

주철의 냉간 시공 교류아크용접에서 예열효과에 관한 연구

김진경[†] · 김영식* · 유대원**

(원고접수일 : 2007년 3월 5일, 심사완료일 : 2007년 9월 5일)

A Study on the Effect of Preheating in Cold AC Arc Welding Process of the Cast Iron

Jin-Gyeong Kim[†] · Young-Sik Kim* · Dae-Won Yu**

Abstract : AC cold arc welding process with AWS E Ni-CI and NiFe-CI is sometimes used to repair damaged cast iron parts in diesel engine room. But if some difference in hardness on welding zones, repaired parts would be cracked in a short. To overcome this default, this study is performed on varying preheating temperature of welding parts, selecting welding rod, etc. Experimental results showed that difference in hardness on welding zones at 200°C was less than 100°C and less low current than high current. From this study we could conclude that repair welding at 200°C preheating and low current as possible as welding in damaged cast iron parts was a little difference in hardness on welding zones.

Key words : Ni-Electrode, NiFe-Electrode, HAZ, Hardness, Blow Hole

1. 서 론

공업용 주철은 C를 2.5~4.5% 함유하는 것 이외에 Si나 P를 저탄소강보다 많이 함유하면서 기계적 성질이 떨어지지만, 용탕의 유동성, 주조성, 내마멸성, 절삭성, 진동의 감쇠 능력 등은 연강보다 훨씬 우수하고, 400°C까지는 기계적 성질 등이 상온과 유사한 재료이다. 그러나 주철은 가격이 저렴하고 기계 가공은 쉬우나, 인성이 낮고 단련이 안 될 뿐만 아니라 부품이나 구조물을 제작하는 과정이 용접 이음이나 볼트 및 리벳 이음이 아닌 주물로 손쉽게 제작하도록 되어 있다.

따라서 그 화학 성분이나 기계적 성질 등도 용접을 하기 위한 것이 아니고 주물을 쉽게 부을 수 있도록 조성이나 특성을 나타내므로 보수 용접이 힘들거나 용접을 하더라도 용접 결함이 많이 발생하는 결점을 가지고 있다.

주철은 선박의 기관실에서 해수 및 청수 펌프 케이싱(pump casing), 디젤 기관의 실린더 라이너 및 배기 밸브 상자, 실린더 헤드, 과급기 케이싱(casing) 등의 재료로 많이 사용되고 있다. 이런 주철 부품을 장기간 사용할 때 부식, 파공, 균열 등이 발생하여 사용이나 운전에서 지장을 준다면, 교환이

[†] 교신저자(한국해양수산연수원 교육연구처), E-mail : jg21kim@naver.com, Tel: 051) 620-5768

* 한국해양대학교 공과대학

** (주) 종합 폴스타

나 보수용접을 해야만 하는 경우가 종종 발생한다.

주철의 보수 용접에 있어서 용접부위에 나타날 수 있는 특성은, 용융 상태에서 급랭하면 마르텐사이트(Martensite) 조직의 생성과 균열의 발생, 연소가스 중에 사용하는 경우 성장한 주철에 들어온 산화성 가스의 작용으로 인한 용착 불량 및 기공 발생, 주조 및 열응력으로 인한 균열의 발생, 용접열영향부의 급랭으로 인한 마르텐사이트 조직의 형성으로 경도 상승, 주조 불량 부분의 균열 발생, 일산화탄소 발생, 용접 잔류응력으로 인한 균열 발생, 용접속속 중에 모재 원소의 영향으로 높은 경도 형성 등을 들 수 있다^{[1],[2]}. 현재 주철 보수용접에서 위와 같은 결함 발생을 최소화하고, 용접부위의 기계적특성이 가능하면서 보수비용이 저렴한 용접 방법은 Ni 및 NiFe 계통 용접봉을 사용하는 냉간 아크 용접 방법이다.

