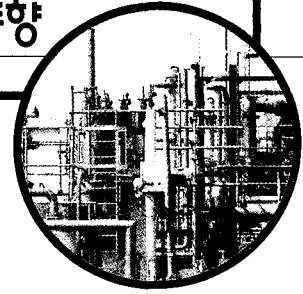


용접구조물의 안전시공을 위한 현장기술과 용접기술 동향

Field Welding Technology for Safe Manufacture of Welding Structure & Recent trend of Welding Technology



글 / 柳澤仁

(Yu, Teak In)

용접기술사, 비파괴검사기술사, 공학박사
한국산업기술대학교 기계공학과장/교수.
E-mail: yti@kpu.ac.kr

In recent days, welding technology developed in various field of industry, a ship, a building, a structure, a high pressure vessel ect. A welding structure should be base on a safety. Welding engineers and welding technicians have a problem in acquiring welding technology, because young people avoid state of the art, beginning their careers in this field. The optimum welding state depends upon the most welding condition, mechanical properties of the base metal, welding processes and arc stability. Base on these fact, the suitable parameters of welding condition can be found through various welding experiments. Therefore, it is very important for welding professional engineers to take an active role in advancing new welding technology.

1. 개 요

용접기술은 금속부재를 이음하는 접합기술로서 산업기술의 발달로 용접구조물은 대형화(大型化), 고압화(高壓化), 극저온화(極低溫化) 및 여러 가지 신소재 개발과 더불어 다양한 용접기술이 발달되었다. 선박, 플랜트, 교량, 건축구조물의 대형화는 고장력강(高張力鋼)과 후판(厚板) 사용으로 용접성(熔接性) 저하, 다층(多層)패스로 인한 용접시공기술, 잔류응력(殘留應力) 제거 및 시험검사기술이 변화를 가져왔다.

안전한 용접구조물은 수명보증기간까지 형상과 기능변화 없이 소요성능을 만족해야 하므로 완전한 용접시공이 요구된다. 용접부는 용접열에 의해 용융된 후 응고과정에서 열응력, 조직불균일, 이물질(異物質) 혼입 및 대기중의 산소, 수소, 질소 유입으로 용접결합이 발생된다. 용접시공 현장에

서 짧은 시간에 용접기술 적용여부, 용접조건 설정과 환경영향이 크게 작용한다. 용접기술과 용접사 기량이 부적절할 경우 수명단축 또는 사고로 연결되며, 교량, 건축물, 수송기계의 사고 뒤에는 항상 용접문제가 거론되었다. 따라서 용접구조물 안전시공(安全施工)을 위해서는 고도의 용접기술 발전과 용접기술자 확보가 수행되어야 한다.

2. 용접기술의 현황

우리나라는 1970년대 중화학공업 육성과 더불어 산업구조가 전환되면서 조선공업, 화학 플랜트, 원자력발전소와 같은 강구조물(鋼構造物)을 중심으로 양적 및 질적으로 팽창을 바탕으로 현재 조선분야는 세계적으로 선두위치에서 호황기(好況期)를 맞고 있다. 용접재료 기술발전은 용접재료 제조사의 연구와 노력으로 여러 분야에서 국산

화 실현 및 국내외적으로 품질인정을 받고 있다. 용접기술은 주로 용접야금(熔接冶金), 용접물리, 용접역학 및 설계, 용접시공 및 시험검사에 대한 연구와 용접사 기량점검은 한국산업규격에 용접 방법과 모재(母材)에 따른 용접자세와 모재두께에 대해 판정기준과 시험방법이 있다.

