

Flux Cored wire의 특성 및 사용상의 유의점

김 경 중*

서 언

오늘날 산업발달에 따라 용접은 필수적인 가공기술로 대두되고 있다. 여기서 용접에 대한 개념을 살펴보면 다음과 같다.

“熔接(Welding)은 接觸코져 하는 두개 이상의 물체나 材料의 接合部分을 溶融 또는 半溶融상태로 하여 직접 접합시키거나 또는 접속코져 하는 두 물체 사이에 溶加材를 첨가하여 간접적으로 접합시키는 작업을 말한다”라고 정의되고 있다.

재료의 접합방법에는 기계적 방법과 야금적 방법이 있다. 기계적방법은 bolt, rivet, key 등으로 연결하는 방법이며 야금적방법에는 용접법이 있다. 이중 현재 사용되고 있는 용접법을 대별하면 다음 3종류가 있다.

(1) 融接(Fusion Welding)

접합하고자 하는 물체의 접합부를 가열용융시키고 여기에 溶加材를 첨가하여 접합하는 방법이다.

(2) 壓接(Pressure Welding)

접합부를 冷間狀態 그대로 또는 적당한 온도로 가열한 후 여기에 기계적 압력을 가하여 접합하는 방법이다.

(3) 납땜(Brazing and Soldering)

모재를 용융시키지 않고 별도의 용융금속을 접합부에 넣어 용융접합시키는 방법이다.

강제 가공기술의 하나인 용접기술은 厚板의 용접을 주축으로 하여 국내산업의 발전과 함께 발전해나왔다.

특히 아아크용접법, 아아크용접재료에 관해서는 각종 피복아아크 용접봉, Submerged arc 용접봉

Bonded Flux, One Side Welding법, Electroslag, Electrogas등의 고능력 용접법 및 재료의 개발과 Flux Cored Wire를 중심으로한 반자동 용접의 적용 확대등으로 용접기술이 향상되어져 나왔다.

현재는 국내산업발달과 작업현장 여건의 변화등으로 인하여 노동집약적 산업형태로부터 기술집약형 산업형태로 바뀌어져 가고 있으며 이에 수반되는 것이 자동화 system임에 따라 자동, 반자동 용접의 채택이 급격히 증대되고 있는 실정이다.

여기서는 이러한 용접기술의 동향과 최근 발전되고 있는 Flux Cored Wire에 대하여 기술하고자 한다.

1. Flux Cored Wire의 발전경위

우리나라는 최초 조선업계에서 1970년대 말부터 사용을 시도해 본 후 그 사용량이 점점 증가 되어 1986년도부터 급격히 사용량이 증가되었다.

그러나 이 Wire는 전량 수입에 의존하여 왔으며 특히 거의 전량을 일본으로부터 수입하여 왔다. 이에 따라 국내 재료제조업체는 재료 국산화를 위하여 기술도입을 시도하였으나 기술이전의 회피로 인하여 국산화가 늦어져 왔었다. 최근 1986년말부터 순수 국내 기술진에 의한 개발에 의하여 국산화가 이루어 졌으며 최근에는 점차 수입대체효과를 높이고 있다.

여기서 全熔接材料의 사용량중 Flux Cored Wire의 대체추세를 알아보기 위하여 참고로 가까운 일본의 발전경위를 살펴본다. 우리나라의 발전여건 및 그 경로가 일본의 전철을 참고 있기 때문에 도움이 되리라 생각되기 때문이다.

일본에서 과거 10년간의 용접재료 생산량 및 생산비율추이를 보면 <그림 1>과 같다.^{1),2)}

* 한국기계 연구소, 용접야금실

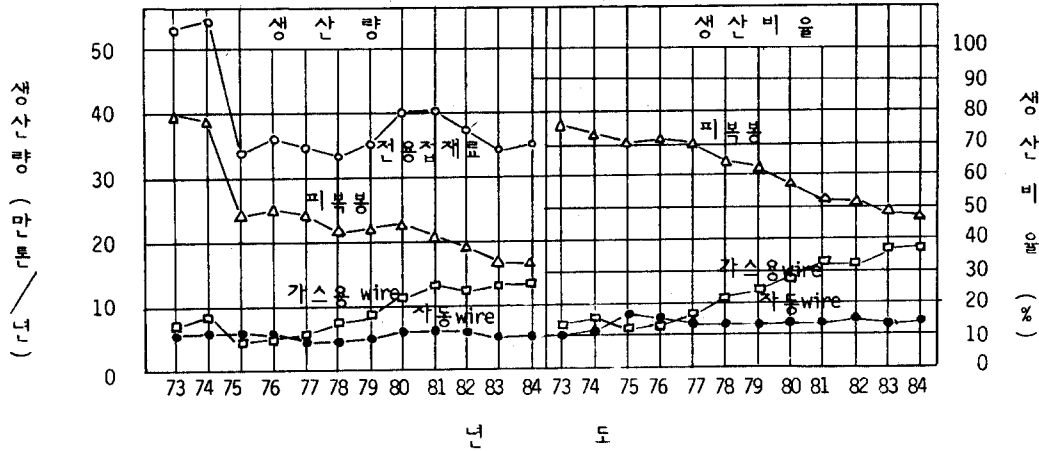


그림 1. 일본에서의 용접재료 생산추이

그림에서 보듯이 용접재료의 구성비는 크게 변하고 있다. 즉, 피복 아아크 용접봉은 격감되고 있으며, 특히 81년도부터는 50%를 밑돌고 있다. 반면에 Gas Shielded 아아크 용접 Wire가 증가경향을 보이고 있다.

특히 Gas Shielded 아아크 용접 Wire만을 별도로 하여 생산추이를 조사한 결과는 <그림 2>와 같다.

Gas Shielded 아아크 용접 Wire 중에서도 Solid Wire가 약 1만ton/월 정도의 생산량을 유지하고 있는데 비하여, Flux Cored Wire의 생산량은 약 2,600

