

解 說

大韓熔接學會誌
 第7卷第2號 1989年 6月
 Journal of the Korean
 Welding Society
 Vol.7, No.2, Jun., 1989

주 철 용 접

유 순 영*

Cast Iron Welding

S. Y. You*

I. 서 론

주철은 구조물 및 공업재료로써 오랫동안 사용되어 왔으나 이들 용접은 항상 어렵고 특별한 지식과 기술을 계속 요구하고 있다. 최근 가격면에서 유리한 주철을 주강 및 단조품과 대체하여 사용이 증가하는 추세이다. 이는 주조공정의 고유한 유연성과 함께 합금설계, 주조기술 및 열처리 분야에서 개선이 이루어지면서 가능해졌다. 이런 개발과 병행하여 주철을 용접할 필요성이 증가되었다.

옛날에는 용접의 어려움 때문에 주철용접은 제조중 생긴 주물결함 보수나 사용도중 생긴 균열에 대한 보수용접으로 국한되었다. 그러나 수년동안의 용접기술 개발과 금속학적인 영향에 대한 지식이 증대됨에 따라 주철끼리 또는 강과의 접합까지 용접의 범위가 넓어졌다.

본고에서는 주철용접을 이해하는데 필수적인 금속학적인 영향들에 대해 주철 종류별로 설명하고 이들을 용접하는데 있어 성공과 실패에 대한 이유 등을 실례를 들어 기술하고자 한다.

II. 금속학적인 영향들

1. 액상변태

주철은 응고시 철·탄소공정(Eutectic)을 생성하는 철·탄소 합금으로 정의한다. 강과 주철의 분기점은 2%탄소이다. 상업용 주철에는 탄소 이외에 규소, 망간, 인 등이 상당량 함유되어 이들은 응고와 최종 미세조직에 영향을 미친다. 이런 복합적인 상황이긴 해도 상업용 주철의 응고는 철·탄소 상평형 상태도를 참고하여 설명할 수 있다. Fig. 1에서 보듯이 철·탄소계는 4.3%탄소까지 안정 또는 준안정 Eutectic을 포함하고 있다. 안정된 Eutectic은 Austenite와 흑연(Graphite)으로 구성되나 준안정 Eutectic은 Austenite와 Cementite(철탄화물) 사이에서 더 낮은 온도에서 생성된다.

이 두가지 공정계가 존재하기 때문에 주철의 응고 및 조직은 합금성분이나 냉각속도 등에 큰 영향을 받는다. 흑연화를 촉진하는 원소(안정된 Eutectic)는 Si, Cu 및 Ni이고 탄화물을 안정시키

* 대우조선 기술연구소, 재료기술실장

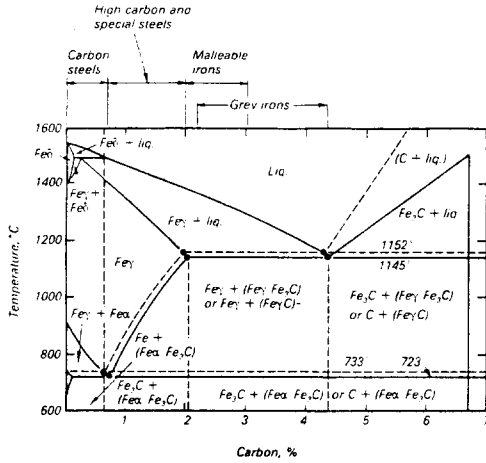


Fig.1 Iron-carbon binary equilibrium diagram.

는 원소(준안정된 Eutectic)는 Ca, Mg 및 Te이다. 느린 냉각속도는 안정된 공정응고를 촉진하고 빠른 냉각속도는 준안정 Eutectic의 생성을 증가시킨다.

2. 고상상태변태 (Solid State Transformation)

Austenite와 Cementite로 구성된 백주철(White Iron)은 Austenite-graphite Eutectic에 비하여 준안정하기 때문에 그 Cementite는 고온에서 고체 상태에서 Austenite와 흑연으로 분해 된다.

이 반응속도는 합금성분과 Annealing 온도에 좌우된다. 상업용 주철은 Austenite, Ferrite, Pearlite 또는 Martensite 기지상 등으로 구성되고 이들 최종조직은 기지합금성분, 공석온도를 지날때의 냉각속도 및 연이은 열처리에 따라서 결정된다. 주어진 합금에서 Austenite는 느린 냉각속도에서 Ferrite 또는 Pearlite로 변태되고 더 빠른 냉각속도에서는 경하고 취성이 큰 Bainite나 Martensite로 변태된다.

III. 주철의 종류

주철은 크게 두가지로 분류된다. 흑연을 포함한 것· Cementite로 구성된 백주철 또는 백선(White Iron)이다. Fig.2에 주철의 종류를 분류하고 있다. 상업적으로 더 중요한 흑연포함 주철을 먼저 설명하고자 한다.

