3. 결과 및 고찰

용접부의 외관은 grade 즉, Si의 함량에 따라 차이를 보여주었는데 Si의 함량이 낮을수록 외관이 매우 양호하였다. Si의 함량이 높으면 표면에 slag가 형성되었는데 그 주성분은 Al과 Ca이었다. 단면 profile은 대부분 shallow한 형상으로 SRA전에는 50PNS grade가 다른 grade에 비교하여 상대적으로 용입이 잘되는 것을 알 수 있었다. 일반적인 용접부의 단면 형상은 negative한 Marangoni력에 의한 용입형태와 Lorentz력에 의한 용입형태가 혼합된 것으로 설명할 수 있으며 SRA를 실시한 후에는 50PNS grade만 SRA전과 비교하여 깊은 용입형태를 나타내었다.

용접변수의 변화에 따라서 용접성을 나타내는 용입비(d/w)가 grade에 따라 상대적인 차이가 나는 것으로 관찰되었다. GTA 용접조건을 100amp, 10mm/sec로 하였을 때 각 grade에 대한 용입비를 SRA전후에 비교한 결과에 의하면 S18 grade와 S30 grade가 용접성이 상대적으로 나쁘게 나타났으며 50PNS grade가 좋은 용접성을 보여주었다. 한편 SRA후에는

용접성이 전체적으로 조금씩 좋아지는 경향을 보여주고 있으나 큰 차이는 없지만 50PNS grade의 경우에는 2배이상 증가한 것을 알 수가 있었다. 이 소재는 제조시 마지막 열처리를 하지 않았기 때문에 표면의 경도가 높으며 실제 사용할 경우 열처리를 하도록 되어 있다. SRA후 이 grade는 조대한 결정립을 가지게 되며 Si의 함량이 다른 grade에 비교하여 많이 낮으므로 자기적인 특성이 상대적으로 나쁜 소재이다. 그러나 이러한 수준의 Si함량은 arc 특성을 좋게하여 GTA 용접성이 좋은 것으로 알려져 있다.

유무기혼합코팅 소재에 있어서는 용접시 코팅제중 유기물질의 연소에 의한 gas가 발생하여 용접성에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 따라서 이것을 억제하려고 하는 많은 노력이 있었는데 이와같은 용접성은 코팅표면의 조도가 매우 중요하게 작용하는 것으로 보고되고 있다. 즉 코팅표면의 조도가 높으면 적층시 층간 void가 형성되어 용접시 발생하는 연소 gas가 이 void에 포집되므로 용접부에 blow hole 형성을 억제한다고 한다. 따라서 각 grade의 표면조도를 비교하여 보았다. 그 결과에 따르면 SRA전에는 50PNS grade가 가장 높은 조도를 나타내었으며 S30 grade가 가장 낮은 조도를 보여 용접성이 표면조도와 상관성이 있을 수 있다고 설명할 수 있지만 SRA후에는 표면조도가 SRA전의 표면조도와 차이를 보이지 않았기 때문에 50PNS grade의 급격한 용접성 향상은 표면조도와 직접적인 관계가 있다고 할 수가 없다. 한편 SRA에 의하여 코팅층에 있는 유기물질이 모두 분해되어 코팅층에는 존재하고 있지 않으므로 용접성에 영향을 미칠만한 blow hole 형성은 없다고 판단된다. 따라서 50PNS grade의 용접성 향상은 SRA에 의한 자기적 특성의 증가로 용융 pool 유동에 영향을 미쳐 얻어진 결과라고 생각된다.

4. 결론

무방향성 전기강판의 용접성을 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다. 전반적으로 Si의 함량이 높을수록 용접성이 상대적으로 나뉘었으며 Si의 함량이 가장 낮은 50PNS grade를 제외하고는 SRA에 의한 용접성변화에는 큰 차이점을 발견할 수가 없었다.