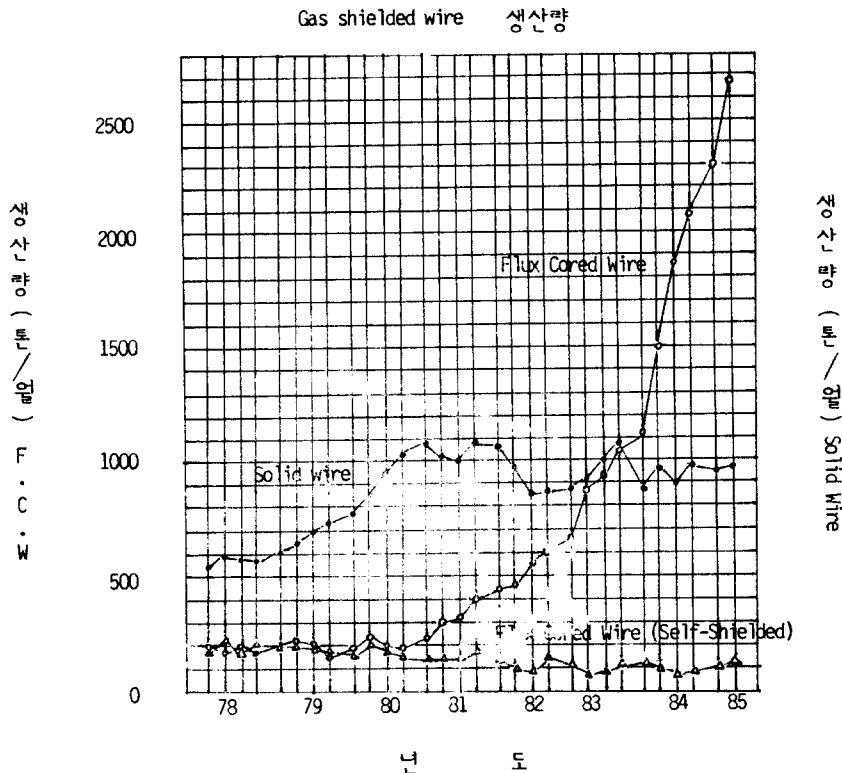


그림 2. 일본에서의 Gas Shielded Arc 용접용 Wire의 생산추이¹⁾

ton/월에 달하고 있고, Gas Shielded 아아크 용접용 Wire중 약 20%를 점유하고 있다.

특히 1979년도 이래 細徑 Wire 1.2#, 1.4#가 개발되어 조선소에 적용되므로써 급격히 사용량이 증가되고 있다. 그 이유는 조선업체가 Oil Shock 이후 新造船의 건조감소 및 대형 Tanker건조로부터 중소형 다기능 船 건조에로의 변화에 따라 조선소의 용접합리화가 요구되었으며, 전자세 용접용 細徑 Flux Cored Wire의 개발에 의한 것으로 보인다.

조선소로부터 사용하기 시작한 Flux Cored Wire는 최근 해양구조물, 건축, 교량, 화학기계등 용접업계에 넓게 이용되고 있다.

2. Flux Cored Wire의 구조와 특성

Flux Cored Wire의 구조는 대강의 Strip을 원통형으로 만들고 그 내부에 Flux를 충전시킨 것으로 그 제조공정은 <그림 3과> 같다.

내부의 충전 Flux에 의하여 Solid Wire로 작업하는 것 보다는 우수한 특성을 가지고 있다.

내부에 충전된 Flux의 주된 역할을 살펴보면

- 1) Arc의 안정
- 2) Bead형상의 整形
- 3) Slag-Metal 반응에 의한 용융지의 浮化作用
- 4) Slag 및 gas에 의한 shield 작용

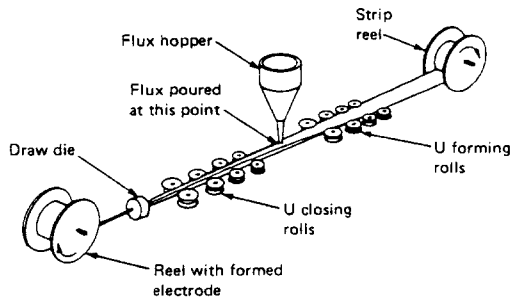
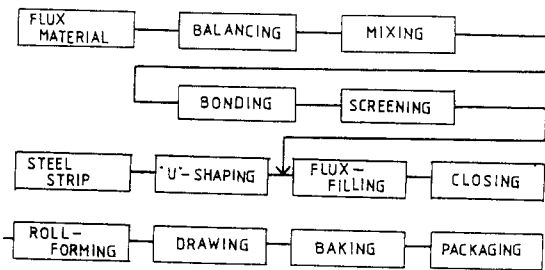


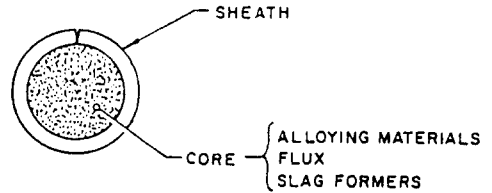
그림 3. Flux Cored Wire의 제조공정(I)

5) 용융지의 서냉작용 등이 있다.

현재 국내에서 사용되는 Flux Cored Wire는 대부분이 Titania계 Wire로서 이들은 상기 열거된 1) 2)항의 효과가 특히 뛰어나며, 용접 작업성이 양호하다.

다음 <표 2>는 Flux Cored Wire와 Solid Wire의 특징을 비교한 것이다.

여기서 알 수 있듯이 Flux Cored Wire는 용접 작업성에 중점을 둔것 외에도 기계적성질이 우수한 점을 갖고 있으므로 용접산업에서의 공수 절감에 크게 기여하고 있다.



Cross-section of a Flux Cored Wire

Section	Symbol	Description
		Seamless cored wire
		Abutting cored wire
		Lapped cored wire
		Single-folded cored wire
		Multifolded cored wire
		Double-folded cored wire

그림 3. Flux Cored Wire의 단면형상(II)

표 2. Flux Cored Wire와 Solid Wire의 특징 비교³⁾

항 목	Flux Cored Wire	Solid Wire	
용 접 작 업 성	Bead형상, 외관	명활하고 아름답다	○
	용적의 이행	미세립상 이행	○
	Arc의 안정성	극히 양호	○
	Arc의 소리	Soft	○
	Spatter의 발생량	소립으로서 적다	○
	Slag의 도포성	균일하게 덮는다	○
	Slag의 제거성	양호	○
	용입의 깊이	보통	○
	Wire의 송급성	약간 불량	○
	Fume 발생량	약간 많다	○
전자세 용접성	양호	○	
용 접 성	인장강도 (kg/mm ²)	55-58	—
	충격값: $\sqrt{E_0}$ (kgf. m)	보통(8-10)	○
	확산성수소량(cc/100gr)	저수소(2-4)	○
	내균열성	보통	○
	X선성능	우수	○
능률경제성	용착속도(동일전류일 경우)	극히 빠르다	○
	용착효율(%)	보통(83-87)	○
	Slag, Spatter의 제거	쉽다	○
	적용 전류 범위	넓다	—

3. CO₂ Shielded Flux Cored Wire의 특성

Flux Cored Wire는 외부에서 Gas를 Shielded해 주는 Gas Shielded Type과 필요로 하지 않는 Non-Shielded Type으로 분류되며 각각 충전 Flux의 특성에 따라 염기성, 중성, 산성(티타니아계)계로 나누어진다.

물론 다시 용도별로 각각 연강용, 고장력강용, 저합금강용, stainless 강용, 경화육성용등으로 나누어진다.

본절에서는 국내에서 다량 소모되고 있는 CO₂ Shielded Flux Cored Wire에 대하여 살펴보고 다음 절에서 Non-Shielded Type에 대하여 언급하고자 한다.