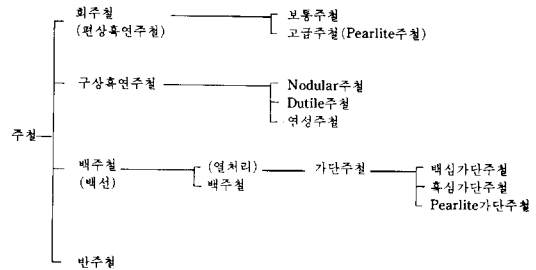


Fig.2 주철의 종류

1. 회주철 (Grey Cast Iron)

회주철은 2.0-4.5%C와 1.0-3.0%Si를 함유하고 있다. 이들 조직은 Photo.1에서 보듯이 Pearlite, Ferrite 혹은 이 둘이 혼합된 Matrix에 나뭇가지처럼 불연속적인 흑연 Flake(편상흑연)로 구성되어 있다. 흑연 Flakes는 취약한 면을 형성하기 때문에 인장강도가 10-25kgf/mm²로 기계적 성질이 좋지않다. 그러나 이들은 싸기 때문에 좋은 기계적 성질이 요구되지 않는 곳 또는 주물 무게가 문제되지 않는 곳에 널리 사용된다. Flake흑연조직의 주요 잇점은 높은 기계적 Damping용량 때문에 진동, 소음을 최소화 시켜야 하는 절삭가공기 받침등에 사용된다.



Photo.1 Pearlitic grey iron ×50

2. 구상흑연 주철 (Nodular Cast Iron)

연속적인 Flakes 때문에 생긴 취약한 면을 제거하기 위해 흑연의 모양을 변경시키면 회주철의 기계적 성질이 크게 향상된다. 3.2-4.5%탄소와 1.8-2.8%규소를 함유한 용탕중에 Mg나 Ce을 주탕전에 첨가하면 Photo.2에서 보듯이 Flake 모양이

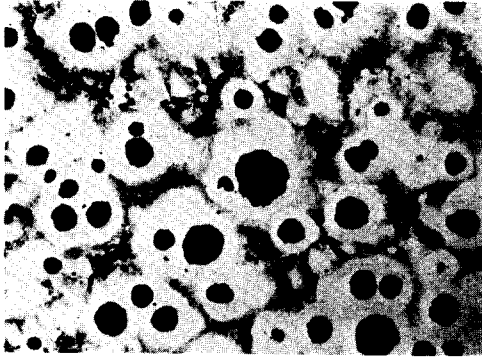


Photo.2 Nodular iron ×50

아닌 구상흑연이 생성된다. 1940년 후반에 출현된 이후 구상흑연주철은 단조주강품 및 다른 종류의 주철에 필적해서 중요성이 높아지면서 많은 곳에 사용되고 있다. 구상흑연주철은 Pearlite, Ferrite 또는 Pearlite-ferrite 기지로 되어 회주철 보다 높은 인장강도(40-70kgf/mm²)와 연신율을 가진다.

3. 가단주철(Malleable Irons)

모든 가단주철은 백주철을 열처리하여 만든다. 백주철의 공정탄화물(Cementite)이 분해되어 Photo. 3에서 보듯이 Ferrite 또는 Pearlite 기지 내에서 탄소 덩어리로 된다. 가단주철은 백심과 흑심가단주철로 나뉘어진다.

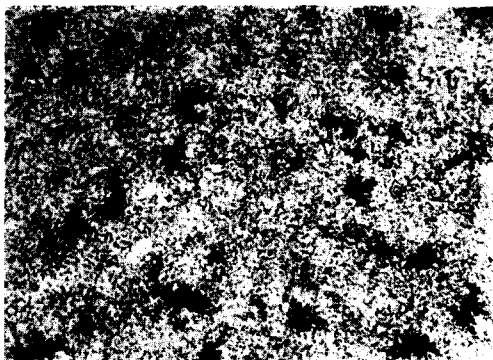


Photo.3 Pearlitic malleable iron ×50

3.1. 백심가단주철(Whiteheart Malleable Iron)

백심가단주철 주물은 900-1000℃에서 탈탄 분위기 하에서 장시간 소둔(Annealing)한다. 주물 표

면에서 제거된 탄소는 내부에서 확산되는 탄소로부터 약간 보충된다. 이 처리후 백심가단주철은 탈탄된 표면층과 고탄소 중심부의 불균일한 조직이 된다. 표면 탈탄정도는 제품의 크기에 좌우되는데 5mm이하 두께 주물의 경우 거의 탄소가 없는 상태가 된다.

3.2. 흑심가단주철(Blackheart Malleable Iron)

흑심가단주철¹⁾은 탈탄없이 850-950℃에서 백주철 주물을 소둔하여 만든다. 그 결과 조직은 주물 크기에 무관하게 균일하고 Ferrite기지에 탄소가 구성되어 있다. 기계적 성질은 백심가단주철 보다 일반적으로 낮다. 그러나 흑심가단주철은 작업이 어렵다. 그 이유는 이를 생산하기 위한 백주철의 탄소함량이 백심가단주철 주물의 그것 보다 적기 때문이다. 흑심가단주철의 용접성을 향상시키기 위해 탈탄 분위기에서 소둔하는 수도 있다. 이 경우 흑심가단주철의 좋은 기계적성질과 백심가단주철의 좋은 용접성을 함께 겸비할 수 있다.

3.3. Pearlite가단주철

이는 탄화물 안정화 원소를 첨가한 백주철에 대해 흑심가단주철 소둔방법을 쓰거나 Ferrite 흑심가단주철을 한번 더 열처리하여 제조할 수 있다 (Photo.3). Pearlite가단주철은 Ferrite흑심가단주철에 비해 연성은 낮고 강도는 높다.