따라서 본 연구에서는 주철의 냉간 보수 용접부위에 나타나서 해결해야 하는 용접부위의 주요한 쟁점 중 하나는 용접부위의 경화 조직 형성과 균열 발생의 원인이 되는 경도 상승을 방지하고 예방하는 데 목적이 있다. 일반적으로 용접부위 중 용접열영향부의 경도가 제일 높으므로 용접부위의 개소별 경도 차이가 적게 발생하려면, 용접열영향부위의 경도를 낮추는 방법을 검토하는 것이 먼저 해결해야 할 문제이다. 용접열영향부의 경도를 감소시키는 방법은 용접을 시공하는 측면에서 용접봉 선택과 용접 시공 조건을 구명하는 것이 매우 중요하며, 그 외에 용착불량의 원인이 된다고 볼 수 있는 기공의 발생을 억제하는 용접봉 계통의 종류, 용접 전류와 예열의 조건에 대해서 연구 검토하였다.

2. 사용재료 및 실험방법

2.1 사용재료

실험에 사용한 주철은 선박용 대형 디젤 기관 실린더 라이너의 한 부분으로 한국선급에서 인정한 것이며, 화학적 성분과 기계적 성질은 Table 1 및 Table 2와 같고, 사용한 재질의 시험편 가공 치수는 25t× 50× 100 mm로 열을 전혀 사용하지 않은 채 기계 가공과 연마를 하여 모두 제작하였다.

Table 1 Chemical composition of cast iron used(wt%)

C	Si	Mn	P	S	B	Cu	V
3.2	1.1	0.8	0.4	0.1	0.04	1.5	0.22

Table 2 Mechanical properties of cast iron used

Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Hardness (HB)
245	0.3	180~230

※ Stress relieving : 550℃×4H

주철의 냉간 중 아크용접 특성상 많이 사용하고 있는 Ni 계통(이후 Ni 계통은 모두 AWS E Ni-CI에 해당함) 및 NiFe 계통(이후 NiFe 계통은 모두 AWS E NiFe-CI에 해당함)에서 어떤 용접봉의 용접성이 우수하고 용접 결함 발생이 적은 것인가를 판단하기 위해, 국내에서 확보할 수 있는 세 회사의 용접봉을 선택하였고, 이에 대한 각 용접봉의 화학적 성분과 기계적 성질은 Table 3 및 Table 4와 같다. 각각의 용접 시공 조건에 대한 구체적인 자료는 별로 없으므로, 용접봉 안에서로부터 얻은 자료를 이용하였다.

Table 3 Chemical composition of electrodes for cast iron used(wt%)

Electrode	C	Si	Mn	P	S	Ni	Fe
1(Ni)	0.86	0.28	0.30	0.002	0.002	Bal	1.85
2(NiFe)	0.98	0.32	0.80	0.005	0.004	55.1	Bal
3(Ni)	0.43	0.04	0.18	0.004	0.005	Bal	0.91
4(NiFe)	0.94	0.69	0.67	0.003	0.005	53	Bal
5(Ni)	0.5	-	-	-	-	Bal	2.0
6(NiFe)	0.5	-	-	-	-	54	45

Table 4 Mechanical properties of electrodes for cast iron used

Electrode	Tensile strength (MPa)	Hardness (HB)
1(Ni)	440	-
2(NiFe)	560	-
3(Ni)	300	145
4(NiFe)	460	210
5(Ni)	460	140
6(NiFe)	460	180

2.2 실험방법

세 회사 각각의 용접봉으로 사용 용접 전류의 세기, 예열, 3 층 용접 등에 변화를 주어 특히 용접열 영향부의 경도가 낮으며 용접부위별 경도 차이가 적고, 용접 입열량이 적은 적절한 용접봉과 시공조건을 실험의 결과로 확인하고자 한다.

