[redacted]

용접 하드페이싱기술

김 광 수

Weld Hardfacing Technology

G.S. Kim

김광수/순천향대학교 신소재공학과/1958년생
/Power Plant 재료 및 비철재료의 용접야금 및 용접공정

1. 서 론

하드페이싱이란 금속의 표면에 경도가 높은 금속층이나 또는 금속/세라믹 혼합층을 용착시켜 표면 경도를 향상시키는 방법을 말한다. 하드페이싱은 여러 가지 용어로 불리어지는데 예를 들면 표면경화 서페이싱(surfacing), 덧살붙임 용접 또는 살붙이기 용접 등이 있다. 표면경화법으로는 용접 공정에 의하지 않고 열처리에 의하여 표면을 다양하게 경화시키는 침탄, 침질, 고주파 등 열처리 방법 또는 물리증착법(PVD), 화학증착법(CVD), 이온플레이팅법(ion plating), 스퍼터링(sputtering)방법 등도 있으나 이러한 방법들은 용접에 의한 경우보다는 비교적 표면 경화층의 두께가 얇기 때문에 적용분야가 다르다고 할 수 있다. 용접과 관련하여 역시 재료표면의 경화를 목적으로 아크, 플라즈마(Plasma), 고속용사(spray) 등의 방법도 많이 활용되고 있다. 그러나 이 방법들 역시 용접공정에 비하여는 표면경화층의 두께가 얇거나 모재와의 혼합 용융이 일어나지 않기 때문에 차이가 있다고 할 수 있다. 본 강좌에서는 위에 설명된 대로 여러 가지의 하드페이싱 방법중에서도 아크 용접공정에 의하여 이루어지는 공정들에 관하여 소개하고 실제 시공에 관련된 작업자들에게 도움이 되는 사항들에 대하여 설명하고자 한다.

2. 하드페이싱의 적용분야

다양한 산업설비 및 기계 부품은 사용 상태에 따라서 마모되고, 산화되거나 또는 부식에 노출된다. 이와 같이 설비나 부품 등의 표면에 국부적으로 기계적인 마모나 환경의 영향으로 산화 및 부식 등이 발생하는 경우 손상된 부품의 전부를 특성이 우수한 재료로 바꾸는 것은 많은 비용이 요구된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 손상된 부분이나 표면을 내마모성, 내산화성 또는 내식성 등이 우수한 재질의 용접봉을 사용하여 표면층을 새로 만드는 경우 고가의 재료를 절약 할 수 있고, 용접공정에 의하여 시공될 수 있기 때문에 비교적 경제적이면서 그 효과는 매우 크다고 할 수 있다. 일반적으로 기계설비는 원래의 가공치수를 유지하였을 때 가장 생산성이 높으며, 생산 제품의 품질도 우수하다. 하드페이싱 용접은 이 유효치수의 수명을 최대로 유지시킴으로서 생산제품의 품질을 향상시키고 보수 주기도 줄이며, 고가의 부품을 경제적으로 재생시킬 수 있다. 아크 용접에 의한 하드페이싱은 본래의 소재 표면에 약 1mm 이상의 두께로 내마모, 내식 또는 내열성이 우수한 용접금속을 아크 용접공정에 의하여 입히는 방법으로서, 그 특징은 다음과 같다. 모재와 다른 화학성분임에도 완전 용융 혼합되어 모재와의 접착강도가 높다. 용착속도가 높고, 두께 제한이 없으며 또한 두께 조절이 용이하다. 불활성 가스나 용융 슬래

그에 의하여 용접부가 보호되기 때문에 용접부의 품질이 우수하다. 용접성이 우수한 모재를 선택하여 강도와 인성을 겸비할 수 있다.

3. 하드페이싱 아크용접의 종류

3.1 피복아크용접법(Shield Metal Arc Welding)

일반적인 수동 용접법으로 소모 전극식이다. 아크 용접 하드페이싱 공정중 가장 간단하고 경제적인 방법이다. 용접봉의 크기는 일반 피복 아크 용접봉의 크기와 유사하지만 내부의 심선과 피복재는 특별한 화학성분으로 구성되어 있어 내마모, 내식성에 우수한 특성을 갖도록 되어 있다. 용접시에는 주로 직류역극성(DCEP)을 사용하고, 용접봉의 종류도 매우 다양하다. 반면에 주로 직류역극성을 사용하기 때문에 용입이 깊고, 약 20%정도의 희석률은 표면경화층의 경도를 낮출수 있으므로 중복하여 2-3층정도의 용접비드를 만들어주어 표면의 내마모성을 향상시켜 주는 것이 바람직하다.

