

研究論文

大韓熔接學會誌
 第11卷第4號 1993年12月
 Journal of the Korean
 Welding Society
 Vol.11. No.4, Dec., 1993

국산 플럭스 코어드 와이어 용접에서 입열량이 용접부의 미세조직과 인성에 미치는 영향

고진현* · 국정한*

A Study on the Effect of Heat Input on the Microstructure and Toughness of Weldments Made by Domestic Flux Cored Wires.

J. H. Koh* and J. H. Kook*

Key Words : Flux Cored Arc Welding(플럭스코어드 아아크 용접), Heat Input(입열량), Grain Boundary Ferrite(결정입계 페라이트), Widmanstätten Ferrite Side Plate(비드만스태텐 페라이트 사이드플레이트), Acicular Ferrite(아시쿨러페라이트), Coarse-grained Reheated Zone(조대입자재열부), Fine-Grained Reheated Zone(미세입자재열부)

Abstract

In the present study, the microstructure and Charpy V notch toughness of multipass CO₂ FCA weldment in three different heat inputs(1-3 KJ/mm) were investigated. The weldments using two different domestic FCAW wires(AWS E71T-1 and E71T-5 equivalent) in C-Mn steel were chemically analysed. The following conclusions can be inferred.

1. T-1 wire Showed a stable arc transfer, less spatter and harsh, a better bead spreading and easy slag removal, whereas T-5 wire suffered from the arc stability, which tended to increase spatter and produce a more convex bead.

2. The microstructures of the top beads of the weldments in three different heat inputs consisted of coarse-grained boundary ferrite and Widmanstätten ferrite side plate with increasing heat inputs. The modest fraction of acicular ferrite in the two wire weldments was observed in the 2KJ/mm heat input.

3. The fine-grained reheated zones of both welds consisted of a duplex microstructure of polygonal ferrite and second phases.

* 정희원, 한국기술교육대학 산업기계공학과

4. The basic flux weldment of T-5 wires showed a higher Charpy impact property than that of T-1 wires because of a higher fraction of acicular ferrite in the weld microstructure.

1. 서 언

플럭스코어드 아크용접(Flux Cored Arc Welding, FCAW)은 용착률이 높고 전자세 용접이 가능할 뿐 아니라, 탄소-망간(C-Mn)강 및 저 합금강등의 용접시 비용이 싸고 생산성이 높기 때문에 선진국⁽¹⁾뿐만 아니라 국내에서도 그 사용량이 증가 추세에 있다. 특히 직경이 작은 와이어를 이용한 FCAW는 SMAW 및 GMAW와 비교하여 많은 장점이 있다⁽²⁾.

C-Mn강 및 저탄소 합금강 용접부의 기계적 성질은 용접후 냉각중 상변태를 통하여 생성된 페라이트 형상(ferrite morphology)에 의하여 가장 크게 영향을 받는다. 이들 강 용접부의 저온인성과 강도는 아시쿨러 페라이트(Acicular Ferrite, AF)량과 관계가 있음은 잘 알려져 있다^(1,3,4). 최적량의 AF 용접부 미세조직을 생성하기 위한 용접조건에 관한 연구는 대부분이 GMAW, SAW용접으로 입열량, 소모성재료(consumable), 플럭스, 합금원소, 보호가스등 주요 용접인자에 관한 것이었다. 그러나 FCAW에서는 이들보다는 뒤늦게 연구가 되기 시작되었고, 국내에서는 이에 대한 연구가 아직 체계적으로 되지 못하고 있다.

용접부의 시공 및 사용중의 성능은 그 미세조직에 달려있으며 이는 주어진 강에서 소모성재료, 용접 순서 및 이음형상등과 밀접한 관계가 있다. FCAW 용접부의 미세조직에 영향을 미치는 주요 두 인자는 슬래그시스템과 보호가스이다. 물론 기타 용접에서와 같이 용접 입열량과 시편두께등도 미세조직에 영향을 미친다.

본 연구에서는 페라이트계강에서 생성되는 용접 미세조직에 대하여 먼저 고찰하고, 국산 소모성 재료로서 AWS E71T-1과 E71T-5에 해당하는 FCAW용 와이어 두 종류를 사용, C-Mn강을 다층 패스 용접하였을 때 그 용접특성과 용접입열량에 따른 용착금속과 재열영역에서 생성되는 미세조직을 조사한다. 그리고 용착금속에서 주요합금원소들과 산소량이 미세조직과 인성에 미치는 영향을 조사한다.

2. 페라이트강 용접부의 미세조직

고 강도와 고 인성의 용접부를 얻기 위해서는 무엇보다 미세조직을 잘 조절할 수 있는 용접기술이 필요하다. 이를 위해서는 용접부에서 생성되는 미세조직을 먼저 이해하고 이들이 생성되는 조건과 용접인자들과의 상관관계를 살펴볼 필요가 있겠다. 용접부의 미세조직은 용접후 냉각중 일어나는 $\gamma \rightarrow \alpha$ 상변태에 의하여 출현하는 상들의 형상(morphology)이라고 할 수 있다. 이때 그 조직을 해석하는데는 학자에 따라 다르게 불리어지는 경우가 있기 때문에 그 용어를 분류하여 살펴 볼 필요가 있겠다.

용접미세조직은 Fig. 1과 같이 도식적인 연속냉각변태도(Continuous Cooling Transformation, CCT)를 이용하여 설명될 수 있다⁽⁴⁾. 물론 이들 곡선은 합금원소첨가와 냉각속도에 따라 변한다. 용접냉각중 오스테나이트가 페라이트로 분해되면 첫 번째 생성물은 주상정(columnar)의 구 오스테나이트 입계(prior austenite grain boundary)에서 결정입계 페라이트(Grain Boundary Ferrite, GBF)가 변태온도 범위 800~700°C에서 생성되며, 이를 흔히 페라이트 allotriomorph, 다각형 페라이트(polygonal ferrite), 블럭키 페라이트(blocky ferrite) 또는 초석

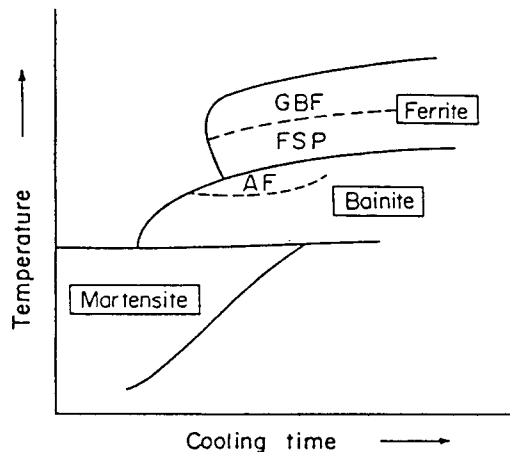


Fig 1. Schematic Illustration of WM-CCT Diagram

(proeutectoid) 페라이트라고도 부른다^{4~7)}.