3.1 용착속도

CO₂ Shielded Flux Cored Wire와 Solid Wire의 용착속도에 대한 측정결과는 <그림 4>와 같다.⁴⁾

같은 용접전류에서 Flux Cored Wire의 용착속도가 약 10%정도 높다. Wire의 용용에 대한 열 전도

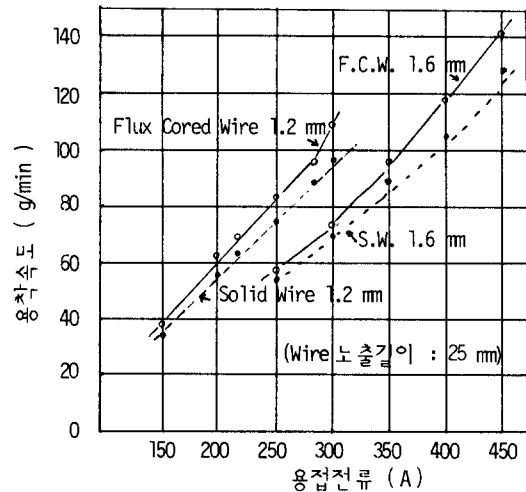


그림 4. 용착속도 측정결과 (예)

론적 해석⁵⁾에 의하면 Flux Cored Wire의 용용속도 용착속도는 용접전류, Arc 전압, Wire 노출길이, Wire Hoop의 성분, Flux 충전율등에 의하여 변하게 된다.

Solid Wire와의 큰 차이점은 전류의 흐르는 經路가 외피 금속을 통하여 주로 흐르기 때문에 전류밀

또 Slag의 작용에 의하여 입향상진, Overhead자세도 고전류로서 용접이 가능하다는 점이다.

3.2 Spatter의 발생량과 Bead 외관

Flux Cored Wire는 충전 Flux의 작용에 의하여 Arc가 안정되어 진다. 따라서 Smooth한 溶滴移行과 용융 pool의 淨化작용을 하여 Spatter의 발생량을 극히 감소시킨다.

〈그림 5〉는 Spatter의 발생량과 크기에 대하여 Solid Wire와 비교한 예이다. 4) Flux Cored Wire는 전전류범위에서 Spatter의 발생량이 적고 부착량도 적음을 알 수 있다.

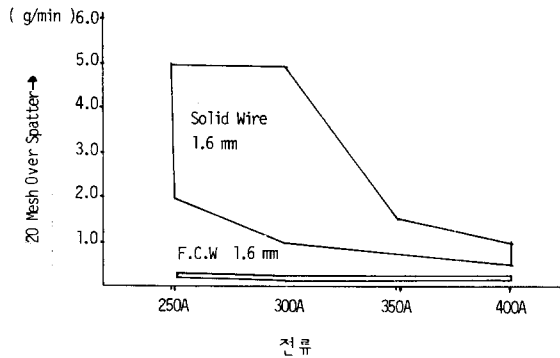


그림 5. Spatter 발생량 (예)⁵⁾

Bead 외관은 Titania type의 Wire인 경우, 고용점의 Slag가 용융금속의 표면을 덮어 용융금속을 지지해 양호한 bead외관을 형성한다.

3.3 Fume 발생량

〈표 3〉은 Gas Shielded Arc용접 Wire에 의한 용접 fume의 화학조성 일예이다. 4)

〈그림 6〉은 충전 Flux의 성분과 fume발생량과의 관계를 나타내고 있다. 7)

fume 발생량은 Wire의 종류, 용접조건등에 따라므로 합금강의 용접에 널리 이용되고 있다.

탄소강에 적용되는 Wire의 성능 일예를 다음 <표

표 3. Gas Shielded용접 Wire의 fume 조성예⁴⁾¹⁰⁾

Wire의 종류	Wire dia. (mm)	fume조성 (%)										
		Fe ₂ O ₃	SiO ₂	MnO	Al ₂ O ₃	CuO	ZnO	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
Soild Wire	1.2	66.9	8.6	10.4	0.7	0.4	0.6	tr	—	—	—	—
Flux Cored Wire	1.6	58.9	10.2	10.7	2.7	—	—	2.7	—	1.2	9.2	0.9

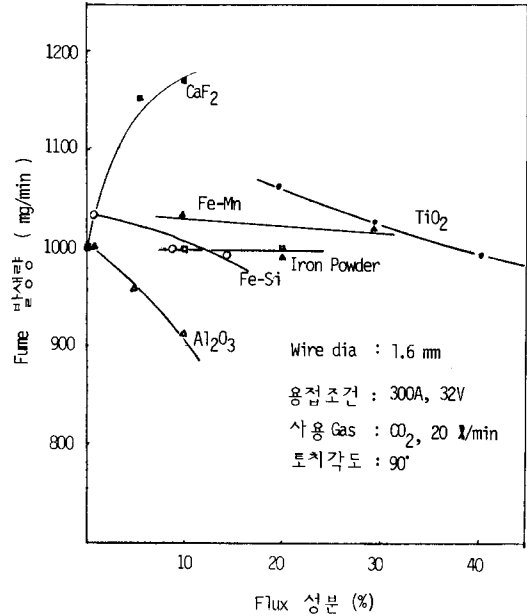


그림 6. 충전 Flux와 fume 발생량과의 관계⁷⁾

달라지나 일반적으로는 Flux Cored Wire가 Solid Wire에 비하여 많다. 그 이유는 TiO₂, Al₂O₃, Fe-Si 등 fume의 원인이 되는 Flux를 가지고 있으며, 동도가 상당히 높다는 점이다.

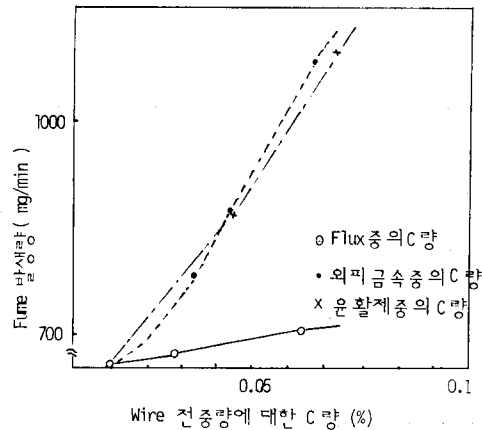


그림 7. fume발생량과 탄소량과의 관계⁸⁾

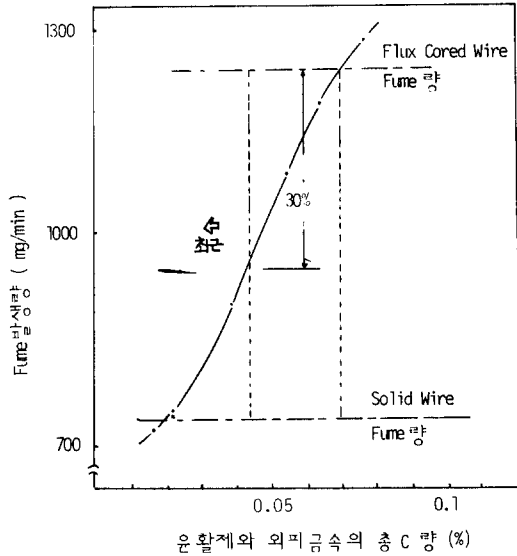


그림 8. 외피금속과 운활제중의 탄소량과 fume발생량의 관계⁹⁾

Fume Type의 Wire가 실용화되고 있다.