용접봉 종류에 따른 각 용접부위별 경도 분포를 알아보기 위해서 Table 3의 $\phi 3.2$ 용접봉을 Table 2의 주철 모재에 동일한 전류로 우리나라의 선박이나 수리업체의 현장 보수 용접 조건과 가깝게 Fig. 1과 같이 주철에 85A의 전류로 1 층 교류 아크 용접을 실시하였다. 용접한 부위의 경도는 용접선 방향과 직각 방향으로 기계식 절단기로 절단하여 기계가공, 연마 등을 한 단면에 에칭(etching)을 실시하여 용접부위를 명확하게 구분하여 비커스 경도기로써 측정하였다.



Fig. 1 Schematic view of welded cast Iron

교류 아크 용접 전류의 세기에 따른 경도 차이를 알아보기 위해 회사에서 제시한 자료에 따라 숫자 뒤에 L자를 붙인 최저 전류(60~70A)와 H자를 붙인 최고 전류(110~120A)로 용접한 용접부위의 경도를 상호 비교하였다. 상온에서 용접 비드 길이 40 mm로 한층만 Fig. 1과 같이 냉간 용접한 용접부위의 각각 경도를 측정하여 용접 전류의 영향을 확인하였다.

또한 주철의 보수용접에 사용하는 용접봉 별로 용접 전류의 대소에 따라 용접부위에 만들어질 수 있는 기공의 발생 상태와 함께 조직 사진을 금속현미경으로 촬영하였다.

주철의 냉간 아크 용접 전에 예열 효과를 알아보기 위해 Fig. 1과 같은 모재에 예열을 각각 100℃, 200℃로 한 후 상온에서와 동일한 조건과 방법으로, 모든 용접봉에 대해서 100A의 전류로 교류 아크 용접하여 각각의 경도를 측정, 비교하여 보았다.

실제와 비슷한 상황을 고려하여 Fig. 2와 같이 150℃로 예열한 모재에 3 층 모두를 Ni 계통으로 용접한 경우와 1층과 3층은 Ni 계통으로 2층은 Ni-Fe 계통으로 각각 3 회사 별 용접봉으로 용접하여 모재에서부터 맨 위의 3층까지 전체의 경도를 측정하여 비교하였다.

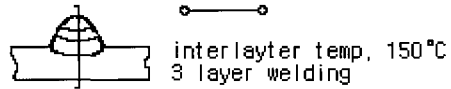


Fig. 2 Schematic view of 3 pass welded cast Iron

3. 실험결과 및 고찰

3.1 상온에서 1층 냉간 교류 아크 용접한 주철 용접부위의 경도

Fig. 3은 주철 모재에 Ni 및 NiFe 계통 용접봉으로 교류용접기를 사용하여 일반적으로 보수용접에서 실시하는 85A의 전류로 1층 용접한 부위에 대해 측정한 경도 자료이다. 모재(BM: Base Metal, 이하 그림에도 약자로 모두 동일하게 표시하였음)와 용접금속(WM: Weld Metal)은 경계부인 용접열영향부(HAZ: Heat Affected Zone)와 차이를 보이고 있으며, NiFe 계통 용접부위가 Ni 계통보다 전체적으로 높게 나타났다.

여기서 번호는 Table 3과 Table 4에 나타난 각의 용접봉에 매겨진 번호를 말한다. 용접부위 별 경도 차이가 제일 적으면서 경도가 제일 낮은 것은 5번 용접봉 즉, 탄소 함량이 적고 합금 성분이 적은 용접봉이었고, 그 다음이 3번이었다.

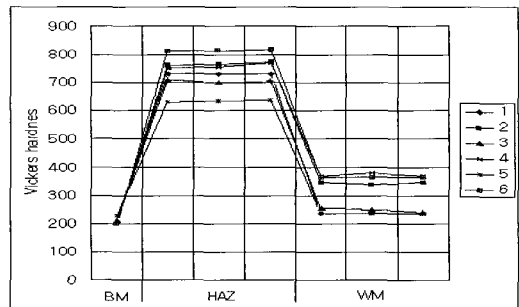
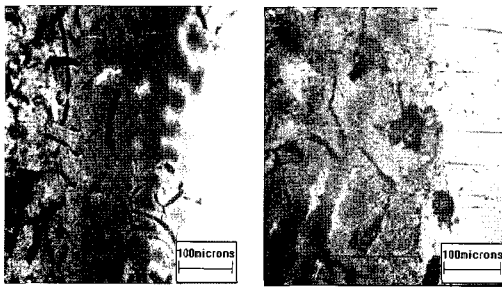