용접부가 더욱 낮은 온도로 냉각되면 결정입계 페라이트로부터 Widmanstätten ferrite side plate (FSP)가 핵생성되어 긴 침상래쓰(lath)들이 오스테나이트 입내로 돌출한다. 이 페라이트 래쓰들은 서로 평행하는 조직으로 750~600°C 온도범위에서 생성된다^{7, 9)}. 이들 GBF와 FSP 모두를 primary 페라이트라고도 한다. 용접부의 온도가 600~500°C 범위로 더욱 낮아지면 베나이트(bainite)영역에서 AF래쓰가 결정입내에 생성하게 된다. 이 AF는 폭이 1~3 μ m 정도로 미세한 페라이트 래쓰가 입내에서 상호연결되는 형상이고, 고각의 경계로 서로 분리되며, 비교적 낮은 온도에서 갑자기 생성되며, 이들 미세한 페라이트래쓰는 다수가 동시 핵생성(sym-pathetic nucleation)된다^{8~10)}.

마지막으로 잔류 오스테나이트는 베나이트(B), 마르텐사이트(M)와 펄라이트를 포함하는 다양한 미세조직으로 변태한다. 잔류 오스테나이트와 함께 마르텐사이트와 카바이드(carbides)로 구성되는 미세조직을 MAC라 한다. 이상과 같이 용접부가 냉각되면서 출현하는 상의 순서는 GBF→FSP→AF→B이다. 페라이트계 강은 그 구성과 용접열사이클에 따라 GBF로부터 마르텐사이트까지 그 범위가 넓은 용접부의 미세조직을 갖게 된다.

지금까지 알려진바로는 양호한 기계적 성질을 얻자면 용접부의 미세조직에는 미세입자의 AF가 고분율로 생성되어야하고 동시에 GBF, FSP 및 상부 베나이트등의 생성을 최소화 하여야 한다. 예를 들면, Mn과 Mo^{9, 10)}의 합금원소는 변태온도를 떨어뜨리고 AF생성을 촉진하며, Ni과 Mn¹¹⁾ 첨가는 GBF와 상부베나이트 생성을 억제하고 AF를 생성하며, 산소 또한 연속냉각변태곡선에 영향을 미치며, 용착금속에 산소량이 200~300ppm 정도 존재할때 최대 AF량을 얻을 수 있고¹²⁾, Ti 또는 Ti-B을 첨가하거나 또한 냉각속도를 적절히 증가하면 다량의

AF량을 얻을 수 있다¹³⁾.

3. 실험방법

3.1 재료

본 실험에 사용된 모든 용접부는 두께 19mm의 C-Mn강 판재를 사용하여 제작되었다. 용접소모재로는 국내제품으로 AWS E71T-1(산성 슬래그 플럭스)와 AWS E71T-5(염기성슬래그 플럭스)에 해당하는 2종류의 상용 플럭스 코어드 와이어가 사용되었으며 두 와이어의 직경은 1.2mm였다. 보호 가스는 100% CO₂를 사용하였다.

3.2 시편용접

길이 450, 폭 최소 100, 두께 19mm의 C-Mn강재를 한 면(edge)을 30도로 경사지게 가공하고, 두께 4mm, 폭 40mm, 길이 500mm의 밀면 막이판(backing plate)위에 루우트간격이 2mm로 띄워 위치하고 용접시작 및 종료되는 위치에 탭(tap)을 가접한 후 60도의 V자형 홈 형태의 맞대기 이음을 준비하였다. 이와같이 준비된 시편에 존재하는 수분을 제거하기 위하여 산소-아세틸렌 토지로 홈을 따라 가열하였고 용접은 모재가 완전히 냉각된 후 시작되었다. 본 실험에서는 3가지의 입열량을 사용하였으며 용접조건과 용접패스수는 Table 1과 같고 이 용접조건은 최적 AF량을 얻을 수 있는 조건을 조사하기 위함이었다. 용접기는 CO₂/MAG용 350A, 직류용접기를 사용하였고, CO₂ 가스 유입속도는 20 ℓ /min, 용접패스간 온도는 약 50°C, 아크 길이는 첫 패스는 약 20mm로부터 용접층이 증가함에 따라 조절하여 최종층은 약 10mm로 유지하여 아랫보기 자세로 용접이 수행되었다.

Table 1. Welding Parameters

Heat Input (KJ/mm)	Arc Voltage(V)	Current(A)	Welding Speed (mm/min)	Number of Pass
1	23	160	220	10
2	23	240	160	6
3	24	260	120	4

3.3 화학조성분석

두 와이어에 함유된 주요원소들이 용착금속의 미세조직과 인성에 미치는 영향을 조사하고 또 용접입열변화에 의하여 용착금속에 함유되는 산소량과 주요원소를 조사하기 위하여 와이어 및 용착금속의 화학조성을 분석하였다.

3.4 미세조직 검사

용접이 완료된 시편을 용접방향에 횡 방향으로 절단된 시편을 연삭, 연마후 5% Nital용액으로 부식한 후 광학현미경으로 미세조직을 관찰하였다. 각 용접조건에서 제작된 다중패스용접부의 상부비이드와 열영향부, 재열조직 등을 비교분석하였고, 미세조직은 국제용접협회에서 제안된 방식에 따라 정량분석 하였다.

3.5 경도시험 및 사르피 충격시험

미세조직검사에 사용되었던 시편을 이용하여 비커스 미소 경도시험이 수행되었다. 용접입열에 따라 발생된 용접부 및 모재의 경도는 시편표면에서 2mm 아래의 상부 용접 비이드를 시편표면과 평행한 방향으로 조사되었다. 경도시험할 위치는 미리 스크래치하여 표시하고 용접중심선을 기준으로 우측으로 1mm 간격으로 경도시험이 수행된 후 좌측으로도 같은 방법으로 수행되었다. 미소경도시험에서 사용된 하중은 1kg, 압입유지시간은 10초 였다. 용착금속의 인성을 조사하기 위한 사르피충격 시편은 용접이 완료된 용접시편을 부재표면으로 부터 1mm를 연삭하고 용접방향에 대하여 가로방향으로 표준 사르피충격 시편이 가공되었다. 5% Nital 용액으로 용접부를 부식하여 용접부 중앙에서 두께방향으로 V형 노치가 가공되었다. 충격시험의 온도는 -70°C 로 부터 40°C 범위였다. 저온을 유지하기 위하여

사용된 냉매는 공업용 메틸알콜과 드라이아이스(dry ice)와의 혼합물이였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 용접 특성 비교 및 화학조성

본 실험에서 사용된 두 가지 플럭스 코어드 아크 용접 와이어를 100% CO_2 보호가스로 C-Mn강을 용접할때 나타난 용접 특성을 비교하면 다음과 같다. 플럭스 슬래그 시스템이 산성인 E71T-1(T-1) 와이어로는 스패터가 거의 없는 깨끗한 용접 비이드를 얻었으나, 염기성인 E71T-5(T-5) 와이어에서는 스패터가 다소 많았다. T-1 및 T-5 와이어에서 모두 슬래그 제거는 비교적 용이 하였으나, T-1 와이어 경우 용접후 비이드를 덮고 있는 슬래그는 하나 또는 두개 조각으로 용접비이드와 잘 분리되어 제거하기가 아주 쉬웠다. 두 와이어 모두 퍼짐성이 좋아 비이드 모양이 양호하였으나 T-1 와이어가 T-5와이어 보다 아크 안정성이 있어 모서리로의 퍼짐성이 좋았고, T-5경우 젖음성이 다소 불량하며 불룩한 비이드가 형성 되었다. 용접중 아크소음은 T-1와이어 경우 부드러웠으나, T-5와이어는 다소 시끄러웠고, 슬래그 색깔은 T-1경우 검은색이였고, T-5경우 광택있는 짙은 담황색이였다.