3.4 적용강재

용접작업성이 우수한 Flux Cored Wire는 각종 구조물의 용접에 그 적용이 확대되고 있다.

강종으로는 연강, 50kgf/mm²급 고장력강, 60kgf/mm²급 고장력강, 저합금 내열강, 내후성강, stainless강, 경화용성용재등 여러강종에 응용되고 있으며 특히 Solid Wire에 비하여 합금제의 첨가가 용이하

표 4. 탄소강용 Flux Cored Wire의 성능예⁹⁾

용 도	AWS Spec.	Shielded gas	Wire Size (mm)	용착금속의 화학성분(%)						기계적 성질					
				C	Mn	Si	P	S	Ni	인장시험			충격시험		
										Y.P	T.S	EL	0°C	-30°C	-60°C
50kgf/mm ² 급 강용 Wire	E71T-1	CO ₂	1.2 1.4 1.6	0.05	1.35	0.45	0.013	0.010	—	(kgf/mm ²) (%)			(kgf.m)		
	E71T-1	80% Ar 20% CO ₂	1.2 1.4 1.6	0.05	1.17	0.46	0.010	0.010	—	52	59	28	11	—	—
저온강용 Wire	E71T-5	CO ₂	1.2 1.4 1.6	0.05	1.27	0.46	0.013	0.010	0.30	51	58	28	12	10	—
	E71T-5	CO ₂	1.2 1.4 1.6	0.05	1.40	0.35	0.013	0.009	0.32	52	58	28	16	13	—
	E80T1-K2	CO ₂	1.2 1.4 1.6	0.05	1.37	0.30	0.012	0.009	1.43	52	59	27	13	12	10
	E80T1-K2	80% Ar 20% CO ₂	1.2	0.05	1.39	0.29	0.013	0.009	1.45	51	59	28	15	13	10

4)에 나타내었다.

Gas Shielded Flux Cored Wire는 상온에서 작업성이 양호한 특성을 가진 것 외에 -20°C, -60°C까지의 저온에서 사용할 수 있는 Wire까지 개발사용되어져 나오고 있으며, Shielded Gas의 종류도 CO₂ 100% 외에 80% Ar+20% CO₂용재로도 개발되고 있다.

4. Non-Shielded Flux Cored Wire의 특성

4.1 Non-Shielded Arc용접의 필요조건

Non-Shielded Arc 용접은 Arc 용접의 이상적인 형태로서 용접기술자의 관심을 모았다. 그러나 Non-Shielded Arc용접은 외부로부터의 공기혼입에 대한 차폐 효과가 자체에서 이루어지는 즉 공기와 직접 접촉할 가능성이 많은 가혹한 조건에서 용접되므로 용착금속의 기계적 성질이 떨어지는 단점이 있으나 이를 개선하여 현재는 고급강종에도 적용할 수 있게 발전해 오고 있다.

Non-Shielded Arc용접이 갖추어야 할 필요조건은 다음 3개가 열거된다.¹¹⁾

- 1) 교류 전원의 사용이 가능할 것.
- 2) 전자세 용접이 가능할 것
- 3) 고능률로서 내충격성이 양호할 것

일 용접조건에서 용용속도가 큰 점이다.

따라서 최근에는 Flux조성의 조정외에 Wire의 제조시 사용되는 Hoop의 화학조성에 의한 저 Fume의 Wire가 개발되어 있고 Solid와 Wire와 거의 같은 저

1) 교류전원은 우선 전력요금이 싸고 수동용접의 전원을 그대로 이용할 수 있으므로 수동용접을 자동용접으로 간단히 전환시킬 수 있다. 또 용접시 磁氣 불림 등의 염려가 없다.

2) 전자세 용접은 반자동 용접으로의 발전을 위해 서는 절대적으로 필요한 조건이다.

3) Non-shielded Arc용접은 주로 옥외 용접용이고 또 대형구조물에 많이 사용되므로 고전류를 사용하게 되고 따라서 고농축이 된다. 여기에 수반되는 용착금속의 내충격성이 필수적으로 요청된다.

4.2 Non Shielded Arc용접의 원리

Wire를 대기중에서 용접하면 용착금속에 기공이 많이 생기고 취약하게 된다. 그 원인은 공기중 약80%를 차지하는 질소가 원인이다. 따라서 이 질소에 의한 기공의 생성을 방지해야 한다. 용착금속의 기공은 산소와 탄소의 반응에 의하여 생성된 CO gas 및 N₂Gas에 의한 것이 일반적이다.

또 수소 Gas의 경우는 다량일 경우 기공의 원인이 되나 일반적으로는 기공을 발생할 수 있는 분압에 도달되지 않는다.

공기중의 질소 및 산소가 과산화되어 용융지에 용해되어 응고되면 다음 (1), (2)반응에 의하여 생성된 Gas가 용착금속중에 잔류하여 기공이 된다고 생각된다.



<그림 9>와 같이 Fe중의 질소의 용해도는 온도에 따라 큰 차이가 있다.

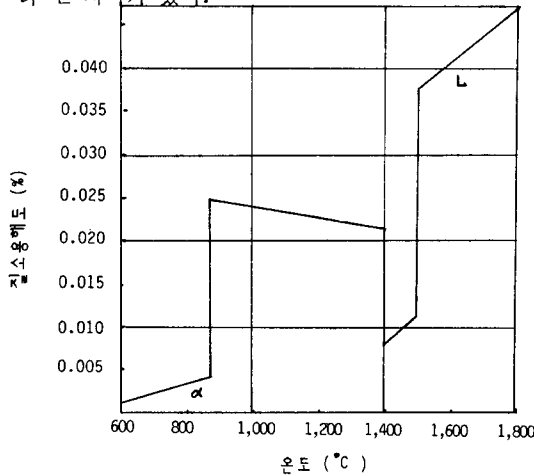


그림 9. 순철의 질소 용해도(1 atm)

응고시 CO Gas뿐만아니라 질소 Gas도 기공생성에 큰 원인이 된다는 것을 알 수 있다.

여기서 이 기공을 적극적으로 방지하는 수단으로서 다음과 같은 방법이 있다.