Fig. 3 Hardness of 1 pass the weld zone of the cast iron with various electrode used AC

용접열영향부는 모재보다 입열량이 크고 A₁ 변태선보다 높은 온도로 되었다가 냉각하므로 경도가 높은 조직이 형성되어 경도가 높아졌다고 사료된다. 또한 6종의 용접봉은 Table 3 및 Table 4와 같이 화학 성분과 기계적 성질이 제조사 별로 다르므로 상대적으로 경도의 차이가 난다고 생각된다.

Fig. 4는 경도가 제일 낮은 Ni 계통과 높은 NiFe 계통의 용접열영향부 조직사진을 보이고 있다. 다량으로 Fe가 포함된 NiFe 계통의 용접봉에서 Fe 성분이 주철에서 용접 중에 야금학적인 영향으로 경도가 상승한 것으로 생각된다.



(a) Ni 계통 (b) NiFe 계통

Fig. 4 Microstructure of HAZ according to electrode used AC

3.2 상온에서 용접 전류의 대소 별 냉간 교류 아크 용접한 주철 용접부위 경도

상온에서 각종 니켈계 용접봉으로 Fig. 1과 같은 최저 전류와 최고 전류로 냉간 교류 아크 단층 용접한 주철 용접부위의 경도 분포 결과를 Fig. 5에 나타내고 있다.

Fig. 5에서 전체적으로 용접봉 안내서나 회사에서 제시한 주철의 냉간 아크 용접에서 용접 전류가 낮은 쪽의 모든 L 경우보다 높은 쪽의 H 경우가 용접열영향부와 용접금속부의 경도는 용접봉 회사에서 제공한 자료와는 용접 조건 등이 다르므로 다소 차이가 있다고 생각되지만 상승하고 있다.

경도가 제일 높은 용접부위는 용접봉에 관계없이 용접열영향부이며, 그 중에서도 용접봉 3H가 제일 높은 값을 나타내고 있다. 용접봉 종류에 따른 주철의 냉간 아크 용접에서 각 용접부위 별경도 차이가 차례로 적게 나타나는 것은 5L과 3L의 순서이다.

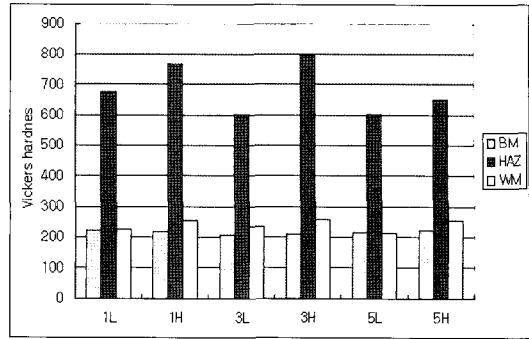
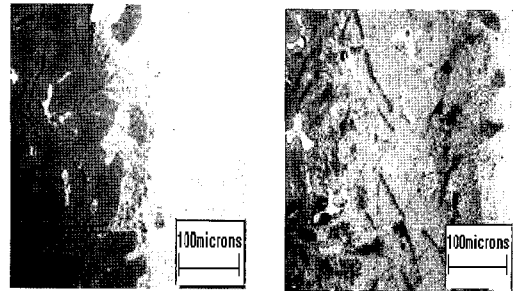


Fig. 5 Hardness of the weld zone of cast iron made with AWS E Ni-CI in room temperature

Fig. 6의 (a)는 5L를, (b)는 5H를 나타내는 조직 사진을 보여 주고 있는데 5H에는 차이점을 파악하기 쉽지 않다.