1960년대 건축물과 선박의 대형화에서 인장강도(引張強度) 50kgf/mm² 이상의 고장력강 사용으로 용접성을 저하시키는 탄소당량(炭素當量) 상승으로 용접부 저온균열감수성(低溫龜裂感受性) 증대와 열영향부(HAZ) 확대 및 인성(靱性)저하로 대입열(大入熱) 용접시공이 제한되었다. 1972년 대한조선에서 CO₂아크용접봉 및 서브머지드 아크용접용 와이어(wire) 생산과 대형선박 건조용에 중력식(Gravity) 용접봉 채용, 1979년 POSCO에서 용접봉용 심선재(心線材) 개발, 1980년대 서브머지드(submerged) 아크용접용 FLUX 개발로 획기적 발전을 가져왔다.

기존 고장력강의 인성확보를 위해 저수소계 용접봉 사용, 짧은 비드(bead), 예열(豫熱) 및 선상가열(線狀加熱)이 필요하였으나, 1980년대 TMCP강재 개발로 고장력강의 제약해결과 대입열 용접시공이 가능해졌다. FCW(Flux Cored Wire)개발로 클래딩(Cladding) 이중부재용접(二重部材熔接) 및 마모재의 경화육성(硬化肉成) 용접재료가 개발되었다. 서브머지드 아크용접용 플럭스 및 용접기술 개발은 후관 부재를 고효율적으로 수행하여 고층 건축물, 교량건설에 가능하였으며, LASER용접, 전자BEAM용접, 확산용접(擴散熔接), 마찰용접(摩擦鎔接), 폭발용접(爆發熔接)이 산업현장에서 사용되고 있다.

3. 주요 용접관련 산업의 특성

용접시공은 다양한 분야에서 여러 용접법으로 시

공되고 있으나 주요분야에서의 특성은 다음과 같다.

3.1 금형제작 분야

많은 일용품 및 기계제품이 금형을 이용하여 생산되며, 플라스틱 몰드 금형제작에 있어 설계변경 및 가공기(加工機) 프로그램 입력착오가 발생하면 잘못 가공된 부위를 가우징(Gouging)한 후 보수 용접한 후 재가공 한다. 이러한 보수 용접부는 사출제품(射出製品)생산에 있어 노즐(Nozzle)에서 약 350℃ 고온고압의 수지(樹脂)가 금형 내부로 충전될 때 반복하중 작용 및 금형 온도가 상승되며, 제품 탈착(脫着)을 위해 금형 내부는 냉각수 유동으로 약 50℃로 냉각됨으로써 온도변화가 심하게 된다. 이와 같은 반복하중과 온도변화는 피로파괴(疲勞破壞)와 취성파괴(脆性破壞)의 원인이 되어 사출성형 중에 용접부가 이탈된다. 금형제작은 납기(納期)에 쫓기어 정상적인 예열(豫熱), 후열처리(後熱處理) 등의 열처리의 어려움에서 기인된다. 또한 알루미늄 다이캐스팅 금형에서도 용융소재(溶融素材)가 노즐에서 충전될 때 고온피로(高溫疲勞) 현상발생으로 미소크랙이 발생된다. 이러한 현상을 방지하기 위해서는 금형소재의 기계적 성질과 소재 적정한 열처리 조건과 열처리로(熱處理爐)를 사용함으로써 감소시킬 수 있다.

3.2 조선 분야

선박건조는 대부분 주문생산으로 선종(船種)과 선형(船型)이 달라 용접부위가 다양하여 자동화 적용에 한계성을 갖는다. 선체는 장기간 항해에서 반복하중과 부력변동(浮力變動)과 엔진작동에서 발생하는 진동으로 인한 피로균열(疲勞龜裂)이 발생된다. 피로파괴의 기점은 형상불연속부(形狀不連續部), 개구부(開口部), 끝단부, 용접이음부에서 응력이 집중된다. 대형선체는 평판에 프레임이 용접된 상태로 중량이 5~10톤 정도의 소조립(小組立) 단계와 소조립이 조합된 일정모양의

50톤 정도의 중조립(中組立) 구조물이 모여져 입체블록을 형성하여 300~500톤 가량의 대형조립물이 대형크레인으로 운반되어 결합된다.