4. Compacted Graphite Iron

이는 최근 새로 개발된 재료로써 Flake흑연과 구상흑연주철의 중간조직을 가진다. Photo.4에서

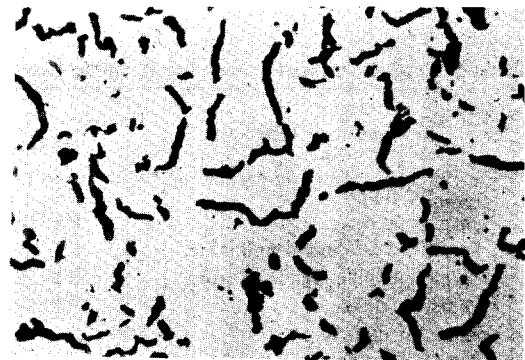


Photo.4 Compacted graphite iron ×70

보듯이 보통 Graphite Flake 보다 짧으면서 두껍고 또 끝부분은 둥글게 생겼다. Compacted Graphite Iron의 생산은 Mg의 첨가로 이루어지는데 그 양이 매우 중요하다. Ti을 0.08-0.1%, Mg을 0.015-0.03%, 그리고 Ce을 미량 첨가하면 좋은 Compacted Graphite조직을 얻는다고 보고하고 있다²⁾. Compacted Graphite Iron의 인장강도는 30-60kgf/mm²로 회주철과 구상흑연주철의 중간이고 연신율은 3-6%범위이다³⁾.

5. 백주철 (White Iron)

백주철 응고시 준안정된 공정물이 생성된다. 따라서 조직은 Photo. 5에서 보듯이 Cementite와 변태된 Austenite로 구성되어 있다. 공정 Cementite는 성분과 냉각속도에 따라 벌집모양 또는 판 형태로 존재한다. 주어진 합금성분의 경우, 더 빠른 냉각속도는 판상의 공정 Cementite생성을 촉

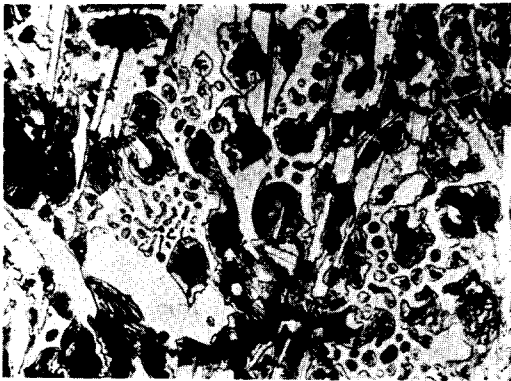


Photo.5 White iron eutectic ×400

진한다.

백주철은 규소함량을 낮추어서 느린 냉각속도에서도 준안정 공정응고 반응을 일어나게 한다. 또 다른 방법은 탄화물 안정화 원소인 Cr등을 첨가하거나 열전도도가 높은 Mould 재료를 사용하여 냉각속도를 증가시키는 것이다. 백주철은 탄화물을 많이 함유하고 있어 경도 및 취성이 높아 Pearlite 또는 Martensite 기지의 경우 경도가 각각 400-600 또는 550-800Hv를 나타낸다.

6. Austenite주철

Austenite 주철은 편상흑연과 구상흑연 형태로 제조되고 내식성과 내열성이 뛰어나다. 합금성분 함량이 더 높은 Austenite주철은 좋은 내산화성 및 내열충격성을 보유한다. 구상 Austenite주철은 낮은 온도에서의 충격값도 양호하다.

IV. 주철의 용접성

1. 주철종류의 영향

탈탄된 백심가단주철을 제외하고 주철은 쉽게 용접되지 않는다. 주어진 용접방법하에서 주철종류에 따른 용접성은 성공적인 용접을 위해 필요한 예열온도 (Table 1)에서 알 수 있다.

Ferrite 기지를 가진 주철이 고탄소기지의 그것보다 더 쉽게 용접이 된다는 것을 알 수 있다. 용접성에 영향을 미치는 또 다른 변수는 흑연의 형태이다. 편상흑연주철은 분리된 흑연 입자들이 약한 면을 생성하지 않는 구상 또는 가단주철 보다 근본적으로 더 취성이 강하고 따라서 용접하기 어

Table 1 Typical Preheat Levels for Welding Cast Irons

Cast iron type	Preheat temperature, °C			
	MMA	MIG	Gas fusion	Powder welding
Ferritic flake	300	300	600	300
Ferritic nodular	RT-150	RT-150	600	200
Ferritic whiteheart malleable	RT-*	RT-*	600	200
Ferritic blackheart malleable	RT-150	RT-150	600	200
Pearlitic flake	300-330	300-330	600	350
Pearlitic nodular	200-330	200-330	600	300
Pearlitic malleable	300-330	300-330	600	300
White irons	Success reported using quench welding technique with weld peening			

*200°C if high C core involved

럽다.

2. 금속학적 영향

용접부가 급냉하게 되면 백선화되면서 수축량이 편상흑연주철에 비해 현저하게 많아 높은 잔류응력 발생으로 균열의 위험성이 높다. 또 가공성 불량 및 재질의 취성이 높아 사용상 문제점이 많다. 높은 예열과 올바르게 선택한 용접재료를 사용하더라도 용접시 흑연을 함유하고 있는 재료를 녹인다면 백주철의 생성을 피할 수는 없다.

Photo. 6에서 보듯이 Fusion Line에 빠른 냉각 속도에서 생기는 침상의 백주철과 Martensite가 존재함을 알 수 있다. 이를 감안하면 주철용접시 낮은 입열을 사용하여 모재의 용융정도를 억제하



Photo.6 Acicular white iron & martensite in fusion zone ×800

고 용융금속 회석 및 취성이 높은 백주철 영역을 피하는 것이 좋다. 용융접합에서 낮은 입열의 목적은 용융부에 불연속적인 백주철을 생성시켜 이들이 용접부를 약하게 하는 효과를 감소시키는 것이다(Photo. 7).