(a) HAZ of 5L (b) HAZ of 5H

Fig. 6 Microstructure of HAZ according to AC welding current

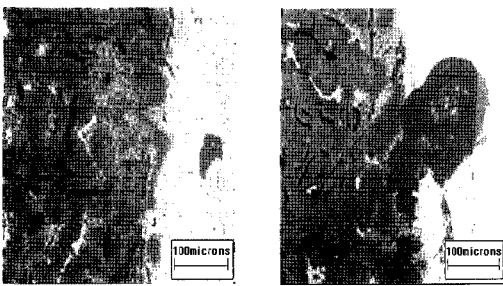
높은 용접 아크 전류로 용접한 용접부위의 경도가 높게 나타나는 이유는 용접 입열량은 아크 전류와 전압에 비례하고 용접속도에 반비례하므로, 입열량이 많아져서 주철이 오스테나이트 조직에서 Fe와 C가 쉽게 결합할 수 있으므로 발생한 현상이라 사료된다.

3.3 상온에서 용접전류에 따른 주철 냉간 교류 아크 용접부위의 기공 발생

보수 용접을 하는 주철은 압연한 재료가 아니고 단순한 주물 상태이므로, 고온에서 장기간 가스 분위기에서 사용한 부품은 압연한 재료보다 상대적으로 금속 원자 사이의 미세 틈새가 크고 많으므로

이러한 틈새에 고온의 가스가 침투할 가능성이 압연한 재료보다 높다. 사실 주철의 냉간 보수 용접 부위에 기공이 발생하는 이유는, 고온에서 오랫동안 사용된 주철은 주철 자체가 성장하여 흑연을 따라 들어온 고온 산화성 가스의 산화와 열팽창계수의 차이에서 발생한 공극으로 인해 용접과정에서 용착 불량 현상이 나타날 수 있다. 또한, 용접중 주철이 함유한 많은 양의 탄소와 공기 중의 산소가 높은 아크열로 일산화탄소를 만들 수 있다. 이러한 기공은 주철의 버터링(buttering) 용접에서 용착 불량의 원인이 되므로 주철의 보수용접에 지장을 많이 주고 있는 실정이다.

Fig. 6 (a)는 주철 시험편에 Ni 계통 용접봉으로 용접 전류가 낮은 75A로 냉간 교류 아크 용접한 용접열영향부의 미세 조직이고, (b)는 130A의 높은 용접 전류로 용접한 용접열영향부의 조직사진이다. Fig. 6에서 (a), (b) 모두 오른쪽의 용접 금속 내에 검게 보이는 것이 기공이며, 용접 전류가 높은 Fig. 6 (b)의 기공 크기가 상대적으로 크다. 이것은 전류가 높음에 따라 용접 입열량이 많아져서 많은 양의 탄소와 산소의 반응이 신속히 이루어 지므로 기공이 더 크게 되었다고 사료된다.



(a) Low Current (b) High Current
Fig. 6 Size of blow hole in HAZ

3.4 예열한 상태에서 냉간 교류 아크 용접한 주철 용접부위 별 경도

주철 모재를 100 ℃ 및 200℃로 예열하여 각각의 Ni 계통 1번, 3번, 5번 용접봉으로 냉간 교류 아크 용접을 단층만 한 경우의 용접부위 별 경도 변화 경향을 보면 Fig. 7과 같게 나타난다.

여기서 1-100은 1번 용접봉으로 100℃로 예열하여 용접한 경우이고, 1-200은 1번 용접봉으로 200℃로 예열하여 용접한 경우를 뜻한다. 100℃로 예열한 주철에 냉간 교류 아크 용접한 용접부위보다 200℃로 예열한 것이 전체적으로 경도가 낮았으며, 용접금속에는 그다지 차이가 나지 않으나 용접열영향부는 차이가 나고 있으므로 비록 냉간 주철 용접이라 할지라도 100℃~200℃로 예열을 하면 효과적이라는 것을 알 수 있다. 결과적으로 100℃로 예열하는 것보다 200℃로 예열하는 것이 용접열영향부의 경도가 더 낮아진다.