Table 2와 3은 각각 본실험에서 사용된 두 와이어와 용착금속의 화학조성 분석결과이다. T-1, T-5 와이어에 함유된 Mn, Mo, Ti 및 Ni등의 주요 합금원소량은 Mn을 제외하고는 거의 같다. 그리고 두 와이어를 3가지 다른 입열량으로 용접된 용접부의 화학조성분석결과 T-5 용착금속에 더 많은 양의 Mn이 함유되었고 산소량은 T-1 용착금속에 더 많이 함유되어 있다.

Table 2. Chemical Composition of Flux Cored Wires

Wire	Element	C	Si	Mn	P	S	Mo	Ti	Ni
T - 1		0.050	0.3	0.4	<0.05	0.014	0.1	<0.1	<0.05
T - 5		0.034	0.3	0.5	<0.05	0.015	0.1	<0.1	<0.05

Table 3. Chemical Composition of Weld Metals with Different Wires and Heat Inputs (Wt %)

Wire	Heat Input (KJ/mm)	C	Si	Mn	P	S	Mo	Ti	Ni	O
T - 1	1	0.029	0.66	1.0	<0.05	0.017	0.1	<0.1	<0.05	0.083
	2	0.040	0.63	1.2	<0.05	0.016	0.1	<0.1	<0.05	0.102
	3	0.050	0.64	1.1	<0.05	0.016	0.1	<0.1	<0.05	0.060
T - 5	1	0.057	0.46	1.5	<0.05	0.011	0.1	<0.1	<0.05	0.063
	2	0.049	0.44	1.4	<0.05	0.012	0.1	<0.1	<0.05	0.060
	3	0.056	0.43	1.3	<0.05	0.012	0.1	<0.1	<0.05	0.047

4.2 상부 비이드 미세조직

Fig. 2(a)와 2(b)는 용접 입열량이 각각 3과 1KJ/mm의 용접 단면적으로 상부비이드의 주상정조직(columnar)과 다층패스 용접에서 후행 용접패스

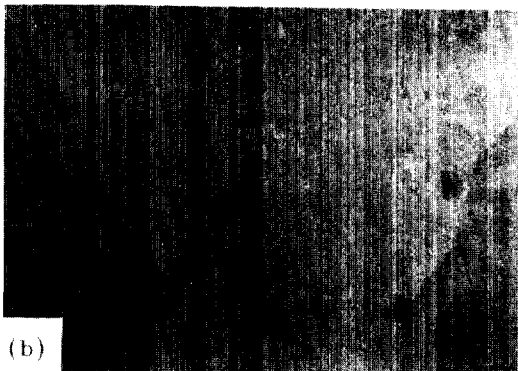


Fig 2. Macrographs of the Multipass Flux Cored Arc Weld Showing Columnar and Reheated Zones as a Function of Heat Input (4X)
 (a) 3 KJ/mm (b) 1 KJ/mm

에 의하여 재열된 부분이 뚜렷하게 구분된다. 고 입열인 Fig. 2(a)에서는 용접패스수가 적고 한 패스 당 용착금속이 많아 조대한 주조조직인 주상정이 분명하며, 저 입열인 Fig. 2(b)는 용접패스수가 많고 패스당 용착층이 작아 주상정 조직이 작고 많다.

Fig. 3은 상부 비이드의 주상정 조직으로 T-1(a, b, c)과 T-5(d, e, f) 와이어 모두 비슷하지만 입열량이 1KJ/mm에서는 GBF 망상(veining) 조직이 뚜렷하고 폭과 간격이 좁다. 그러나 입열량이 2, 3 KJ/mm로 증가함에 따라 이 페라이트 veining조직이 점차 두꺼워져 뚜렷하게 GBF가 식별되고, 페라이트가 더욱 조대하여져 이들 사이의 간격도 커진다. 각 용접에서 상부 비이드의 주상정 결정립 폭은 50배 배율에서 직선과 교차하는 주상정 결정립수를 세어 길이로 나눈 직선 교차법(line intercept method)으로 10개씩 읽어 평균한 값이 Fig.4이다. FCAW T-5 와이어로 입열량을 증가하여 용접한 결과 평균 주상정 결정립폭은 약 0.12mm에서 0.2 3mm로 증가하였다.

Fig. 5는 T-5와이어로 용접된 용접부의 상부비이드의 주상정 영역의 미세조직이다. Fig. 5(a)는 입열량 1KJ/mm에서의 미세조직으로 미세한 Widmanstätten FSP가 GBF 입계에서 생성되어 입내로 서로 평행한 형상으로 돌출하고 있고, 입내에는 베나이트도 있다. 입열량 2KJ/mm에서는 GBF가 1 KJ/mm에서보다 폭이 넓고 다각형화 되고 조대화되어 분리되는 형상을 보여주고 있다(Fig. 5(b)). 또한 GBF 입계에서 생성된 FSP가 입내로 래쓰가 두꺼워지면서 성장 하였다. 그리고 구 오스테나이트 입내에서는 AF가 생성되었다. Fig. 5(C)는 3KJ/mm 입열의 용접조직으로 GBF가 조대화되면서 다각형