3.2 티그용접법(Tungsten Inert Gas Welding)

비소모성 전극식의 용접법으로 일반 티그 용접에서와 같은 방법으로 표면 경화층을 만들 수 있으나, 일반 용접공정과 달리 하드페이싱용 단락 용접봉이나 스풀(spool)형태의 용접봉을 사용하여 경화층을 만든다. 주로 금형(die)의 국부적인 보수에 사용될 수 있을 정도로 경화부의 품질이 우수하다. 단락용 용접봉은 수동으로 작업하여 용착률이 낮지만, 스풀형태의 용접봉은 용접봉을 연속으로 공급할수 있는 장치(wire feeder)를 부착하여 용접하는 경우 품질 및 생산성면에서도 만족할 만한 표면 경화층을 얻을수 있다. 또한 연속 용접봉의 공급시 에도 용접봉이 용융부에 도달하기전에 예열하여 송급하는 핫와이어(hot wire)방법을 적용하면 용착률을 현저히 증가시킬수 있다. 반면에 피복아크 용접에 비하여 희석률이 약간 높기 때문에 용접시 아크의 열을 모재에 집중하기 보다는 용접봉의 용융에 집중하도록 하는 방법을 채택하여 희석률을 줄일수 있다.

3.3 가스메탈아크용접법(Gas Metal Arc Welding)

가스메탈아크용접 공정에 의하여 표면 경화층을 만드는 경우에도 용접시와 동일한 방법에 의하여 경화층을 제조하게 된다. 사용되는 가스의 종류에 따라 알곤(Ar), 또는 헬륨(He) 등의 불활성 가스를 사용하는 경우(MIG)와 이산화탄소(CO_2)나 이산화탄소(CO_2)에 산소(O_2), 알곤(Ar)를 추가하여 사용하는 경우(MAG)로 크게 대별된다. 용접시 하드페이싱용 와이어의 공급은 스프레이아크(spray arc)나 단락형아크(short arc) 형태로 용착된다. 단락형 아크는 스프레이식에 비하여 희석률이 낮은 편이고 용착률도 낮다. 용접중에는 스패터의 발생으로 인하여 티그 용접에 비하여 용접비드의 외관이 거칠지만 티그에 비하여 용착률은 높다고 할 수 있다. 한편 경화층의 제조시 용접토오치를 위빙(weaving)하게 되면 경화층의 용착량을 증가시킬 수 있다.

3.4 프라즈마 아크용접법(Plasma Arc Welding)

모재와 비소모식 텅스텐전극 사이에서 발생하는 아크를 열원으로 하여 티그 용접과 유사하지만 보호가스 이외에 플라즈마 가스를 공급하여 2차 열원으로 활용하는 것이 티그 용접과 차이가 있다. 아크의 집중력이 우수하여 다른 용접법에 비하여 희석률이 낮다. 용착률은 티그에서와 같이 연속용접봉을 가열하여 공급하거나 동시에 두 개의 스풀에서 용접봉을 공급하여 경화층을 만든다. 경화재료로는 다른 아크 용접 방법에서와 같이 선재를 사용하기도 하지만 분말을 사용할 수 도 있다. 분말을 이용한 경화층 제조시에는 프라즈마 이행아크(plasma transferred arc)를 이용하게 되는데 이때 분말은 불활성 분위기의 플라즈마 토치로 이송되어 직접아크로 분출되면서 용해되어 모재에 공급되고 용융결합을 하게 되면서 경화층이 만들어진다. 그러나 이 경우에는 봉 상태의 용가재를 사용하는 용접에 비하여 용착률은 낮다.

3.5 서브머지드 아크 용접(Submerged Arc Welding)

대형롤 등의 하드페이싱에 주로 사용되고 자동화 공정이므로 작업자의 숙련도에 의존하지 않고 이루어지기 때문에 대량 생산용에 적합하다고 할 수 있다. 용접부가 용접중 플럭스에 의하여 대기로부터 보호 받게 되고 아크도 외부로 노출되지 않아 작업환경이 좋다. 반면에 용접전류 범위가 높은 이유로 용착률이 크고 희석률도 비교적 높다. 용착률을 증가시키기 위하여 용접봉이 봉대신 밴드타입의 용접봉을 사용하거나 용접시 위빙 등에 의하여 용착률을 향상시킬 수도 있다. 단점으로는 용접중 플럭스의 공급이 원활해야 하기 때문에 복잡한 형상의 부품에는 적용하기 힘들고 지름이

큰 원통형이나 평판에만 제한적으로 적용되고 있다.