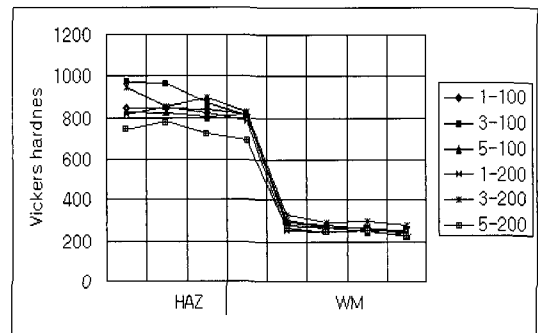


Fig. 7 Hardness of the cast iron weld zones made with AWS E Ni-CI used AC according to preheating

주철에 대한 보수 용접을 하기 전에 예열을 하면 전체적으로 용접부위의 냉각 속도가 느려짐에 따라 이러한 현상이 나타났을 것으로 생각된다.

주철의 표면 온도가 400℃로 되면 기계적 강도 현저히 떨어지므로 그 이상 올리는 것은 곤란하며, 주철의 냉간 용접에서 300 ℃로 예열하면 예열량이 많아져서 비효율적이고 용접 효과에 대한 검토 자료는 그다지 없으나, 앞으로 연구 검토할 사항이라 사료된다.

5번 용접봉으로 200℃로 예열하여 용접전류 100A로 용접한 용접부위 경도가 제일 낮고 부위별 경도 차이도 제일 적게 나타나므로 Fig. 6에 동일한 조건으로 상온, 100℃, 200℃로 각각 용접한 경우를 보기로서 서로 비교를 하여 보았다.

Fig. 8에서 보는 바와 같이 상온 보다 100℃, 200℃로 예열함에 따라, 각 용접부위 별 경도 차이가 적게 나타난다는 것을 알 수 있다.

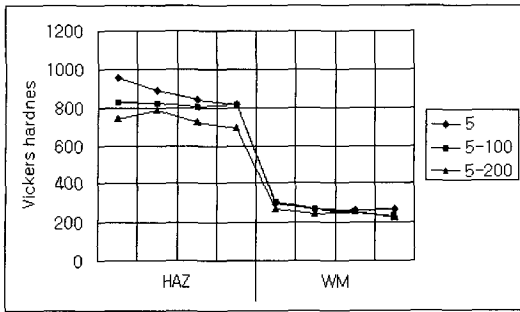


Fig. 8 Hardness of the cast iron weld zones made with AWS E Ni-CI-No.5 electrode used AC according to preheating

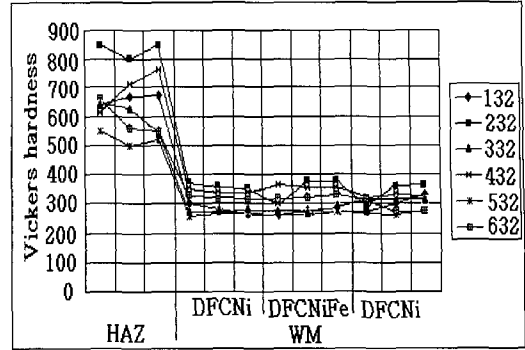


Fig. 9 Hardness of the cast iron 3pass weld zones made with AWS E Ni-CI and NiFe-CI at 200°C

3.5 예열한 상태에서 3층 냉간 교류 아크 용접한 주철 용접부위 별 경도

실제 주철 냉간 아크 용접과 비슷한 상황을 고려한 각각 3 회사 별 용접봉으로 교류 아크 용접을 하여 모재에서부터 맨 위의 3층까지 전체의 경도를 측정된 결과를 Fig. 9에 보이고 있다.