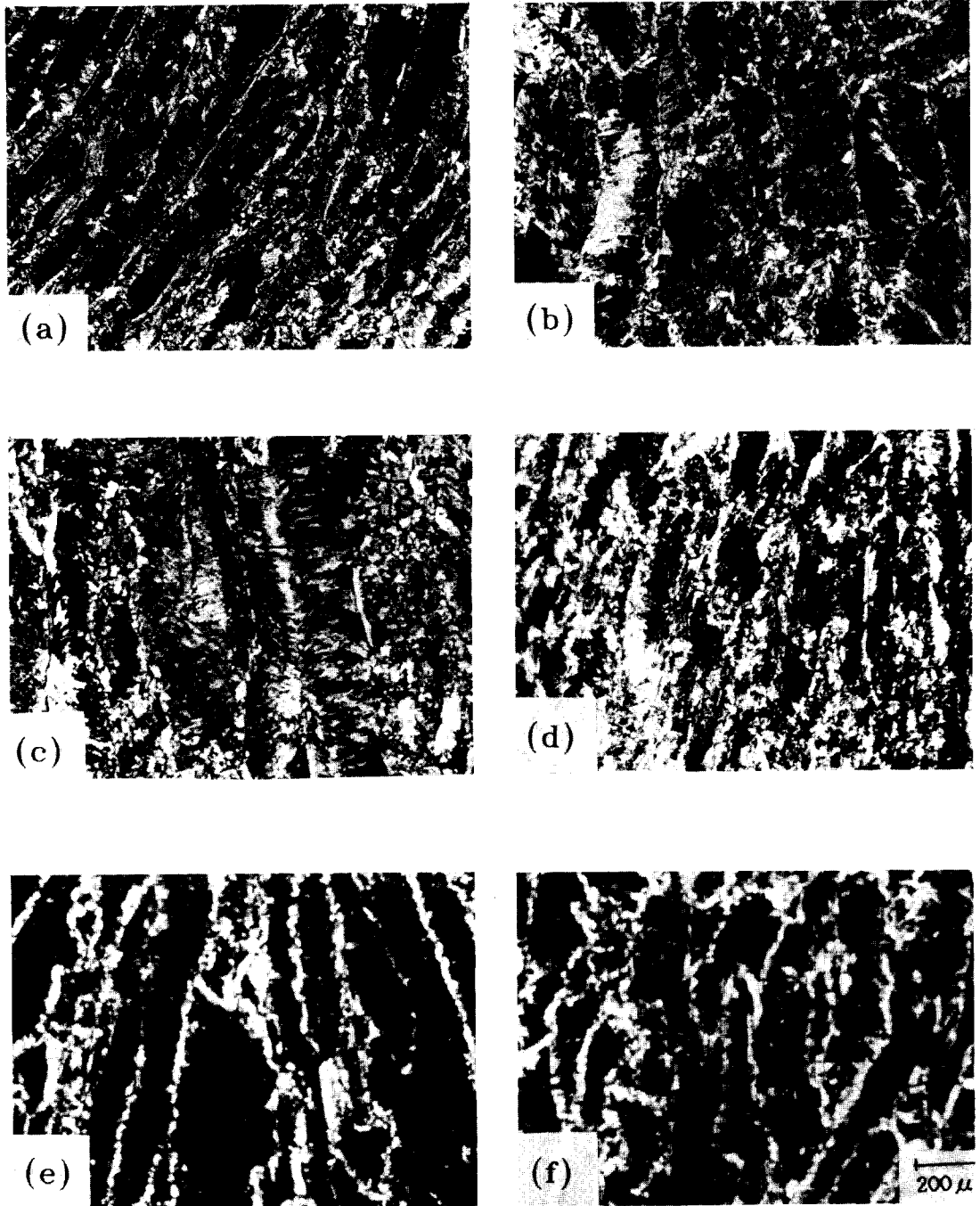


Fig. 3. Photomicrographs of Top Bead(Columnar) As a Function of Heat Input(KJ/mm)

E71T-1 · (a) 1 (b) 2 (c) 3
 E71T-5 (d) 1 (e) 2 (f) 3

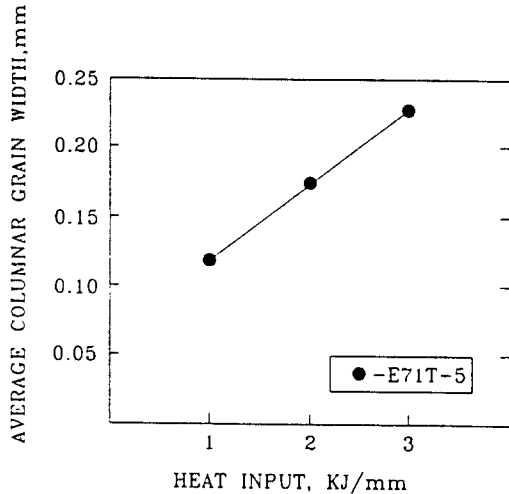


Fig. 4. Effect of Heat Input on the Average Columnar Grain Width (Top bead)

화 되고 페라이트 분율이 현저하게 증가되고, GBF가 섬처럼 분리되고 있음이 뚜렷하다.

Fig. 6은 T-1와이어로 용착된 용접부 상부비이드의 주상정 미세조직이다. T-5와이어 경우처럼 입열량이 증가함에 따라 GBF폭이 점차 커지고, Fig. 6(C)와 같이 3KJ/mm에서는 구 오스테나이트

입계를 따라 생성된 조대화 다각형 페라이트가 뚜렷이 분리되고 있다. 그리고 입열량 2KJ/mm에서는 GBF로부터 FSP가 생성되었고 입내에는 AF가 생성되었다.

Fig. 7은 T-1과 T-5와이어를 사용 2KJ/mm 조건으로 용접된 미세조직을 비교하여 보여주며, T-1와이어에서는 흰색부분인 FSP가 더 많은 비율로 생성되었음을 보여주고 있다. T-5와이어 용접부에서는 정량적으로 분석하지는 않았지만 더 높은 비율의 AF가 생성되었음을 알 수 있다. 이는 이 조건의 냉각속도가 AF생성에 가장 적합하였기 때문으로 사료된다.

두 와이어를 3가지 입열조건에서 용접된 용착금속의 미세조직중에서 2KJ/mm에서 AF량이 높고 특히 T-5와이어에서 더욱 고분율의 AF가 생성되었다. 1KJ/mm에서는 GBF 입계에서 미세한 FSP와 베나이트가 생성되었고, 3KJ/mm에서는 AF량은 2KJ/mm에서 보다 감소되고 GBF가 조대화 되었다. 이와같이 용착금속에서 미세조직의 차이를 Mn, Si, Mo 등의 주요 합금원소와 산소량과 관련하여 고찰해 보자.

최적 충격인성을 얻을 수 있는 고분율의 AF를 갖는 미세조직에 영향을 미치는 주요원소는 Mn으로 그 최적 함유량은 1.25%⁵⁾와 1.4%^{9, 17)}라 하며

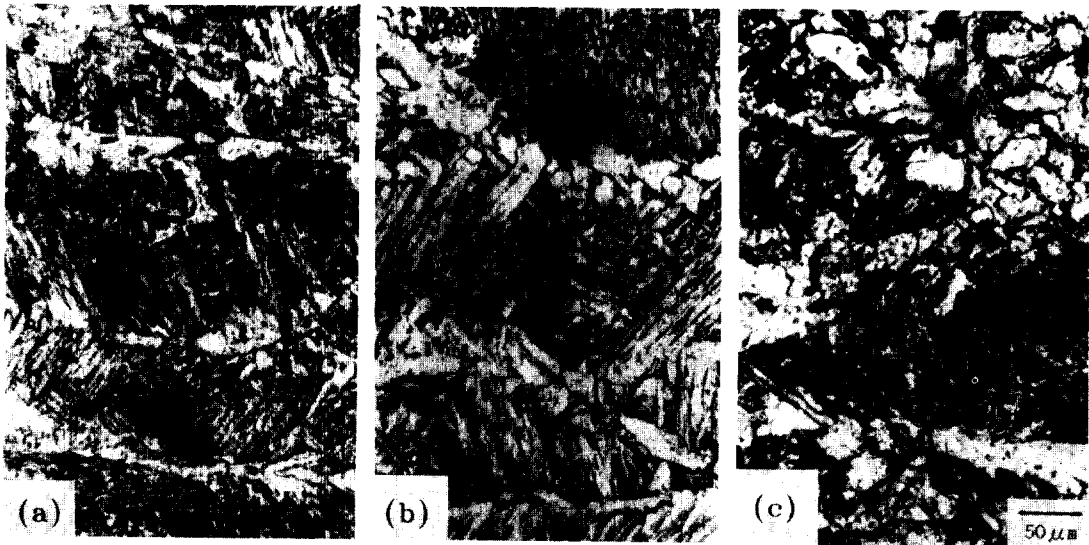


Fig. 5. Photomicrographs of the Microstructure of the Columnar Zones As a Function of Heat Input (KJ/mm) (E71T-5)