1) Flux중에 Gas화 혹은 증발하기 쉬운 성분을 배합한다.

이들은 Arc열에 의하여 분해 혹은 증발되어 Gas 및 증기가 되어 Arc 분위기중의 공기 분압을 낮추며, 용융지를 의기로부터 보호한다.

2) 강력한 탈산제 및 질소 固定劑를 Flux에 배합한다.

3) Arc 안정제를 Flux 중에 배합하여 Arc를 안정화시켜 용융지에의 공기 침입을 낮춘다.

따라서 Flux중에 Mg, Al등의 합금을 적당량 첨가하면 용착강의 기공 및 Pit를 막을 수 있다.

그것은 철의 용융점보다 낮은 비점을 가진 원소 또는 합금이 Arc열에 의하여 폭발적으로 다량 증발하게 되어 용융지를 보호하는 Shielded효과를 나타내기 때문이다. 따라서 매기의 산소, 질소 및 습기의 혼입을 방지할 수 있게 된다.

Arc분위기에서 질소의 혼입이 쉬운점은 N₂가 Arc열에 의하여 원자상 질소 N으로 해리되며, 이 원자상 질소가 분자상 질소보다 Energy상태가 높기 때문에 용강에 쉽게 용해되기 때문이다.

좀더 적극적인 방법으로서 탈산의 경우와 같이 질소 gas와 어떤 첨가된 원소에 의하여 우선 질화물로서 고정하여 脫窒하는 방법이다.

질화물 생성은 Zr은 가장크고 다음 Ti, Al 순이다. 산화물의 생성에 있어서도 이러한 원소는 산소와의 친화력이 상당히 크므로 우선 산소와 결합하고 그 일부가 질소와 결합한다.

따라서 Flux중에 이러한 원소 및 합금을 충분히 배합시키면 공기중에서도 기공없이 건전한 용접을 할 수가 있다.

4.3 전자세 용접¹²⁾

전자세 용접은 용접기의 성능에 따라 좌우된다.

<표 5>는 용접기와 전류범위, 적용용접 자세를 비교하였다.

표 5. 각종 용접기와 용접자세의 비교

용 접 기	전원	용접전류범위 (A)	용접자세
Are 길이 직접제어방식	교류	250-600	하향, 횡향
SCR 제어방식	교류	100-600	하향, 횡향
정속 송급방식	직류	200-600	하향, 횡향

상향 및 입향자세의 용접에는 용접전류를 200A 이하로 낮추어야하므로 SCR 방식이외는 전자세 용접이 불가능하다.

또 전류의 종류(교류, 직류)에 있어서도 교류를 사용하는 것이 전류범위가 넓고 고전류까지 사용할 수 있으므로 능률적이다.

이때 자세별 전류범위는 평향용접 100-500A, 입향자세는 100-200A, 상향자세는 100-300A이다.

평향 용접의 경우 조선, 교량등 적용부위가 많고 토목, 건축등 현장용접에서 능률향상을 위하여 반자동 용접 채택이 늘어나고 있으며, 이러한 곳에서는 Non-Shielded type의 채택이 적절하다.

Non-Shielded Arc 용접의 용착금속은 모재와 대단히 비슷해 Undercut, Overlap등 용접결함이 적다. 또 裏波용접에 적당한 특징을 갖고 있으므로, 이에 대한 평향편면(橫向片面)熔接이 연구되고 있다.¹³⁾

4.4 Charpy V-notch 충격시험

Non-Shielded Arc 용접은 공기중의 질소 및 산소가 다량 용용금속에 침입되므로 산소 및 질소와 강력한 친화력을 가진 원소를 Flux 내에 충전시켜 산소 및 질소를 固定시켜 탈산 및 탈질을 강력히 하지 않으면 안된다. 이 산소 및 질소의 固定劑로서 Zr, Ti, Al이 있다. 이중 Zr 및 Ti는 용접작업성 및 용접금속의 성질을 현저히 나쁘게 하므로 주로 Al이 사용되고 있다.

이에 대해서는 Non-Shielded Arc 용접의 원리 항목에서 자세히 언급 하였다.

Al은 용착금속의 Blowhole방지를 위해 적어도 용착금속에 0.9% 이상 함유되어야 한다.¹⁴⁾

Al이 많아지면 脆化되어 연성이 떨어지나 Ni을 첨가하여 개선하고 있다. 더우기 다층 용접인 경우, 다음층에 의하여 열영향을 받아 柱狀晶이 파괴되어, 미세한 結晶粒으로 된다. 이때문에 충격치가 향상된다. 그 정도는 Al 함량에 따라 좌우되며, Al함량이 많아질수록 급격히 그 효과는 감소된다.

<그림 10>는 Al함량과 충격치와의 관계를 나타낸 것이다.

Al함량이 1.0-1.3% 내에서는 0°C에서 5kgf.m 정도이므로 조선용 D급강(0°C에서 4.8kgf.m 이상)의 용접에 적용가능하다.

이상과 같이 Non-Shielded Arc용접은 Al을 다량 함유한 Wire를 사용하므로 鋼을 용접할 때 희석의 영향을 받기 쉬우며 厚板鋼의 용접시, 용접층이 많

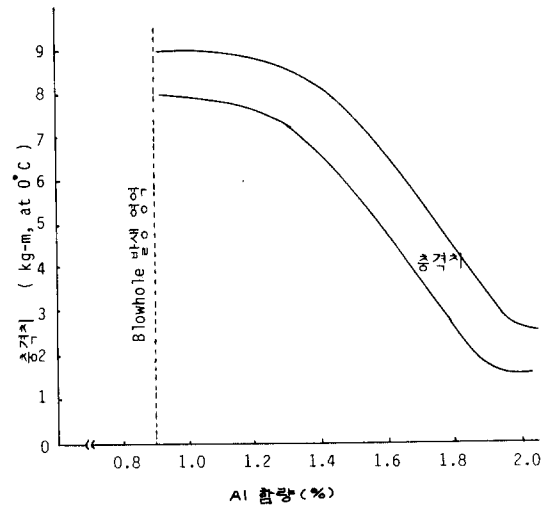


그림 10. 용착금속의 Al량과 충격치와의 관계

을수록 Al함량이 증가한다.

그러나 Wire노출길이를 길게하면 용착량을 증가시켜 모재의 희석율을 감소시켜 Wire의 Al 함량을 저하시킬 수 있다.

더우기 후판을 다층 용접할 경우, 능률을 향상시킬뿐 아니라 용착강의 Al함량증가를 억제시킬 수 있다.

<그림 11>은 A Wire(Al 함량이 적다) 및 B Wire (Al 함량이 많다)를 사용하여 각각 노출길이 80mm, 20mm로 용접하였을때 용접층수와 최종층의 Al량 관계를 나타낸 것이다.