모재와의 용합을 피하려면 Brazing, Soldering 또는 분말용접을 하는 방법 밖에 없다. 인의 함량이 높은 회주철의 경우 응고시 저용점의 Fe-Fe₃P 공정물을 생성하여 용착금속과 HAZ(열영향부)에 고온균열을 일으키기도 한다. 이런 결함은 특히 인의 함량이 0.5%를 넘을때 매우 심각하고 이런 합금은 거의 용접될 수 없다. 또한 주철의 높은 탄소함량 때문에 용탕중 산소와의 반응으로 용착금속에 기공등이 형성되기도 쉽다.



Photo.7 Discontinuous white iron colonies in fusion zone of blackheart malleable iron ×120

3. 예열 및 후열

예열은 용접부의 냉각속도를 느리게 하여 Martensite생성을 최소화하고 경도도 떨어뜨린다. 또 예열은 수축응력을 분산시켜 변형을 감소시키고 따라서 균열의 위험성도 낮춘다. 그러나 복잡한 형상의 주물을 예열할 경우 불균일한 팽창이 일어나 균열이 생길 수도 있다. 따라서 주물이 복잡하거나 Joint Fitup이 좋지 않을 경우 Table 1에서 추천한 예열온도를 약 100°C이상 더 높이는 것이 바람직하다.

백주철과 Martensite가 생성된 용접부는 균일한 조직을 가진 유사부품에 비해 열등한 기계적 성질을 가진다. 백심가단주철을 제외한 모든 Arc용접된 주철 대부분이 이 경우에 해당된다. 이 경우 용접 후열처리(PWHT)를 실시하여 기계적성질을 향상시킬 수 있다. 백주철을 900-950°C에서 최소 3시간 유지시키면 분해된다. 그러나 고합금 주철의 경우 합금성분등이 공정탄화물을 안정시키므로 더 많은 시간이 소요된다.

만약 소둔을 하지 않을 경우 HAZ특성은 620°C에서 응력제거 열처리를 (350°C까지는 노냉) 용접직 후에 하면 향상된다. 이 처리로 인해 Martensite가 분해되어 연화된 조직이 되고 한편 부품내 잔류응력도 감소된다.

V. 용접재료 선택

1. 고려할 인자들

-가격

- 강도의 일치성
- 모재의 회석을 견딜 수 있는 정도
- 절삭성
- 빠른 냉각속도에 대한 견딤성
- 낮은 입열에서의 용접성
- 색상의 일치성
- 용접수축력을 흡수할 연성

주철용접용 재료는 주철봉, 연강봉, Ni합금봉 및 구리합금봉 등이 있다. Table 2에 주물보수용 접합 피복봉의 종류 및 적용부위를 나타내었다.

2. 주철용접봉(Nodular Iron)

주철봉은 모재주물과 강도와 색상면에서 유사하다. 모재의 회석은 문제가 되지 않고 높은 예열온도를 유지하므로 경한 응고 조직 및 HAZ조직을 감소시키거나 완전히 제거하지는 못하기 때문에 후열처리를 하지 않을 경우 절삭성에 문제는 있을 수 있다. 수동 및 Gas용접 뿐만 아니라 MIG용접용 Cored Wire^{4,5)}도 개발되었다.

3. Ni합금 용접봉

순수 Ni과 Ni-45%Fe이 가장 많이 사용된다. 순수 Ni봉은 강도가 낮아 절삭성은 좋지만 가격이 비싸고 모재회석율이 높을 경우 흑연석출로 인해 취성이 일어나기 쉽다. 또 모재에 인의 함량이 높은 경우 균열이 생기기 때문에 특히 회주철의 경우 사용않는 것이 좋다.

Ni-45%Fe은 싸고 기계적 성질이 모재와 비슷하고 회석에 잘 견디고 인으로 인한 균열에도 덜 민감하다. Austenite 주철에도 Ni-45%Fe봉을 사용할 수 있으나 인성과 내열성이 문제가 될때는 곤란하다.

4. 연강용접봉

연강용접봉은 싸지만 모재로 부터 탄소 Pickup으로 인한 경한 Martensite 가 냉각시 생성된다. 백심가단주철 처럼 주철표면이 탈탄된 경우에는 저탄소층을 용접 Bead 가 침투하지 않아 성공적으로 연강용접봉을 쓸 수 있다.