(a) 1 (b) 2 (c) 3

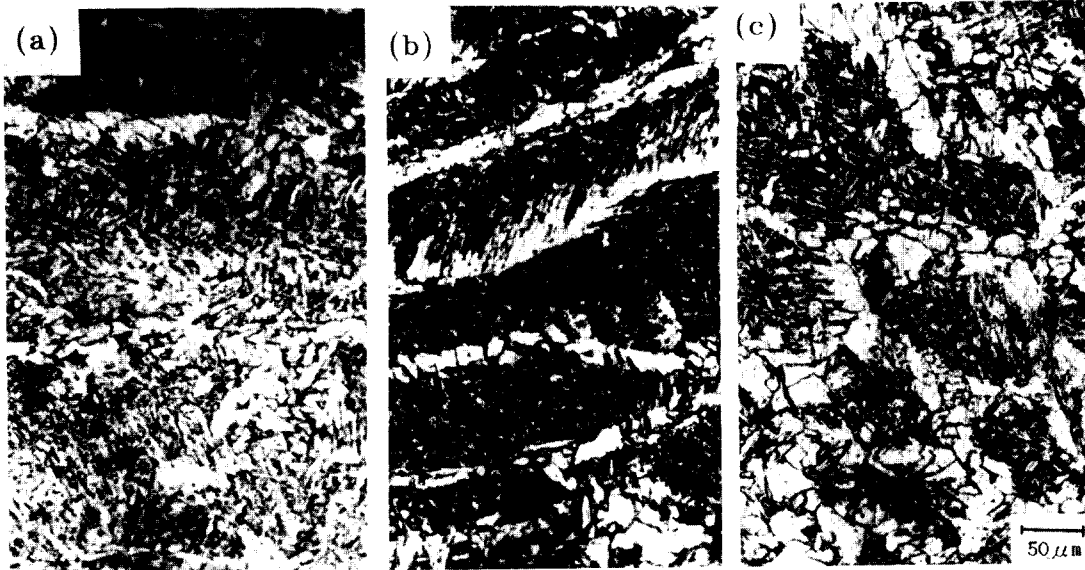


Fig 6. Photomicrographs of the Microstructure of the Columnar Zones As a Function of Heat Input (KJ/mm) (E71T-1)

(a) 1 (b) 2 (c) 3

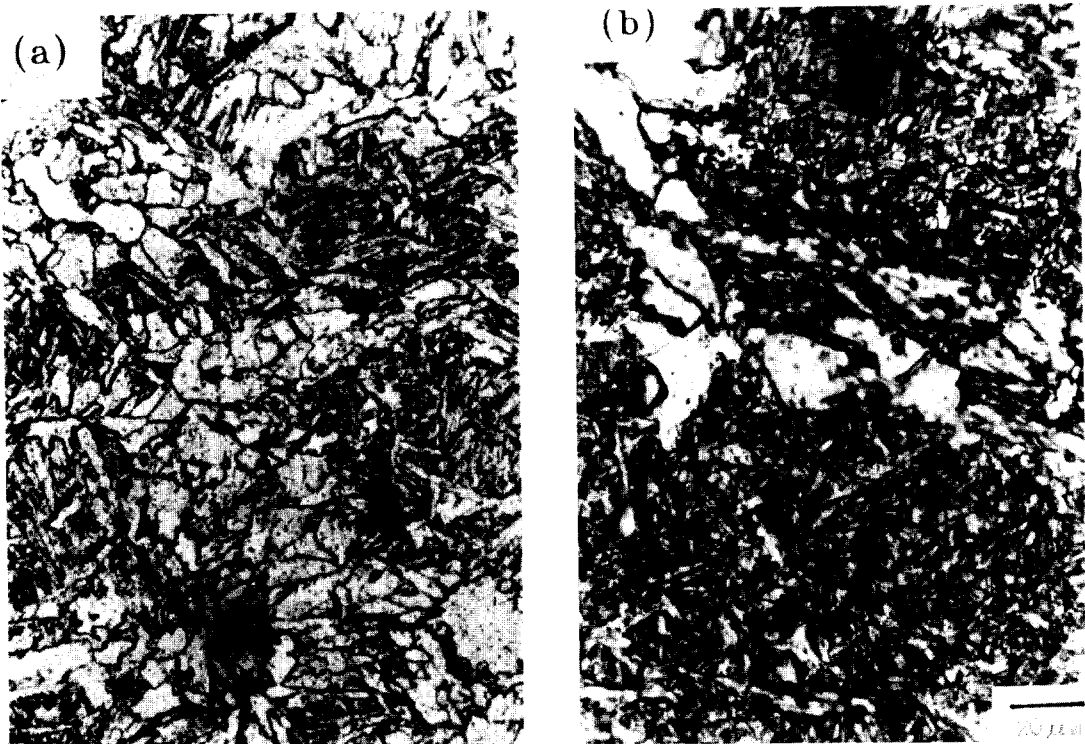


Fig 7. A Comparison of the Weld Metal Microstructure in the 2KJ/mm of Heat Input Between (a) E71T-1 and (b) E71T-5 Wires

이 이상으로 Mn이 증가하면 AF량은 감소한다고 한다. Si는 0.10~0.25%⁵⁾가 최적 첨가 범위이고 Mo도 AF생성을 촉진한다¹³⁾. Ti는 0.02~0.04% 이면 효과적이고 Ni원소도 Mn 및 Mo원소와 같이 AF생성을 조장한다¹⁰⁾. 두 와이어로 용접된 두 용착금속의 화학성분을 비교해 보면 Mn원소량을 제외하고는 차이가 없다. T-5와이어의 용착금속에서의 Mn량은 1.3~1.5%범위로 AF생성에 적합한 범위이다.

T-1 및 T-5와이어 용착금속에서 산소량은 각각 600~1000ppm과 470~630ppm이다. AF생성에 최적 산소량의 범위는 200~300ppm¹²⁾과 200~400ppm¹⁰⁾으로 보고되고 있다. 그러나 산소량이 300ppm이상이면 고 산소량으로 용착금속이 냉각될 때 상변태에 의하여 GBF, FSP 및 베나이트가 지배적으로 생성되고 AF는 극히 적다고 한다¹²⁾. 또 Fleck¹⁰⁾등에 의하면 고 산소량의 용착금속에서는 구 오스테나이트 입도가 감소되므로 GBF 핵생성에 유리한 더 큰 표면적이 형성되기 때문이라고 한다. T-5와이어 용착금속에서 AF생성이 더 많았던 것은 적당한 Mn원소의 함유와 T-1와이어에 비하여 현저히 낮은 산소량 때문으로 사료되며 T-5와이어를 2KJ/mm 입열조건에서의 용착금속은 앞에서 언급된 영향뿐만 아니라 AF생성에 적당한 냉각속도 때문에 고 분율의 AF를 갖는 미세조직을 생성했을 것으로 생각된다.