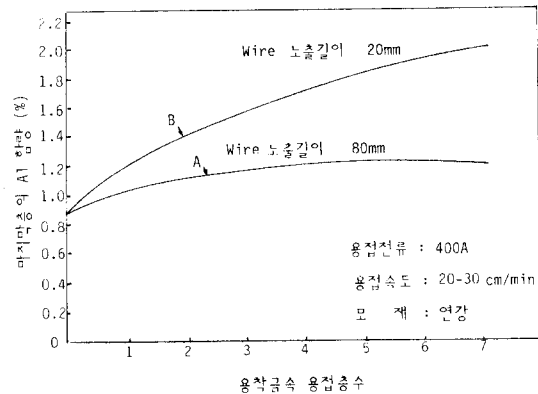
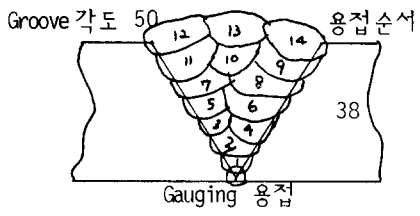
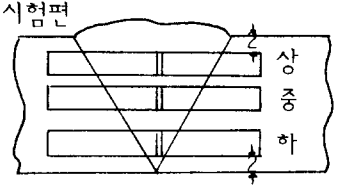


그림 11. 용착금속의 Al량과 노출길이와의 관계

이와같이 노출길이를 80mm로 했을 경우 다층 용접용착금속의 Al함량을 1.3% 정도 유지할 수 있다. 1.3%면 Blowhole의 발생이 억제된다.

표 6. Non-Shielded Wire의 용접조건 및 충격시험 결과

						
Pass	전 류	전 압	용접속도: 30-35 cm/min 노출길이: 70mm 전 원: A.C			
1-2	300A	29.5				
3-6	400A	31.5				
7-14	500A	33.0				
충격 시험 결과						
위 치	0°C 충격값 (kg-m)					평 균
상	5.2	5.4	4.4	5.7	5.7	5.3
중	6.6	7.7	6.6	9.1	7.4	7.5
하	5.9	6.2	5.8	5.2	6.5	5.9

따라서 현재는 고충격치용 Wire(특수 Tip을 사용하여 노출길이를 60-80mm로 유지하여 용접한다)와 일반용 Wire의 2종류가 시판되고 있다.

〈표 6〉은 조선용 강관에 Non-gas shielded Arc 용접을 한 경우, 용접조건 및 용접금속의 충격 시험 결과를 나타낸 것이다.

0°C의 충격치는 4.8kgf. mm를 만족하고 있다.

4.5 Non-Shielded Arc 용접의 특징

- 1) CO₂, Ar 등 Shielded gas가 필요없이 대기중에서 용접이 가능하다.
- 2) CO₂, Gas Shielded Arc 용접때보다 바람, 습기에 대하여 둔감하다.
- 3) Flux의 성분조정에 의하여 합금성분 첨가가 쉽다. (합금강, Stainless강, 경화육성 용접이 가능)
- 4) 용접 장치가 간단
- 5) 옥외에서의 작업이 가능

4.6 Non-Shielded Arc 용접의 將來

Non-Shielded Arc 용접에 대한 앞으로의 개발과제는 다음과 같이 열거된다.

- 1) Fume 발생량의 감소

- 2) 용착강의 Al함량 감소
- 3) 고속용접
- 4) 수동용접의 대체

1. 충진 Flux의 원료를 Rutile계열로서 일부 개선되고 있으나 계속 개량해야될 과제이다.
2. Al 함량만 낮추면 고충격치를 얻을 수 있다.
3. Shielded Gas나 Flux를 사용하지 않으므로 고속용접이 가능하다고 판단된다. 미국에서는 3-5m/min의 용접이 가능한 Wire가 개발되고 있다.¹⁵⁾
4. 교량, 건축, 조선 등 현장 용접에서 점차 수동 용접의 대체품으로 사용이 증가되고 있다.

5. 용융이행, 상태 및 Spatter의 발생

5.1 용융이행상태

용융이행은 용접법과 용접 조건에 따라 여러가지 형태로 나타난다. 이행형태는 한가지 형태의 용융이행이 계속 반복되어 일어나는 경우와 두가지 이상의 용융이행 형태가 복합적으로 나타나거나 또는 두가지 이행 형태의 중간 형태가 나타나는 경우등 비교적 다양하다. 현재까지 논의 되어온 이행형태 분류 방법으로는 이행을 지배하는 힘에 의한 분류 방법과 용적의 크기나 이행 빈도수와 같은 이행시의

외형에 의한 분류방법이 있다. 이행을 지배하는 힘에 의한 분류 방법은 학문적인 견지에서 의의가 있을 수 있으나, 그동안의 많은 연구에도 불구하고 여러가지 힘의 세기 및 효과등에 관하여는 아직까지 정확하게 밝혀지지 않았기 때문에 이에 따른 분류방법에는 아직 많은 어려움이 있다. 이와는 달리 용적 이행 모양에 따라 분류하는 방법은 비교적 분류하기가 쉽고, 앞으로의 이행 현상과 아크의 물리학적 연구에 많은 도움을 줄 수 있는 분류법으로 1976년 IIW에 의해 발표되었으며(표7, 그림 12), 현재는 거의 분류방법에 따르고 있다.

표 7. IIW에 의한 용적이행형태 구분

Designation of transfer type	Welding processes (examples)
1. Free flight transfer	
1.1 Globular	
1.1.1 Drop	Low-current GMA
1.1.2 Repelled	CO ₂ shielded GMA
1.2 Spray	
1.2.1 Projected	Intermediate-current GMA
1.2.2 Streaming	Medium-current GMA
1.2.3 Rotating	High-current GMA
1.3 Explosive	SMA (coated electrodes)
2. Bridging transfer	
2.1 Short-circuiting	Short-arc GMA, SMA
2.2 Bridging without interruption	Welding with filler wire addition
3. Slag-protected transfer	
3.1 Flux-wall guided	SAW
3.2 Other modes	SAW, cored wire, electroslag

<표 7>에 나타낸 이행 형태별 특징은 다음과 같다.