Table 2 주물 보수용접합 피복봉

분 류	규격	특성및적용	시공조건	비고
연 강 용접봉	JIS DFC Fe AWS Est DIN 8573 EFe-1 KS EGC Fe	1) 기계가공성을 요구하지 않는 부위 2) 육성용접부의 Buffer Run 3) 내마모성을 요구하는 부위	냉간용접	화학적분은 JIS Z 3252 AWS A5, 15-69 Part 1참조
비 철 합금봉	Ni계 DFC Ni AWS E Ni-Fe DIN 8573 E Ni	1) 기계적 강도를 크게 요구하지 않는 결합부위 2) 열변형을 피해야 하는 복잡한 주물 보수시	냉간용접 저온예열 용 접	"
	Ni-Fe 계 JIS DFC Ni-Fe AWS ENi-Fe-CI DIN8573 ENi-Fe-1 DIN8573 ENi-Fe-2	1) Ni계 보다 기계적 강도가 높음 2) 구속력이 강한 보수 용접부의 Buffer RUN에 적용시 Ni계 보다 우수함	냉간용접 저온예열 용 접	"
	Ni-Cu계 JIS DFC Ni-Cu AWS ENi Cu-A AWS ENi Cu-B DIN8573 ENi -Cu	1) 용접부의 강도가 Ni계나 Ni-Fe 계 보다 낮으므로 내압성을 요구하는 부위에는 사용하지 않는 것이 좋음 2) 결합 보수부의 외관 Bead형성 시 사용	냉간용접	"
주철봉	JIS DFC-CI AWS ECI DIN 8573 EFe-C-1 DIN 8573 EFe-C-2	1) 용착금속부가 모재와 동일하게 주철로 됨. 2) 기계가공성이 양호함 3) 가공전 주방품 보수시	고온예열 용 접	"

* 용접봉의 사용전 처리 : 용접봉 사용전에는 반드시 Rebacking할것.
Baking온도 및 시간 : 용접봉의 사양 참조

5. 구리합금용접봉

여러 종류의 Bronze(Cu-Sn, Cu-Al 및 Cu-Al-Mn 등)가 주철 용접용으로 사용된다. 주된 잇점은 용접이 낮은 것이다. 유동성이 좋고 희석에 잘 견디고 상대적으로 무르다. 저용점온도는 경한 HAZ생성을 억제하고 연화된 용착부는 수축력을 흡수해준다.

VI. 용접방법

주철의 용접방법은 Fig. 3과 같이 열간용접과 냉간용접으로 크게 둘로 분류된다. 열간용접법은 모재 전체를 400-600°C의 고온으로 예열하고 이 고온상태를 용접중 유지한다. 용접이 끝난 후에는 서냉하여야 하고 용접직후 응력제거 소둔을 하는 것이 바람직하다. 냉간용접은 예열을 하지 않거나 국부적으로 낮은 온도로 가열하여 용접하는 방법이다.

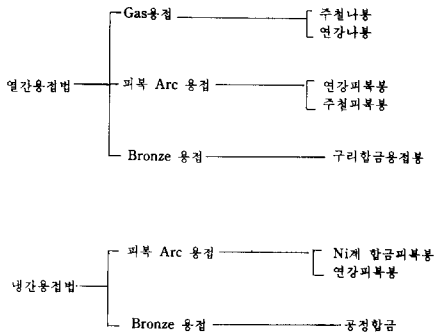


Fig.3 주철용접방법

열간용접법은 HAZ의 백선화를 억제할 수 있으나 예열로 인한 cost상승, 고온에서의 표면산화 및 용접변형등의 문제점이 있다. 냉간용접법은 작업이 용이하고 변형은 최소화 시킬수 있으나 HAZ의 백선화에 의한 균열 및 기계절삭성이 떨어지는 결점이 있다. 그러나 최근에는 냉간용접법이 많이 이용되고 있는 추세이다.

VII. 용접전처리

1. 개 선

보수용접할 부위의 결함들, 기공, Blowhole 및

균열등은 기계적 방법 또는 Air-Arc Gouging으로 파내어야 한다. Arc를 이용한 Gouging시에는 과도한 경화로 균열 발생의 위험성이 있기 때문에 국부적으로 300°C까지 예열을 반드시 해야 한다. Gouging 후에는 표면을 가볍게 연마하여 남아 있는 경화된 부분을 제거해야 한다. 균열을 제거하기 전에는 균열 양끝단에 구멍을 뚫어 제거하는 동안 균열이 전파하지 못하게 한다.

개선형상은 결함 종류에 따라 Cone형, U, V형 및 X형으로 나눌 수 있는데 제거되는 면적의 크기는 용접 Gun, Torch 및 붓이 들어갈 수 있도록 커야한다. 개선각도는 피복용접 및 MIG용접의 경우에는 70°, 산소아세틸렌 및 TIG용접에는 90°까지 주는 것이 좋다. 개선부 가장자리에서 10 mm까지는 사상으로 주물 표면층을 제거하는 것이 좋다. 개선부 밑바닥은 초층에서의 수축응력을 줄이기 위해 둥글게 하는 것이 좋고 개선끝단부는 주물표면과 45°의 경사를 주는 것이 좋다.

2. 청정작업

모든 이물질, 잔류된 주물사, 녹, Oil 및 Paint 등은 기계적인 연마 또는 화염으로 개선부 및 그 근처에서 완전히 제거해야 한다. 기계가공 도중에 발생된 기공이나 사용중인 주물품의 보수시에는 절삭유등이 모재에 스며 있으므로 가솔린이나 신나 등으로 완전히 제거하거나 석유로 주물을 문지른 후 화염으로 약 450°C까지 15분 동안 가열한 후 힘찬 Wire Brushing을 하면 제거된다.

특히 Bronze용접의 경우는 산화물 및 다른 불순물 등이 용융되면서 제거되지 않기 때문에 개선부 표면의 청정도는 매우 중요하다. 청정작업이 불완전할 경우 용입이 되지 않고 용착금속과 모재가 이탈되는 위험이 있다.

VIII. 주철보수용접 실례

시험 가동중 누유로 인한 균열이 발견된 3Way Oil Thermostate Valve의 보수용접에 대한 내용을 소개하고자 한다.

1. Valve의 형상 및 재질

Valve의 형상은 Fig. 4와 같으며 모재는 회주철로써 화학성분은 Table 3에 나타내었다.