3.3 자동차 제조분야

자동차 제조현장에서 용접은 차체조립공정에서 스폿저항용접과 아크용접이 주로 사용된다. 스폿용접은 6mm이하 판재(板材)를 로봇(ROBOT)이나 자동건(AUTO GUN)을 이용하며, 차종에 따라 3500~4000 Point가 고속용접 된다. 스폿용접은 용재(溶材)나 용가재(熔加材)가 없이 용접되며, 용접 후 열변형 및 잔류응력이 작고, 통전시간(通電時間) 및 가압력(加壓力)이 미리 설정되어 용접사 기량에 영향받지 않는다.

3.4 압력용기 제작분야

용도 및 크기에 따라 원자력발전소에서 사용하는 압력용기에서부터 소형 반응로까지 다양하며, 압력용기 설계제작은 작동압력을 고려하여 적절한 소재와 치수선정을 통한 강도설계와 가공능력, 용접설계를 통한 종합적 요소가 고려되며, 산업구조상 관련설계자가 분할설계 된다. 원자력발전설비 제작 및 압력용기 제작사에서 많이 사용되는 자동용접기 및 용접기 기능은 다음과 같다.

- BIG NOZZLE WELD M/C - 원자로 Vessel에 Nozzle이 설치되어 자동용접 되며 주로 Slope 1/3이상인 글로브에 적용된다. 회전롤과 자동용접장비를 동시에 작동시켜 전원주(全圓周)를 아래보기 연속용접이 가능하여 위치변화 자동조절 된다. 자동패스 Lay-out, Step-over기능, Auto Slag 제거 기능이 있다.
- G/S GANTRY WELD M/C - 후판 압력용기 원주용접을 협괘선 텐덤 SAW에 의한 전자동화 장비로서 회전롤과 자동용접장비가 동시작동 되어 속도 및 위치변화의 자동조절과 자동 플럭스 공급(送給)과 회수장치가 있

다. Grinding Machine, Auto Guidance, Auto pass Lay-out 및 Step-over기능이 있어 TV 모니터링 시스템에 의한 용접부 감시가 가능하다.

4. 용접기술과 연구분야

일반 구조물용접에서 아크용접은 전극봉(電極棒)과 모재에 단시간(斷時間)에 플라즈마(Plasma) 힘과 정전기력, 고전류 밀도로 용융지유동과 폭발적인 증발로 용가재는 용착되고 용접 조건에 따라 스패팅(spatting)발생과 이로 인한 용접결함이 발생된다.

용접기술은 전기, 물리, 화학공학을 기반으로 발전되고 기존 철강산업에서부터 초정밀가공, 신소재분야 의 첨단산업분야에서까지 이용되며, 주요 연구분야는 다음과 같다.

- 가) 용접야금 - 용접재료, 모재, 용접 입열량, 화학조성, 미세조직, 용접성, 기계적 및 균열특성 분야
- 나) 용접물리 - 일반 용접법, 전자빔 용접법, 레이저 용접법, 수중용접, 압접, Brazing, 용사, 절단, 자동화
- 다) 용접역학·설계 - 용접응력 및 변형, 강도 설계해석, 잔류응력과 피로균열 거동 및 측정, 열탄소성해석
- 라) 용접시공 및 시험검사 - 용접변수, 입열량, 용접열처리, 기계적 특성변화, 용사조건, 용접조건에 따른 비드 형상변화, 접착강도, 용사부 특성변화, 용접조건해석, 보호가스에 따른 내식성변화, 용접변수 분야 등

5. 용접기술인력의 확보

자원이 부족한 국가는 기술인력이 국가 경쟁력을

가질 수 있음을 볼 때 기술인력확보가 매우 중요하다. 용접은 산업생산의 기반기술로서 국가산업발전에 핵심분야에서 신소재개발과 비철금속의 사용확대로 용접기술 고도화 실현과 교육훈련 된 용접사가 필요하다. 용접이 기술적 또는 기능적인 면으로 조화롭지 못하면 인력확보나 다른 산업분야와 협력이 어렵게 된다. 용접작업은 정신적 및 육체적 건강을 바탕으로 품질이 향상되거나 작업환경이 열악하여 작업자의 건강이탈 및 젊은 세대들이 전문직업으로서 선택기피로 산업발전에 저해되고 있다.