1. Free flight transfer: 용적이 용융지와 와이어 팁 사이에 물리적인 접촉없이 아크를 통해 이행을 한다.
 - 1.1 Globular transfer: 와이어의 직경보다 큰 용적이 초당 수개씩 이행하며 중력이 이행에 큰 영향을 미친다.
 - 1.1.1 Drop transfer: 용적의 무게가 이행을 방해하는 힘을 초과하는 순간까지 용적이 성장한 다음 중력에 의해 분리된다.
 - 1.1.2 Repelled transfer: 주로 탄산가스 용접법을 이용하여 강을 용접할 때 나타나는 이행 형태로써 용적 하단부의 좁은 영역에 아크가 집중

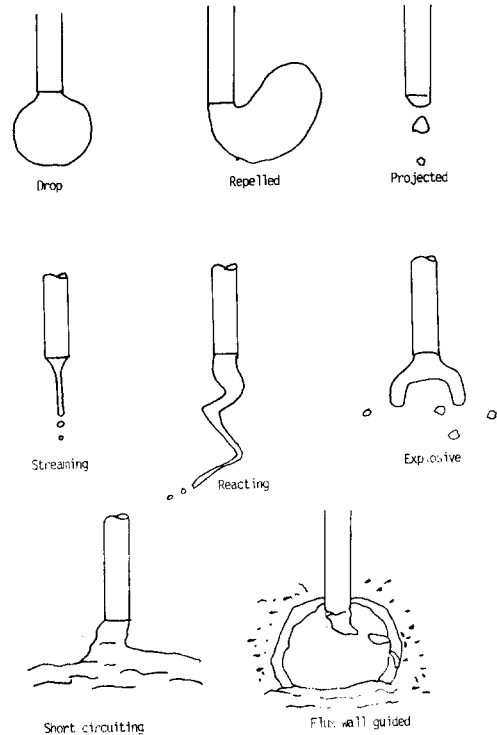


그림 12. 용적이행형태

되며 이로 인한 전자기적 반발력 때문에 커다란 용적이 형성된다. 용적은 전자기력과 중력 등 용적에 작용하는 힘의비 대칭성 때문에 옆으로 치우쳐 이행을 한다.

- 1.2 Spray transfer: 고전류 밀도의 용접시에 발생하며 와이어의 직경보다 작은 일련의 용적들이 많은 빈도수로 이행을 한다. 전자기력이 이 이행에 많은 영향을 미치는 힘이지만 기계적 힘이나 기체 역학적 힘도 spray 이행을 유발시킬 수 있다. 이 이행 형태는 globular 이행형태의 전류 범위보다 높은 전류에서 발생한다.
 - 1.2.1 Projected transfer: 등글고 작은 용적이 중력에 의해 이행될 때보다 훨씬 빠른 속도로 모재로 이행을 한다. 이 이행 형태에서는 전자기력이 가장 큰 영향을 미치며 와이어의 끝은 뾰족하지 않다.
 - 1.2.2 Streaming transfer: Projected이행의 특별한 형태로써 용적이 뾰족한 와이어 끝으로부터 액체가 흐르듯이 연속적으로 이행을 한다.
 - 1.2.3 Rotating transfer: Plasma-MIG 용접시 또는

와이어 extension이 긴 경우와 고전류 밀도를 사용하는 용접에서 발생하는 이행형태이다.

저항열, 아아크열 또는 다른 부수적인 열원에 의해 가열되어 부드러워진 와이어 끝이 전자기력에 의해 이리저리 휘게 되며 용적은 빠른 속도로 와이어의 원접선방향으로 이행한다.

1.3 Explosive transfer: 몇몇 피복 아크용접시와 높은 압력하의 Al-MIG 용접에서 관찰되는 이행형태이다. 용접시 용접 내부에 기포가 형성되며, 이것이 폭발하면서 용적이 비산되어 이행한다.

2. Bridging transfer: 와이어에 매달린 용적이 용융지와 접촉하여 이행한다.

2.1 Short circuiting transfer: 용융지와 용접의 접촉으로 인해 전기적 단락이 일어나며 전자기력과 표면장력이 용적을 이행시키는 힘이다.

2.2 Bridging transfer without interruption: 부가적인 소모성 와이어를 사용하는 용접시 나타나는 이행 형태로서 저항열에 의해 뜨겁게 가열된 와이어가 아크를 발생시키지 않고 액체처럼 흘러서 이행한다.

3.1 Flux-wall guided transfer: 전극과 용융지가 후락스로 보호되는 용접법에서 발생하는 이행 형태로서 용적은 후락스의 공동 속에서 이행하며, 용적과 후락스 사이의 wetting 또는 표면장력이 가장 큰 영향을 미친다.

<표 8>은 각 용적이행 형태에 미치는 주된 힘을 나타낸 것이다.

5.2 Spatter의 발생

용접중 용융금속에서 녹은 금속입자나 slag가 비산되어 나온다. 이것을 Spatter라 한다.

Spatter는 weld pool에서도 일어나지만 주로 weld rod에서 발생한다. Spatter 발생은 다양한 용접과정에서 많은 반응들에 의해 일어난다. 즉, 용융금속내의 기포가 방출될 때, 용접봉 끝의 용적이 폭발될때, arc 힘으로 용적이 비산될 때, 과대전류, 피복제중의 수분, 긴 arc, 운봉각도의 부적당, 모재의 온도가 낮을 때에도 생긴다.

스패터 발생 형태는 용접법에 따라 조금씩 달라지는데, CO₂-shielded flux cored wire의 스패터 발생에 관한 연구는 아직 보고된 바가 없다. 따라서 여기서는 이와 관련이 깊은 것으로 생각되는 CO₂아크 용접에서의 스패터 발생형태와 self shielded flux

표 8. 용적이행에 미치는 주된 힘

Transfer type	Dominant force or mechanism
1. Free flight	Gravity and electromagnetic pinch Chemical reaction generating vapour Electromagnetic pinch instability Electromagnetic Electromagnetic kink instability Chemical reaction to form a gas bubble
1.1 Globular	
1.1.1 Drop	
1.1.2 Repelled	
1.2 Spray	
1.2.1 Projected	
1.2.2 Streaming	
1.2.3 Rotating	Chemical reaction to form a gas bubble
1.2.4 ..	
2. Bridging transfer	Surface tension + electromagnetic forces Surface tension + (hot wire) electromagnetic forces
2.1 Short-circuiting	
2.2 Bridging transfer without interruption	
3. Slag-protected transfer	Chemical and electromagnetic Chemical and electromagnetic
3.1 Flux-wall guided	
3.2 Other modes	

cored wire에서의 스패터 발생형태에 관해 살펴보고자 한다. CO₂아크 용접에서의 스패터 발생형태는 <그림 13>와 같이 분류할 수 있다. <그림 13>에서 Type

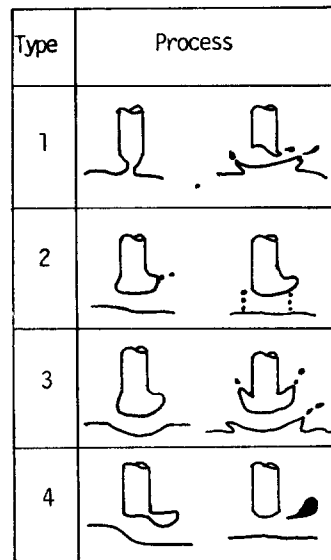


그림 13. CO₂ Arc용접에서의 Spatter 발생 형태

1은 아크발생시 스패터가 발생하는 것으로, CO₂아크 용접에서 가장 많이 발생하는 형태이다.