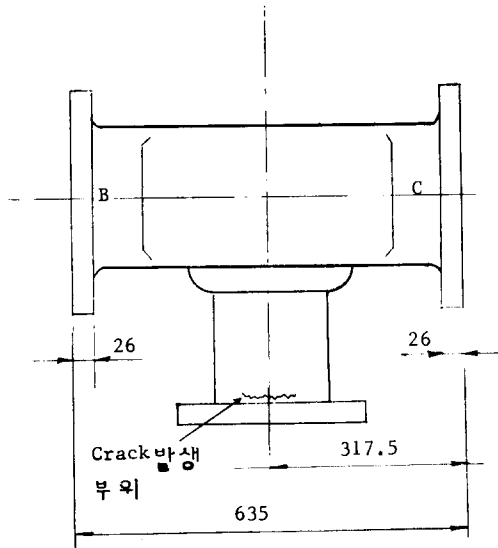


Fig.4 Schematic diagram of oil thermostate valve cracked during service

2. 예비 용접성 시험

적정용접조건을 파악하기 위하여 보수용접할 3 Way Valve와 유사한 화학성분을 가진 구상흑연 주철을 선택하여 예비실험을 행하였다. 사용된 주철의 화학성분을 Table 4에 나타내었다.

2.1. Bead on Plate 시험

예열온도에 따른 열영향부 조직과 경도값을 알

기 위하여 두 종류의 피복용접봉, AWS E CI(주철봉), E Ni CI(Ni봉)으로 주철에 Bead on Plate 용접을 실시하였다. Table 5에 용접조건을 나타내고 있다. 경도는 용착금속, HAZ 및 모재를 각각 6번씩 측정하여 최고값 및 최저값을 제외시키고 평균값을 취하였다.

Fig. 5, 6에서 보듯이 예열온도가 증가함에 따라 열영향부 Fusion Line에서의 경도가 급격히 감소함을 알 수 있다. 주철봉을 사용할 경우 예열온도가 증가함에 따라 용착금속의 경도도 815Hv(예열

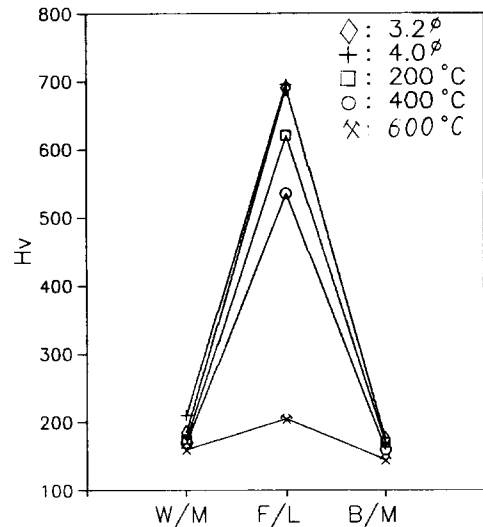


Fig.5 Hardness distribution of the weldment made by E Ni-CI electrodes

Table 3 Chemical composition of oil thermostate valve(wt%)

C	P	S	Ni	Cr	Mo	.Cu	W
2.64	.072	.127	.037	.026	.036	.042	.122

Table 4 Chemical composition(wt%) of a cast iron for preliminary weldability test

C	P	S	Ni	Cr	Cu	Co
2.65	.077	.039	.10	.03	.03	.05

Table 5 Bead on plate welding conditions

Test No.	Electrodes φ (mm)	Current (A)	Preheat	PWHT	Cooling Rate
1	ENi-CI, 4.0	140	RT	Air Cooling	-
2	E CI, 4.0	140	200°C	Air Cooling	-
3	E CI, 4.0	140	400°C	500°C × 1hr	3°C/min, air cooled from 300°C
4	E CI, 4.0	140	600°C	650°C × 1hr	3°C/min, air cooled from 300°C

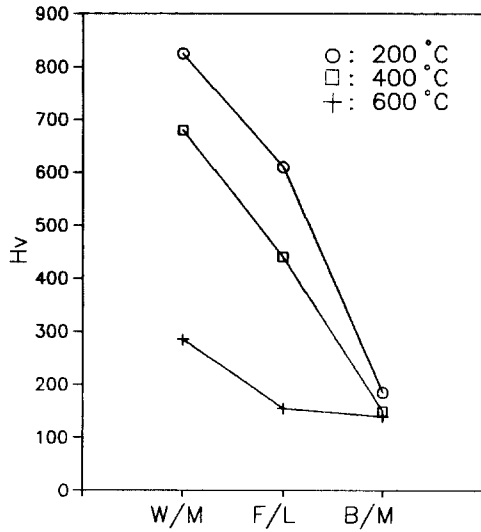
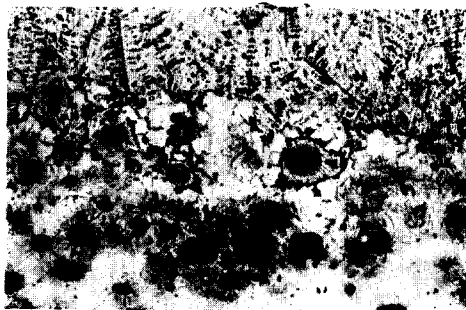