4.3 재열부 미세조직

다층패스용접부는 용접 패스가 연속적으로 용착된 것으로 Fig. 8과 같이 크게 주상정 영역과 재열부(reheated zone)로 특징될 수 있다. 이 후자는 다시 다층패스용접중 인접부가 AC₃이상의 온도(1350~900°C)에서 가열되는 범위에 따라 Fig. 9의 도식적 그림같이 조대입자 재열부(Coarse Grained Reheated Zone, CGRZ)와 미세입자 재열부(Fine Grained Reheated Zone, FGRZ)로 나누어지며, 이는 용접중 선행 용접부가 후행 용접패스를 용착할 때 도달한 온도 범위에 달려있다^{8, 14)}. Fig. 10은 상부 비이드 주상정 조직의 직하이며 고온 재열영역으로서 조대한 페라이트 입자들로 구성되어 있다. 이 입자 조대화 영역에서도 입열량이 증가하면 조대한 페라이트 입자가 점차 다각형화 및 조대화 되고 있다(Fig. 10(a) 및 (b)). 이들 재열부는 선행 용접부

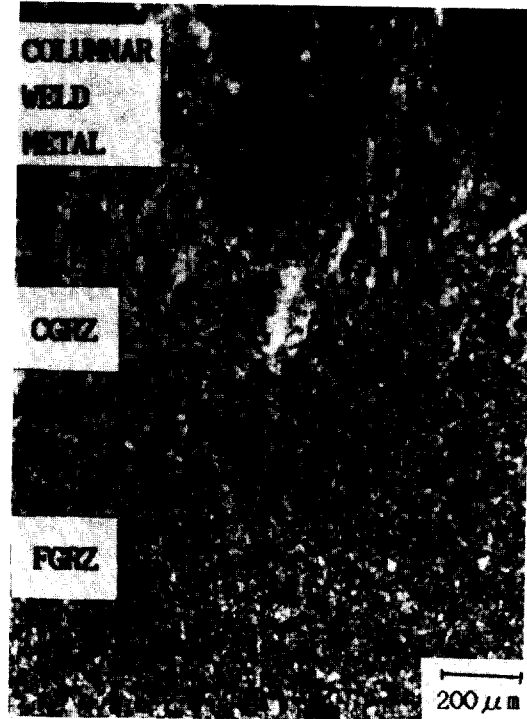


Fig. 8. A Photomicrograph of the Reheated Zone

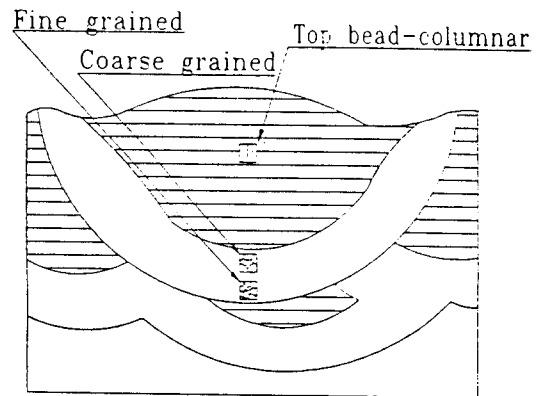


Fig. 9. Schematic Diagram of Top Bead and Adjacent Areas

이드의 주상정조직이 후행 용접 패스에 의하여 미세조직이 변화된 영역이며 용융선으로부터 점차 멀어짐에 따라 온도가 감소되므로 미세조직도 점차 미세화 된다. 후속 용접부 바로 밑은 앞에서 이미 고찰된 바와 같이 조대 입자 재열부가 되고 Fig. 10(a)와 같이 입열량 2KJ/mm에서 미세한 등축정

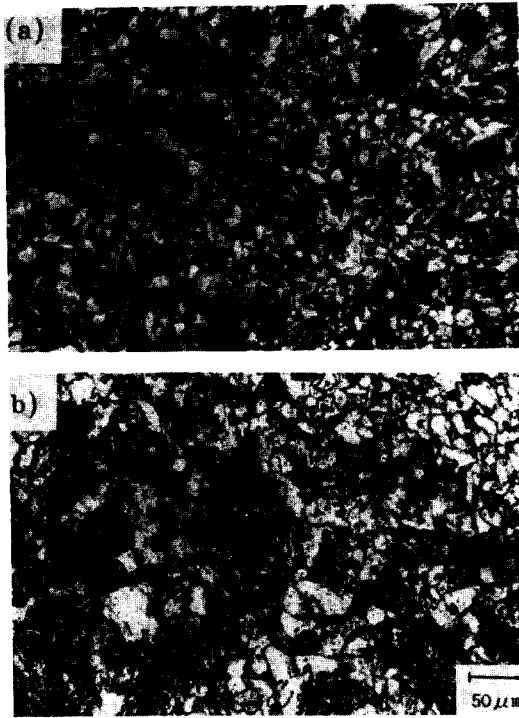


Fig 10. Photomicrographs of Grain-Coarsened Region in the Reheated Region As a Function of Heat Input (KJ/mm) (a) 2 (b) 3

페라이트와 다소 조대화 되기 시작한 페라이트가 동시에 존재하고 Fig. 10(b)는 입열량 3KJ/mm로 용착되어 생성된 재열조직으로 조대하고 다각형인 페라이트와 검은색으로 부식된 부분인 제 2상들로 구성되는 2중(duplex) 미세조직이 된다. 이 영역에 이어 900°C 이하의 온도범위영역에서는 미세입자 재열부가 된다.

Fig. 11에서 (a), (b) 및 (c)는 T-1 와이어로 다층패스 용착된 용접부에서 입자가 미세화된 재열부이고 Fig. 11의 (d), (e), (f)는 T-5 와이어의 미세입자 재열부이다. 두 재열조직에서 입열량이 증가할수록 미세조직은 더욱 조대하다. 이는 입열량이 증가함에 따라, 용접부는 고온에서 더욱 오랫동안 머무르게 되고 냉각속도가 감소되어 페라이트가 조대화여진 것이다. Fig. 11(f)와 같이 입열량 3KJ/mm에서는 더욱 조대하여 진다. 이와 같이 가장 조대한 페라이트 입자가 있는 재열부는 취성균열 발생에 가장 민감한 곳이 된다는 보고가 있으나¹⁴⁾, 일반적으로 용접부의 인성은 연속적으로 재열함으

로 개선^{8,12)}된다는 보고도 있으므로 이에 대한 규명의 연구가 수행되어야 할 것으로 생각된다.