이에 대해 상술하면 다음과 같다. 와이어 끝에 생성된 용적의 무게가 아크의 반발력을 이기면 용적이 용융지에 접촉한다. 이때 용적의 표면장력과 접촉부 잘룩한 부분에서 급속증기의 증발에 의해 단락부가 절단되어 아크가 재생된다. 아크가 재생되면 주변의 가스가 급팽창하고 용적 및 크래터 등의 용융 금속의 일부가 이에 불려 날아가면서 스패터가 된다. 만일 용접전류를 증가시키면 아크 재생시의 에너지가 커지기 때문에 1회당 스패터 발생량이 증가한다.

Type 2의 스패터 발생은 가스 방출에 의한 스패터 발생이다. 이 type은 가스가 생성되면 그 기포가 용강과 함께 표면으로 방출되고 기포가 소멸된다. 이때 방출되는 용강의 방울들이 스패터가 된다. 이 현상은 보호가스로 CO₂에 N₂, O₂를 첨가한 경우와 shield 부족시에 나타난다. 기포내 가스의 성분은 용융금속의 C와 O가 반응하여 생긴 CO와, 용융금속이 보호가스중 혹은 대기중의 질소 흡수로 인한 질소가스등으로 된 경우가 있다.

Type 3은 아크가 계속 발생되고 있는때에 급격한 아크 전압의 변동이 일어나 중립 및 대립의 스패터가 발생하는 경우이다.

Type 4는 아크가 길어지면 와이어 끝의 용적이 아크힘에 의해 옆으로 불려 와이어 끝에 수직으로 형성되는 경우인데 극히 큰 스패터가 생긴다.

Self-shielded flux cored wire를 사용하였을 경우의 스패터 발생 유형은 <그림 14>과 같다.

<그림 14>에서 Type 1은 아크힘에 의한 스패터 발생 유형이고, Type 2는 단락 파괴에 따른 스패터발생, Type 3은 급격한 가스 방출에 의한 스패터발생, Type 4는 기포방출에 의한 스패터 발생유형이다.

이상 Flux Cored Wire의 발전경위와 기술특성에 관하여 간단히 기술하였다. Flux Cored Wire는 조선을 비롯하여 차량, 건축, 교량 등의 용접에 그 수요가 점차 증가하고 있으며 반자동화의 필요성에 따라 그 품질도 향상되고 있다.

특히 Flux Cored Wire는 각종기능, 특성을 가진 용접하기 쉬운 재료이기 때문에 전산업분야에 넓게 보급될 잠재력을 가지고 있다.

앞으로 국내산업 여건에 따라 적합하고 새로운 용접재료, 시공법의 개발에 의하여 Flux Cored Wire도 더한층 발전하리라고 기대된다.



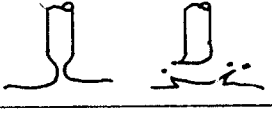

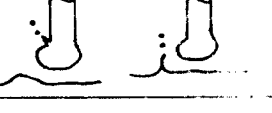
Type	Process
1	a. 
	b. 
2	
3	
4	

그림 14. Self-Shielded Flux Cored Wire의 Spatter 발생형태

참 고 문 헌

- 1) 奥田, 谷垣: 「造船の溶接(3) 最近の造船용 溶接材料」, 日本造船學會誌 第673號(1985. 7)
- 2) 藍田, 神戸: 「フラツワスリワイヤ 第1回」 溶接技術, 1985. 10.
- 3) 仁藤: 「造船における CO₂·MAG半自動 溶接의 現狀」, 溶接技術 1981. 7.
- 4) 酒井: 「가스시ールド아-프溶接용 플라쯔스入리야의 すすめ」 神鋼棒により, Vol. 25, 1985.
- 5) 酒井: 「ソリッドワイヤと 플라쯔스入리야의 効果的 選擇」 溶接技術, 1985. 2.
- 6) 菅小林, 酒井: 「炭酸가스아-프溶接용 플라쯔스入리야의 溶融現象」 溶接學會, 第77回 溶接아-프物理研究(委) 資料.
- 7) 菅, 小林: 「炭酸가스溶接용 플라쯔스入리야의 ヒューム發生現象」 溶接學會論文集, 第2卷 第4號.
- 8) 仁藤, 林田: 「造船溶接自動化의 現狀とロボット

- 化溶接技術, 1985. 12.
- 9) 藍田: 「發展するフラツクス入りワイヤ」 神鋼棒
だより, Vol. 26. 1986.
- 10) 藍田, 神戸: 「フラツクス入りワイヤ 第2回」 溶
接技術, 1985. 11.
- 11) 材田: 「CO₂ 溶接機の實例について」 SW-B-12-63
- 12) 馬田: 「無被包アーワ溶接用 フラツクス入りワイ
ヤの研究(第3報)」 溶學誌. Vol. 53. 1966. No. 9
901.
- 13) 堀内: 「フラツクス入りワイヤ 無被包アーワ溶接
用ワイヤによる横向片面溶接について」 WM-164-
67
- 14) 馬田: 「無被包アーワ 溶接用フラツクス入りワイ
ヤの研究(第1報) 溶學誌, Vol. 34 (1965), No. 2.
192.
- 15) R. A. Wilson: Vaper-Shielded Arc Welding at
200ipm Welding Journal Vol. 40(1961). No. 1.
13~17.

국제 학술대회 참가 안내

제3회 아시아 태평양 재료강도 평가 국제 학술대회(APCS-89)

—3rd Conference of Asian-Pacific Congress on Strength Evaluation—

일 시: 1989년 5월 18일~20일(3일간)

장 소: 일본 요코하마

- 분 야: * Mechanical behaviors of materials; metals, composite materials, non-metallic materials, concretes, rocks, ceramics, polymers, etc.
- * Fracture and fatigue of materials and weldments
- * Testing and evaluation of materials by mechanical method, optical method, non-destructive method.
- * Rock mechanics and projectile penetration
- * Data acquisition and evaluation through computer technology
- * Design and analysis of offshore structural components and pressure vessels
- * Effects of various environments on mechanical behaviors of materials

영문초록 마감: 1988년 9월 15일

영문논문원고마감: 1989년 1월 15일(영문초록 채택통지 받은분에 한함)

영문초록작성요령: 제목, 성명(full name), 소속 및 주소, 전화번호, FAX번호, 참가분야, 300자 이내
내용

영문논문원고작성요령: 추후 개별통지

초록, 논문제출 및 문의처: 연세대학교 기계공학과 이강용 교수(APCS 한국지부 간사) (우)120~749

서울시 서대문구 신촌동 134

Tel. (02) 392-0131 (교) 2350, FAX (02) 312-7735

참가예상국: 한국, 일본, 중공, 인도, 대만, 홍콩, 태국 등