우리의 용접기술은 용접전문의 조선, 원자력발전설비 및 압력용기 제작업체는 효율적 품질확보를 위해 지속적인 연구와 용접사 교육훈련이 비교적 체계적이어서 높은 수준에 있으나, 중소용접전문업체는 기술인력과 고기능 용접사 인력확보에 어려움 있다. 대형공사가 일정업체에 수주되어 하청중소업체에서 시공되는 현실에서 중소기업의 용접기술인력의 부족과 기술수준의 평준화가 시급하다. 국내 약 20여만 명의 현장용접기능자 중 절반가량이 자격증이 없고, 연간 많은 용접기능사 취득자중 15%정도만이 용접관련 정식교육을 받은 자이다. 또한 국내 4년제 대학에는 용접전문학과가 없고 기계과 및 재료금속과, 조선과 기타 학과에서 용접교과가 개설되어 있다. 2년 과정의 수원과학대, 천안전문대에 용접과가 있으나 매년 지원자가 감소하고 있다. 미국 OHIO주립대의 용접공학과, 일본 오사카대학(大阪大學), 독일 Achen, Braunschweig 대학, 중국 하얼빈대학에서 용접학과가 설치되어 전문인력을 양성하고 있다.

6. 용접부 구조설계와 취성파괴

용접구조물은 경제적이고 신뢰성 있는 구조물 제작을 목표로 용접재료, 사용구조부재, 용접부 이음형상, 용접순서 및 시공법이 결정되고 용접부

강도계산, 개선형상은 각 선급 및 spec.에 규정되어 있다. 이음부 형상은 보통 정적강도(靜的強度)에는 큰 영향은 없지만 용접결함 및 기하학적 형상에 의한 응력집중 피로강도에는 큰 영향을 준다.

용접부 강도설계에 있어 재료역학적 면을 고려한 소성항복(塑性降伏)과 최대부하(最大負荷)에 기본을 둔 정적파괴, 피로수명과 피로한도에 기본을 둔 피로파괴, 균열한계를 고려한 응력부식균열(應力腐蝕龜裂)을 고려해 설계된다. 용접구조물의 사고는 잔류응력부, 토우(toe)부, 필렛(fillet)부에서 발생되고 취성파괴나 피로파괴가 원인이 되며, 열영향부(HAZ)에서 저온균열, 취화발생, 형상불연속부 및 응력집중부는 결함발생 가능부위에서 파괴기점이 된다.

기계적 성질이 우수한 용접부재 및 구조물설계가 양호할 지라도 용접열에 의해 구조부재의 성질 변화 및 용접부나 용착금속 성질이 모재와 차이가 원인이 된다. 과거 다수의 희생자를 냈던 성수대교 사고와 이미 논란된 바 있는 최근 완공된 모건물 철골트러스 부재균열은 용접시공과 관련이 깊다. 취성파괴는 온도변화가 심하고 반복하중을 받는 구조물에서 허용응력 이하에서도 발생되며, 파괴진전속도가 200~2000m/s로서 대형선박이 침몰되기도 한다. 취성파괴는 주로 용접 열영향부에서 발생되므로 구조물 안전성을 위해 허용한계 이하에서도 균열발생과 성장도 파괴력학적으로 평가되고 시공되어야 한다.

향후 계속되는 고속전철, 대형철골구조물 건설에 있어 용접결함으로 인한 사고예방과 용접구조물 신뢰성을 위해 지속적인 용접기술과 장비 및 용접재료가 발전되어야 한다.