4.4 경도시험 및 충격시험 결과

Fig. 12(a)와 (b)는 T-1 및 T-5 와이어를 사용하여 3가지 다른 입열량으로 용착된 용접부의 미소경도시험 결과이다. 두 와이어 모두에서 입열량이 증가 할수록 상부비이드의 경도는 감소 하였다. 이는 저 입열 (1KJ/mm) 경우 용접 최고 온도에서 유지시간이 짧기 때문에 냉각 속도가 급하므로 미세조직에서 고찰된 바와 같이 FSP와 상부 베나이트 및 페라이트-탄화물 집합체(ferrite-carbide aggregate) 등 경한 미세조직 생성 때문이다. 입열량이 증가함에 따라 경도가 낮아지는 것은 GBF 폭이 커지고, 점차 다각화되어 페라이트 분율이 증가됨으로 경한 미세 조직이 적기 때문으로 이는 미세조직에서 이미 고찰되었다. 산성 슬래그 플럭스 T-1 와이어 용접부의 경도가 염기성 슬래그 플럭스 T-5 와이어의 용접부보다 높은것은 고 산소량 때문에 Fig.1의 용착 금속 연속 냉각곡선을 오른쪽으로 이동하는 효과인 빠른 냉각속도 때문에¹²⁾ 다량의 베나이트와 탄화물이 생성되었기 때문으로 사료된다.

Fig. 13 두 와이어를 사용 3가지 다른 입열조건에서 용접된 용접부의 사르피 충격곡선이다. T-5 와이어 용접부의 충격치(흡수에너지)가 와이어 T-1 용접부의 것보다 훨씬 높다. 또 입열량이 2KJ/mm일때 충격치가 가장 높고 다음이 3KJ/mm이고 1KJ/mm에서 가장 낮다. T-5 와이어 용접부의 인성이 T-1과 비교하여 높은것은 AF생성에 최적량의 Mn 원소(1.2~1.4%)가 함유되어 있고 또 AF생성에 유리한 산소량 때문에 미세한 입자의 페라이트인 아시쿨러 페라이트가 더욱 많이 생성되었기 때문으로 생각되며, 2KJ/mm 입열의 용접조건에서도 AF가 가장 많이 생성될 수 있고 냉각조건 때문으로 인성이 높았던 것으로 사료된다.

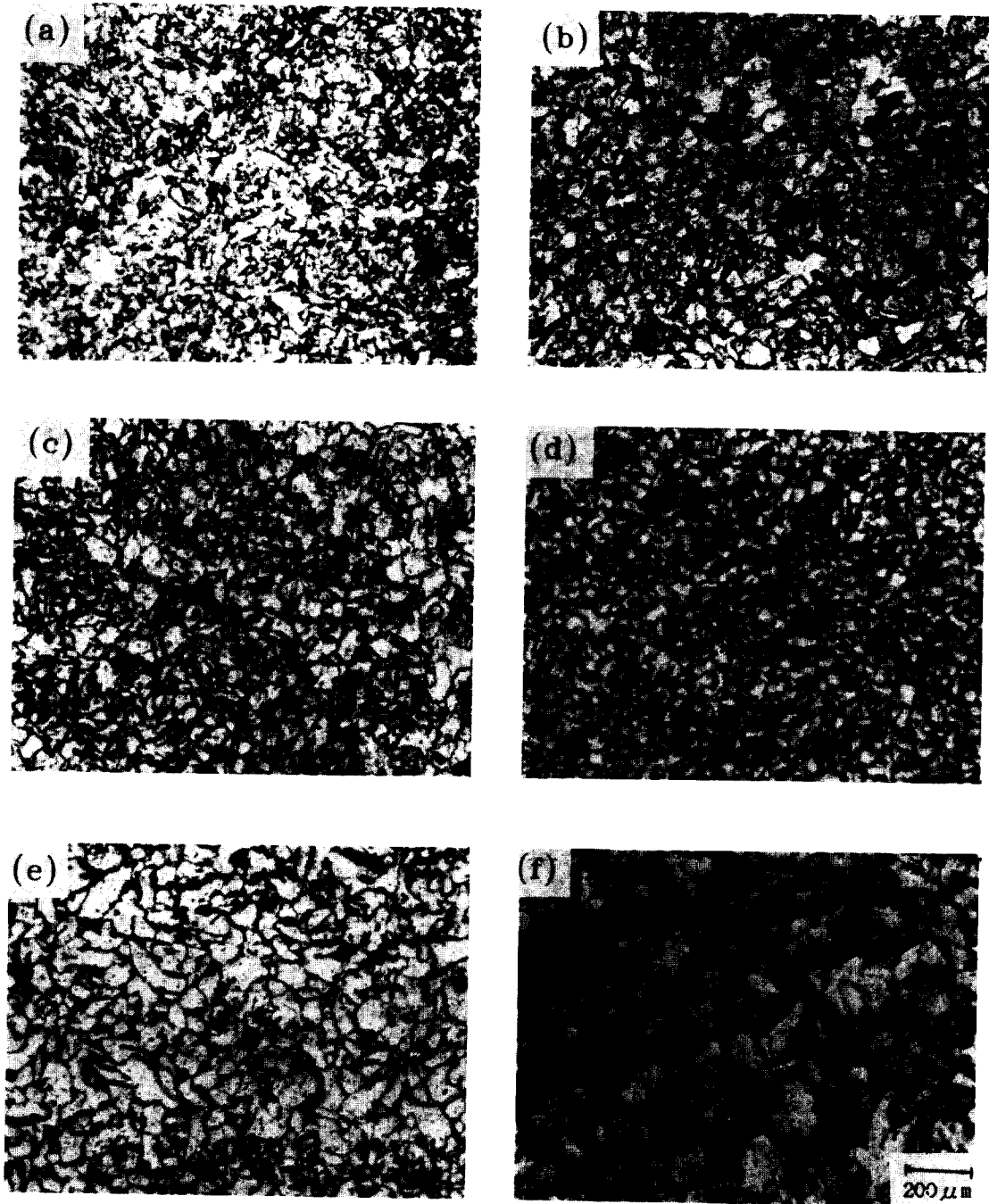


Fig 11. Photomicrographs of Grain-Refined Region in the Reheated Region As a Function of Heat Input (KJ/mm)

E71T-1 : (a) 1 (b) 2 (c) 3
E71T-5 : (a) 1 (b) 2 (c) 3

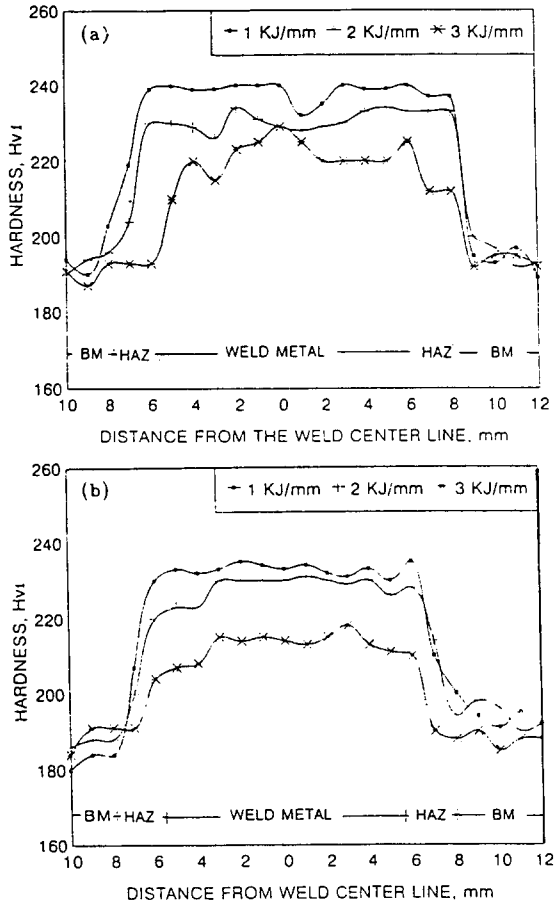


Fig 12. Hardness Profiles of Welds with (a) acid flux wire and (b) basic flux wire.