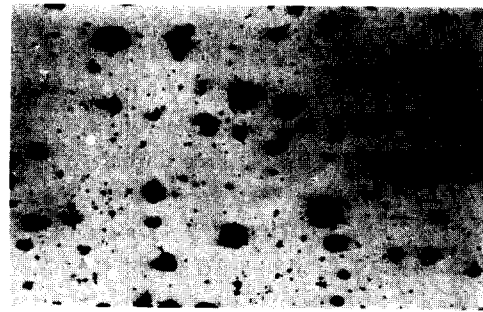
Fig.6 Hardness distribution of the weldment made by cast iron electrodes



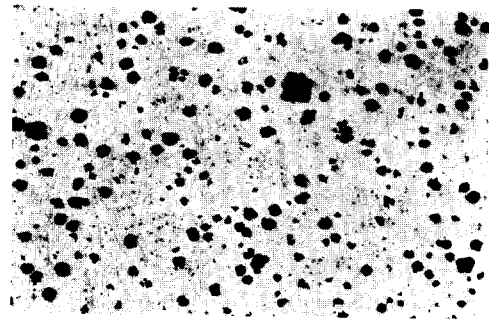
a) Weld metal, preheat 200°C



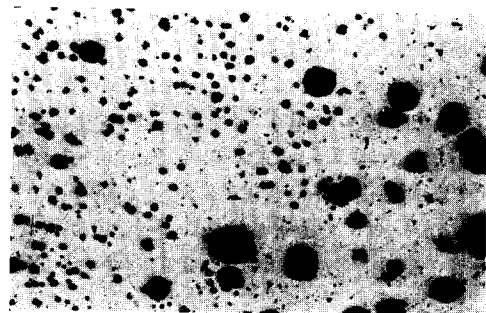
b) Fusion line, preheat 200°C



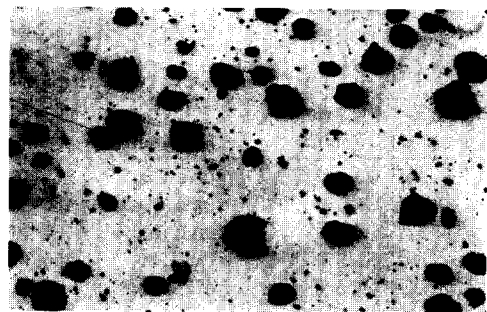
c) Base metal, preheat 200°C



d) Weld metal, preheat 600°C



e) Fusion line, preheat 600°C



f) Base metal, preheat 600°C

Photo.8 Microstructures of a cast iron weldment using E CI electrodes. (×35)

200°C)에서 280Hv(예열 600°C)으로 낮아졌음을 알 수 있다. 미세조직 관찰에서 (Photo.8)주철용접부의 용착금속은 예열 200°C에서 Dendrite조직을 볼 수 있으나 예열 600°C에서는 Free Carbide가 석출되고 흑연도 구상화된 것을 볼 수 있다. Fusion Line 에서는 예열 200°C의 경우 Martensite조직이 넓게 분포되었고 예열 600°C의 경우에는 모재와 거의 동일한 조직을 나타내고 있다.

2.2. 다층용접시험

균열등의 결함을 제거한 경우 생기는 U형태의 흠을 만들어서 보수용접조건에 따른 균열발생유·무를 관찰하였다. Table 6에 이 결과를 나타내고 있다. 주철봉의 경우 예열 500°C와 서냉시킨 경우 균열의 발생이 전혀 없었으나 예열 300°C와 용접후 공냉시킨 경우 용착금속을 가로 지르는 횡균열 및 열영향부 Fusion Line을 따라 종균열이 발생함을 알 수 있다.

매우 흥미있는 사실은 Ni용접봉을 사용한 경우 예외없이 Fusion Line을 따라 균열이 발생했음을 자분탐상검사에 의해 발견되었으나 절단하여 연마 후 용접부 단면 및 표면을 현미경으로 관찰할 경우 균열이 전혀 존재하지 않았다. 이유는 주철을 Ni봉으로 보수용접한 경우에는 비자성체인 Ni과 자성체인 주철의 경계(Fusion Line)에는 항상 자분이 모여들어 균열 형태로 나타나기 때문이다. 따라서 Ni봉으로 보수용접후 Fusion Line에 있는 균열 여부는 자분탐상검사로 판단할 수 없다. 이 경우 액체침투탐상검사로 균열을 관찰해야 하나 아주 미세한 Hair Crack의 경우 이 검사로는 잘 발견되지 않는다.

이상의 예비 용접성 실험결과로 부터 실제 보수 용접 될 3 Way Thermostat Valve는 주철용접

봉을 사용하여 예열 500°C, 용접후에는 서냉하기로 결정하고 작업을 실시하였다.

3. 수정방법

3.1. 개선가공

균열이 존재하는 부분을 사상으로 갈아내고 Fig.7과 같이 개선부를 가공하였다. 개선가공 완료후 자분탐상검사로써 균열의 존재여부를 확인하였다.