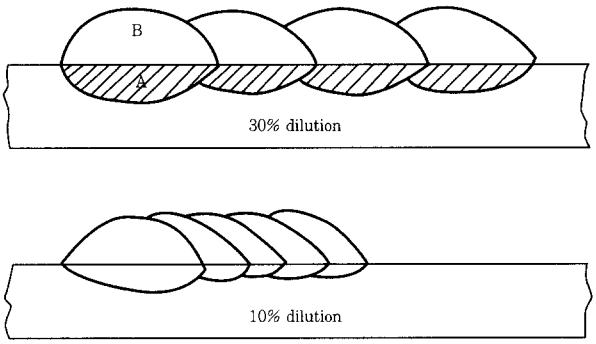
4. 하드페이싱 용접 시공시 고려해야할 사항

4.1 하드페이싱 용접재료의종류 및 특성

하드페이싱용 용접재료는 모재의 사용 환경에 따라 분류된다. 일반적으로는 내마모, 내식 등으로 구분하지만 세부적으로는 충격마모, 미끄럼마모, 산화, 부식, 내열성 등으로 여러 특성에 따라 선택하여 사용하여야 하기 때문에 용접재의 선택에 신중을 기하여야 한다. 아래표는 각종 사용환경에 따른 하드페이싱용 용접재료에 대하여 간단히 나타냈다. 한편 이들 합금들에는 다시 세분하여 그 특성을 달리하므로 용도에 맞는 재료를 선택하기 위해서는 용접 · 접합 편람이나 가타 자료 등을 참고하는 것을 추천한다.

4.2 희석률(Dilution Rate)

하드페이싱 용접공정의 근본적 차이는 희석률이다. 희석률은 용해된 모재의 양(A)과 하드페이싱 용접봉의 양(B)의 합에 대한 모재의 용해된 양(A)의 비율을 말한다 이것을 수식으로 나타내면 아래와 같다. ***A/(A+B) x100 %***.(그림참조) 하드페이싱에서 희석률은 용접봉과 모재의 화학조성, 용접공정 그리고 용접 기술에 의존한다. 희석률의 증가는 본래의 목적인 표면층의 경도 값을 유지하기 어려울 것이며 따라서 가능하면 희석률을 적게 하여야 한다. 일반적으로 선택된 모재에 대하여 목적하는 경도를 갖기 위한 용접봉이 선택된 이후에는 가능하면 희석률이 적은 용접공정을 선택하여야 할 것이다. 그러나 모재의 형상이 특별한 경우에는 적용할 수 있는 용접공정이 제한 되게 된다. 따라서 제한된 용접공정에서는 작업자의 용접기술을 활용하여 희석률을 낮추는 방법이 최선이 되리라 생각된다. 아래 그림 에서 보는 바와 같이 동일한 소재와 용접공정을 이용하여 경화층을 제조하는 경우에는 최선의 방법은 용접비드를 다수의 오버랩핑(overlapping)하므로서 희석률을 낮출 수 있을 것이다.



그러나 이러한 방법은 고가의 용접봉을 소비해야 하기 때문에 경제성을 고려해야 한다. 위에서 언급한대로 용접공정이 선택되면 희석률은 거의 정해지지만 용접변수를 조절하면 희석률을 줄일수 있다. 일반적으로 희석률은 10-15%가 가장 적절하다. 희석률이 10% 미만이면 접합의 신뢰성에 문제가 있을 수 있고 15% 이상이면 용접봉의 사용량이 증가하므로 비경제적이다. 따라서 하드페이싱에서는 희석이 불가피하고 하므로 용접변수 조절에 대한 많은 경험과 검토가 이루어져야 한다. 기본적인 용접 변수에 관하여 살펴보면 다음과 같이 설명된다.

- 전류:전류의 증가는 용입이 깊어지기 때문에 모재의 용해량이 증가하고 동시에 희석률의 증가를 초래한다.
- 분극성; 직류용접인 경우 역극성은 정극성에 비하여 용입이 낮기 때문에 희석률이 낮으며, 교류인 경우에

하드페이싱 용접재료	사용환경
아공정Co계 합금 No.1	금속과 금속간의 미끄럼마모, 높은 접촉응력
저합금 용접재료	금속과 금속간의 미끄럼마모, 낮은 접촉응력
부식환경에 적합한 대부분의 Co 및 Ni계	부식, 산화와 공존하는 금속과 금속간의 미끄럼 마모
고합금 주철	낮은 응력의연삭마모, 낮은 입사각의 침식
탄화물	낮은 응력의 심각한 연삭 마모
Co계 합금	캐비테이션 침식
고합금 Mn강	높은 하중의 충격
아공정 Co계 합금	부식, 산화와 공존하는 높은 하중의 충격
오스테나이트계 Mn강	가우징 연삭마모
Co계 합금과 Ni계 탄화물 복합 합금	고온에서 열적인 안정성과 내크리프성
아공정 Co계 합금 No.21과6, 라베스상의 Co계 합금	골링(galling)

는 역극성과 정극성의 중간정도다.