Fig. 9에서 132~632의 숫자 의미는 첫 번째 100자리 숫자는 Table 3 및 Table 4에 매겨진 숫자 중 1과 2는 1번 용접봉을, 3과 4는 3번 용접봉을, 5와 6은 5번 용접봉인 Ni 계통으로 초층 용접을 한 경우이다. 이 중에서 100자리수가 홀수인 132, 332, 532는 2층 용접을 같은 회사의 Ni 계통의 용접봉으로 용접한 경우이고, 짝수인 232, 432, 632는 2층에 NiFe 계통 용접봉을 용접한 경우이다. 10자리 숫자 3은 3층 용접을, 마지막 1자리 숫자 2는 200°C로 초층을 예열한 후 그 온도를 유지하며 용접을 하였다는 뜻이다.

전체적으로 경도 분포 경향은 동일하고, 2층에 NiFe 계통 용접봉을 사용한 경우는 용접금속 두 번째 층에서 약간의 경도 상승이 있음을 알 수 있고, 3층의 Ni 계통 용접부위는 다른 1층과 2층 부위보다 공기와 바로 접촉하는 마지막 층이기 때문에 경도가 약간 상승한 것으로 사료된다.

2층의 NiFe 계통의 용접봉은 Table 3과 Table 4에서 보이는 바와 같이 Fe 성분이 포함되어 있고 또한 경도와 기계적 성질도 Ni 계통보다는 상대적으로 더 높고 강하기 때문에 경도가 높을 수밖에 없을 것으로 생각된다.

4. 결 론

주철의 냉간 시공 교류아크용접에서 예열효과에 관한 연구에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 상온에서 1층 용접한 경우 Ni 계통 용접봉 중 탄소 함유량과 용접금속의 경도가 낮은 용접봉이 용접부위 별 경도 차이가 제일 적었으며, 또한 제일 낮은 경도 값을 가졌고, 그 다음이 용접금속의 인장강도가 제일 낮은 용접봉이다.

(2) 주철에 동일한 모든 피복 아크 용접봉으로 교류아크 용접할 경우 용접 전류를 높이면 용접부위 경도가 전체적으로 모두 높아진다.

(3) 예열한 경우, 용접봉 종류에 따른 주철의 냉간 교류아크용접에서 각 용접부위 별 경도 차이는 상온보다는 100°C, 100°C 보다 200°C가 더 적게 나타났다.

(4) 주철을 100°C, 200°C로 예열한 경우, Ni 계통 용접봉 중 탄소 함유량과 용접금속의 경도가 제일 낮은 용접봉으로 용접한 용접부위의 경도가 제일 낮았다.

(5) 층간 온도 200°C로 3층 교류아크용접을 한 경우, 최종층은 냉각속도의 증가로, 2층에 NiFe 계통 용접봉의 특성으로 경도 상승도 약간 나타나나 그다지 문제가 될 정도로 높지 않으며, NiFe 계통 용접봉은 목적에 적합하게 사용해도 경도 상승과는 무방하다.

후 기

본 연구는 (주) 케이프의 주철 재료와 (주) 종합 폴스타의 주철용접 지원으로 수행된 연구결과 중 일부이며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] Nikuma, Soejima, Point of Cast Steel and Cast iron welding, Gendaiyosetsugijutsu-daikei(No. 25), pp.108-109, Sanpo publishing Co. Ltd. Tokyo, 1980.
- [2] Committee on Welding Iron Castings, Guide for Welding Iron Castings, pp.4-6, AWS, 1989.

저 자 소 개



김진경(金鎮京)

1976년 한국해양대학교 기관학과 졸업(공학사), 1982년 한국해양대학교 대학원 졸업(석사), 1989년 한국해양대학교 대학원 졸업(박사), 현 한국해양수산연수원 기관시스템교육팀 교수



김영식(金永植)

1944년 10월생. 1967년 한국해양대학교 기관학과 졸업, 1973년 동대학원 졸업(석사). 1979년 일본동경공업대학교 졸업(박사). 현재, 한국해양대학교 기계소재공학부 교수



유대원(兪大元)

1946년생.
1968년 한국해양대학교 기관학과 졸업, 2007년 현 (주)종합폴스타 대표이사