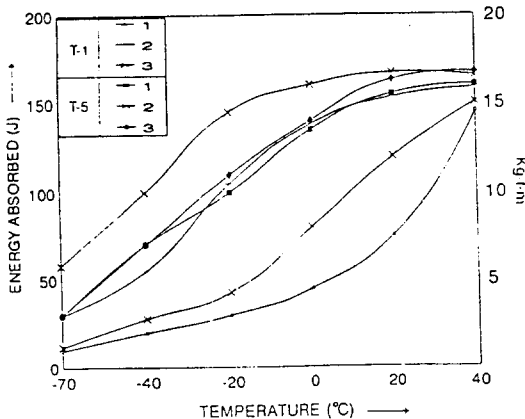


Fig 13. Effect of Heat Input and Flux Type on the Charpy V Notch Toughness on the Flux Cored Arc Welds.

5. 결 언

국산 FCAW용접용 와이어 AWS E71T-1과 T-5에 해당하는 두 종류의 와이어를 사용하여 C-Mn강을 용접했을 때 용접특성을 비교하였고, 입열량을 1, 2, 3KJ/mm로 변화시켜 주요원소와 산소량이 용착금속의 미세조직과 인성에 미치는 영향을 조사 하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1. CO₂ 보호가스 분위기하에서 T-1와이어로 용접할 때 T-5와이어와 비교하여 아크 안정성이 있어 소음이 적었고 비이드 퍼짐성이 양호하였으며, 스파터가 적고 슬래그 제거가 용이하였다.

2. 다층 용접부의 상부 비이드의 미세조직은 입열량이 증가함에 따라 GBF가 조대하여지고 FSP가 크고 두꺼워졌으며, 특히 GBF가 분리되어 다각형 화되고 전체 미세조직에서 페라이트 분율이 증가되었고 미소경도가 감소되었으며 이는 느린 냉각 속도 때문이었다. 2KJ/mm 입열조건에서 두 와이어 모두에서 AF가 가장 많이 생성 되었다. T-5 용착금속에서 더 고분율의 AF가 생성되었다.

3. 다층 패스 용접 비이드에서 미세입자 재열 조직은 다각형 페라이트와 탄화물등 제2상으로 구성되었고, 입열량의 증가에 따라 페라이트 입자가 조대하여 졌으며, T-5와 이어는 T-1와이어와 비교하여 고 입열에서는 페라이트 입자가 훨씬 더 조대하여 졌다.

4. 염기성 슬래그플럭스인 T-5와이어로 용착된 용접부의 충격인성이 산성 슬래그플럭스 T-1 용접부 보다 사르피 충격인성이 훨씬 우수하였다. 이는 용착금속에서 더 많은량의 아시클러 페라이트가 생성되었기 때문이었다.

6. 후 기

본 실험에 사용된 와이어를 공급하여준 현대중합금속(주)과 한국알로이로드(주)에 감사드립니다. 이 논문은 1992년도 교육부지원 한국학술진흥재단의 자유공모과제 학술연구조성비에 의하여 연구가 수행되었으므로 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Schuster, J. and Gentzsch, O. : The Welding of fine-grained structural steels for operating temperatures low as -60°C with reference to MAG filler 6 NiMnSi 9.4, *Welding International*, No. 9, (1989), pp. 805~809
2. Eckhard Tilgner : Flux cored arc welding—the state of the art and current applications *Welding International*, No. 2, (1987), pp. 188~191
3. Zimmerman, T. and Schmerling, D. : Economics of small diameter flux cored electrodes, *Welding Journal*, Vol 62, No. 4, (1989), pp. 41~44
4. Committee of Weld. Metall. of JWS : Classification of microstructures in low C—low alloy steel weld metal and terminology, IX—1282—83
5. Ito, Y. and Nakanishi, M. : Study on charpy impact properties of weld metal with submerged arc welding, *IIW Doc. X11—A—113—75*.
6. Garland, J. G. and Kirkwood, P.R. : Microstructural and toughness control in low carbon weld metals, *Metal Construction*, Vol. 27, No. 7, (1975), p. 320
7. Levine, E. and Hill, D.C. : Toughness in HSLA steel weldments, *Metallurgical Transactions*, Vol. No. 6, (1977), p. 320
8. Ito, Y., Nakanishi, M. and Komizo, Y. : Effect of oxygen on low carbon steel weld metal, *Metal Construction*, Vol. 61, No. 9, (1982), pp. 472~478
9. Evans, G.M. : The effect of manganese on the microstructure and properties of weld metal deposits, *Welding Journal*, Vol. 59, No. 8, (1980), p. 67s
10. Dolby, R.E. : Factors controlling weld toughness—The present part 2 weld metal, *Weld. Inst. Res. Rep 14/1976/M*, p. 86
11. Lathabai, S. and Stout, R.D. : Shielding gas and heat input effects on flux cored weld metal properties, *Welding Journal*, Vol. 58, No. 11, (1987), pp. 303~313.
12. Liu, S. and Olson, D.L. : The role of inclusions in controlling HSLA steel weld microstructures, *Welding Journal*, Vol. 65, No. 6, (1986), pp. 139s~149s
13. Glover, A.G., McGrath, J.T., Tinkler, M.J., and Weatherly, G.C. : Fracture toughness of submerged arc weld metal, *Welding Journal*, Vol. 56, No. 9, (1977), p. 267s
14. Chen, J.H., Xia, T.D. and Yan, C. : Study on impact toughness of C—Mn multilayer weld metal at -60°C , *Welding Journal*, Vol. 72, No. 1, (1993), p. 19s
15. Stout, R.D., McLaughlin, P.E., and Strunk, S.S. : Heat treatment effects of multipass welds, *Welding Journal*, Vol. 48, No. 4, (1969), pp. 115s~160s
16. Mori, N., Homma, H., Okita, S. and Wakabayashi, M. : Mechanism of notch toughness improvement in Ti—B bearing weld metals, *IIW Doc. 10—1196—81*.
17. Grong, O., Siewert, T.A. and Edwards, G.R. : Factors controlling MIG weld metal chemistry, *Welding Journal*, Vol. 65, No. 11, (1986)
18. Cochrane, R.C. : Influence of inclusion morphology on microstructure and toughness of SA weldments, *Welding in the World*, Vol. 21, No. 1/2, (1983), pp. 16~24.
19. Fleck, N.A., Grong, O., Edwards, G.R. and Matlock, D.K. : The role of filler metal wire and flux composition in submerged arc weld metal transformation kinetics, *Welding Journal*, Vol. 65, No. 5, (1986), pp. 113s~121s.