3.2. 용접방법

피복 Arc 용접을 이용하여 주철봉 AWS E

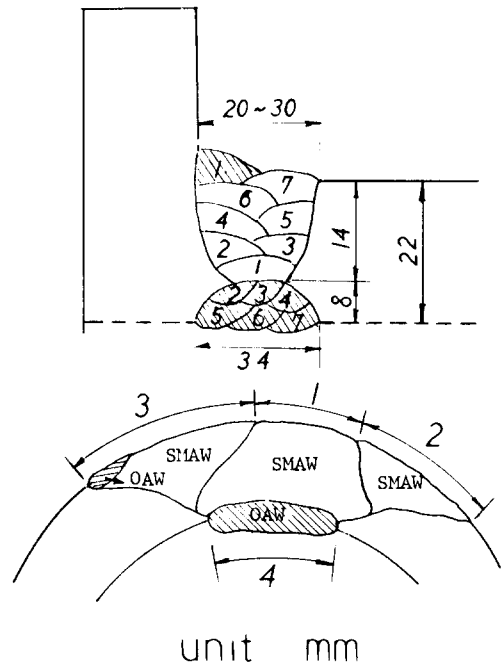


Fig.7 Schematic diagram of repair joint showing welding layers

Table 6 Weldability test results for multipass welding

Test No.	Electrodes ϕ mm	Brand Name	Current (A)	Preheat	PWHT	No. of Pass	Cracks
1	E CI, 4, 0	KL-100	150-160	600°C	650°C × 1hr	7	No
2	E CI, 4, 0	KL-100	150-160	500°C	650°C × 1hr	7	No
3	E CI, 4, 0	KL-100	150-160	300°C	Air Cooling	7	Yes(* Trans. Long.)
4	E CI, 3, 2	CI-500	100-110	300°C	Air Cooling	15	Yes(Long.)
5	R CI, 5, 0	GR-CFGP	-	500°C	600°C × 1hr	3	No
6	ENi-CI, 3, 2	CI-500	100-110	100°C	Air Cooling	15	Yes(Long.)
7	ENi-CI, 3, 2	CI-500	100-110	RT	Air Cooling	15	Yes(Long.)

* Trans. : Weld metal transverse cracking
 Long. : Longitudinal fusion line cracking

CI(KL-100)6.0mm를 사용하였다. 고전류(250A)로 인해 Undercut이 생긴 부분과 Valve안쪽은 AWS R Cu-Zn-B(황동) 3mm를 이용하여 산소 아세틸렌 Gas용접을 행하였다. Photo.9에서 보듯이 예열 및 후열은 전기를 사용하고 Heating Element는 Ceramic Fiber Wool로 완전히 덮었다. 예열은 500℃ 후열은 650℃에서 1.5시간 유지후 시간당 120℃로 400℃까지 냉각한후 공냉시켰다.

Fig.7에서 보듯이 용접부위를 3등분한 이유는 용융금속의 유동성이 매우 높아 흘러내림을 방지하기 위해서는 모재를 돌려가며 Flat자세를 지켜야 하기 때문이다. 산소아세틸렌 용접은 Fig.7에서 표시된 부분에 행하였고 Flux는 붕사(Na, B, O)를 사용하였다.

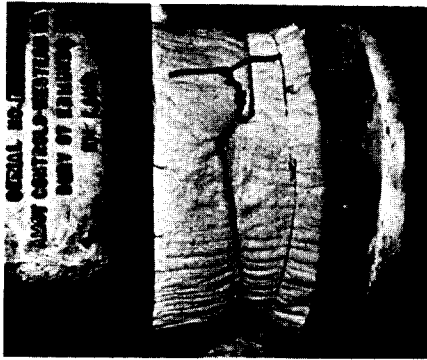


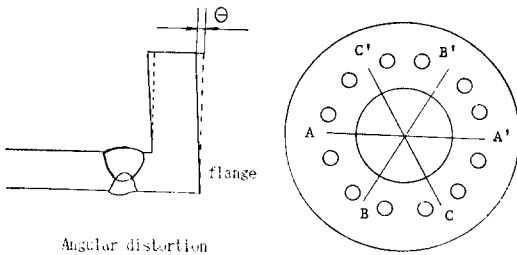
Photo. 9 Oil thermostat valve being repaired

3.3. 검사

용접이 완료된후 용접부를 사상하여 모재의 두

Table 7 Distortion measurements(mm)

Status location	Before welding	After welding	Difference
θ	0.55	2.0	+1.45
AA'	222.85	222.90	+0.05
BB'	223.50	223.40	-0.10
CC'	242.35	242.40	+0.05



께와 동일하게 가공후 비파괴자분탐상검사 결과 균열은 발생하지 않았다. 용접후 변형은 Table 7에서 보듯이 Flange부분의 각 변형이 많이 일어났으나 구경의 변화는 거의 없음을 알 수 있다.

IX. 맺음말

주철용접은 주철의 종류에 따른 금속학적 특성을 잘 이해하고 이들에 맞는 용접방법 및 조건을 잘 선택하여 적용하면 성공적인 결과를 얻을 수 있다.

본고에서는 주로 용접시 결합발생 유·무의 작업 용접성 측면에서만 고찰하였는데 사용조건을 만족시킬 수 있느냐의 사용성능 평가 측면도 중요하다. 특히 용접부의 피로강도 등은 장기적으로 연구가 되어야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

- 1) BS310 'Blackheart malleable iron castings,' London, British Standards Institution, 1972.
- 2) G. F. Sergeant, and E. R. Evans; The production and properties of compacted graphite irons, British Foundryman, 71, (5), (1978), pp. 115-24.
- 3) Anon; Compacted graphite cast iron-a new metal for the foundryman, Fosco Foundry Practice(200), (1979), pp.10-14.
- 4) Yu Ya Gretskaa, V. A. Metlitskii; Mechanized welding and deposition of iron containing spheroidal graphite using cored electrode wire, Automatic Welding, 24, (10), (1971), pp. 38-41.
- 5) R. A. Bishel; Flux-cored electrode for cast iron welding, Welding J., 52, (6), (1973), pp.372-81.