7. 용접품의 품질향상

용접품의 품질관리는 적용범위가 광범위하고

데이터의 일관성과 분석처리가 난해하나 ISO 9000의 채택과 원자력발전소 건설관련 기자재 제작업체 ASME Code Stamp 취득과 관련업체가 품질보증을 위해 노력하고 있다. 용접품의 품질향상을 위해 용접품 내부결합에는 방사선탐상(RT)이 주로 이용되나 초음파탐상(UT)의 신뢰성구축과 데이터처리 및 자료저장, 화상처리, 자동분석 등의 장비가 계속 개발되어 향후 초음파탐상이 주류를 이룰 것이다.

8. 미래의 용접기술 동향

현재 용접관련 플랜트 분야에서 자동 및 반자동 용접의 적용은 증가추세에 있고 생산성, 품질시스템 확보와 시공원가, 기능숙련, 작업성, 피복아크 용접봉을 이용한 시공이 동등하게 유지될 것이다. 향후 대형구조물 후판용접에 있어 레이저용접 및 전자빔용접법 현장적용과 저온강용, 내후성강용(耐候性鋼用), 내열강용, 스테인레스강용, 표면경화 육성강용, 니켈 및 니켈합금 플렉스 개발과 품질고도화가 필요하다. 자동차, 항공기의 수송기계에서 정밀용접을 위한 마찰용접, 프로젝션 용접, 레이저 용접, 전자빔용접 채용비율 증가와 경량화를 위한 비철금속 사용증가로 철강재료 용접재료의 사용비율은 감소될 것이다. 대형 용접구조물 제조업체에서 solid 및 Flux cored 용가재의 CO₂아크용접 유지와 품질정밀도 및 작업환경 측면에서 폭발용접, 저항용접, 플라즈마 아크용접, 마찰용접의 사용이 전망된다. 향후 용접비 원가 절감, 용접법 개발, 이음효율 향상을 위한 홈 가공법의 추진은 용접재료의 수요저하가 예상된다. 용접자동화, 로봇화 실현으로 다양한 소재개발과 용접기술개발과 초정밀가공을 위한 첨단 용접기술 요구로 무인화, 성력화로 확대되고 있다.

최근 철강재료, 비철금속 및 합금수요의 증가로 TIG, MIG 용접재료 증가도 예상되며, 이들에 대한 고상용접 및 전자빔용접의 실용화 및 복합재료, 세라믹 접합효율을 위한 접합기술 개발이 요구된다. 용접재료 기술은 접합기구, 용접에너지, 환경부식, 피로파괴현상, 이음거동은 용접분야와 밀접하고 공정관리기술 전문화로 전문인력 확보와 저변확대가 시급하다.

9. 결 언

현재 용접구조물을 시공하는 중소기업의 전문기술 인력부족 현상은 국가경쟁력 저하를 초래할 수 있어 체계적인 기술인력양성이 시급하다. 대형 용접구조물 설계에 있어서는 정적구조설계와 더불어 컴퓨터를 이용한 구조해석에 의한 강도평가와 정확한 하중설정 및 통계처리를 통하여 파괴력학적 개념이 도입된 안전한 구조설계가 필요하다. 또한 각종 기계부품에서 고도의 기계적 성질향상의 요구로 신소재 개발과 이들의 효율적인 이용을 위해서는 다양한 접합기술 개발이 선행되어야 한다.

최근 산업구조변화로 인한 정보통신분야 활성화로 고급인력 집중과는 달리 노동집약적 산업 쇠퇴로 용접분야의 인력이탈로 용접가공비가 상승하고 있다. 이러한 환경극복을 위해 지속적인 용접재료 및 용접기술 R&D 시스템의 구축, 품질향상을 위한 검사기술 및 검사장비가 개발되어야 한다. 지금이야말로 많은 경험을 가지고 여러 분야에서 활동하고 용접기술사의 역할이 강조되고 있으며, 국가는 전문적인 용접 기술인력양성과 용접품의 고품질화 및 생산성향상을 위한 사회적 제도를 확립해야할 시점에 있다.

(원고 접수일 2001. 3. 21)