• 전극의 크기:직경이 작은 전극일수록 전류가 낮으므로 희석률은 감소한다.

• 전극의 돌출길이 : 미그나 서브머지드 용접시에 소모식 전극의 돌출길이가 길면 희석률이 감소하고 짧으면 희석률이 증가한다.

• 용접속도 : 용접속도가 느리면 모재의 용해량이 적고 용접봉의 용해량은 증가하여 희석률은 감소한다.

• 진동 : 전극의 진동폭이 커지면 희석률은 감소하고 진동 주파수 역시 희석률에 영향을 미치며, 주파수가 높을수록 희석률은 더욱 감소한다.

4.3 용접균열

일반 용접에서도 그렇지만 하드페이싱 용접시에도 가장 큰 문제점은 균열의 발생이다. 하드페이싱 용접의 경우 균열 발생이 허용되는 경우도 있지만 균열의 발생은 궁극적으로 경화층의 내식성이나 내마모성을 저해하거나 용접물의 전체적인 파괴로 이어질 수 있으므로 균열발생을 저지하는 용접공정을 채택할 필요가 있다. 용접시 균열발생을 방지하기 위한 방법으로는 예열 및 후열처리를 하는 열처리 방법과 적절한 용접재료를 혼용사용하는 방법 등이 있다.

• 예열

예열은 열영향부의 경화저감, 잔류응력완화, 서냉 등의 효과가 있기 때문에 균열이나 변형 방지 등의 목적으로 모재 및 용가재에 적합한 예열이 필요하다. 예열온도가 낮으면 균열의 원인이 되지만 너무 높은 경우에는 용입이 과대하여 용접금속이 모재의 영향을 받게 되어 목표의 성능을 얻기 어렵게 된다. 예열의 방법으로는 가스토오치, 전열체 또는 전기로 등을 이용하여 행할 수 있다.

• 용접재료의 적용

하드페이싱이 될 모재의 특성이 균열에 매우 민감한 재료인 경우 모재에 직접 하드페이싱재료를 입히게 되면 모재의 균열감수성은 더욱 증가하게 된다. 이러한 경우에는 부품의 성능을 저해하지 않는 범위에서 하드페이싱을 하기 이전에 모재에 저수소계 용접봉이나 오스테나이트계 스텐레스강 용접봉을 이용하여 응력이 완충을 만든후에 하드페이싱 경화층을 만들어 균열 감수성을 낮출수 있다.

• 후열처리

하드페이싱이 요구되는 대상품 등은 일반적으로 경화능이 우수한 재료가 많기 때문에 용접이 완료된 후에는 후열처리를 반드시 시행해야 한다. 이때 후열처리는 두가지 공정으로 이루어질 수 있는데 용접이 완료되자 마자 용접부를 그대로 냉각하기보다는 가스토오치를 이용하여 냉각속도를 적절히 조절하거나 소형 부품에 대하여는 전기로 등에 장입하여 약 200-300℃에서 유지하면서 서냉하도록 하는 것이 좋다. 이 다음 공정으로는 용접시에 발생된 잔류응력을 제거하기 위한 방법으로 약 450-550℃의 온도에서 다시 한번 후열처리를 해주므로서 균열 발생을 방지 할 수 있다. 대부분의 경우에는 고온에서의 후열처리 한번으로 후열처리를 해주는 마무리하는 경우가 많다. 후열처리의 온도는 고온일수록 응력 완화에는 효과적이지만 하드페이시 원래의 목적을 위하여는 너무 고온이나 장시간의 후열처리는 피하는 것이 좋다.

5. 결 언

지금까지 용접 하드페이싱의 특성 및 공정 등에 대하여 간략하게 소개하였다. 용접 하드페이싱은 외국의 경우 소재의 개발이나 공정 정량화 등에 대하여 많은 기술적 자료 등이 축적되어 있으나, 국내에서는 최근 들어서야 산업 설비의 성능 향상이나 수명 연장 등에 적용하기 위하여 그 수요가 증가하고 있는 실정이다. 그러나 앞으로 공업 기술의 고도화는 이러한 하드페이싱 기술 적용범위를 더욱 확대되리라고 생각되므로 이 분야에 대한 많은 관심이 요구된다 하겠다.