고능률 용접프로세스의 발전동향

김환태*, 길상철**
*한국과학기술정보연구원 ReSEAT 프로그램
**한국과학기술정보연구원 정보분석센터
e-mail:htkimm@kisti.re.kr

Trend of the welding process technology

H. T. Kim*, S. C. Kil**
*Reseat Program, Korea Institute of Science and Technology Information
**Information Analysis Center, Korea Institute of Science and Technology Information

요 약

The increasing interest in the welding process technology is placing stringent demands on the manufacturing techniques and performance requirements, and the manufacture employs the high quality and efficiency welding process technology. This paper covers recent development trends of the welding process technology including the GTAW, PTAW, FSSW, etc..

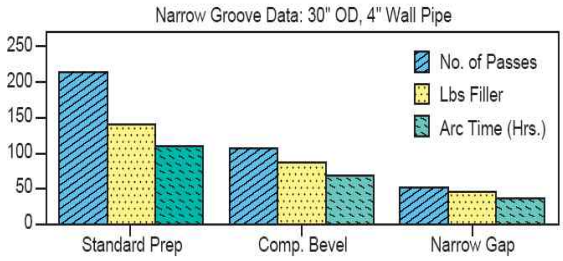
1. 서론

최근 선진국을 중심으로 조선, 자동차, 발전설비와 화학장치 등 중화학산업 설비 제조업에 핵심적으로 사용되고 있는 플럭스코어드 아크용접(FCAW), 가스텅스텐 아크용접(GTAW), 서브머지드 아크용접(SAW) 등 아크용접공정의 생산성과 효율을 높이고 품질과 신뢰성을 향상시키기 위한 기술개발이 활발히 수행되고 있다. 또한 자동차 분야에서는 에너지 절약과 지구환경 보호를 위한 하이브리드카, 연료전지차, 지능형자동차 등의 미래형 자동차에 대한 연구가 급속도로 진행되면서 미래형 차세대 자동차에서 해결해야 될 핵심기술 중의 하나인 경량화를 위한 알루미늄합금, 마그네슘합금 등 경량화 소재와 고강도를 갖는 철강재료의 이종소재 용접을 위한 Full Digital Welding Technology, Advanced Beam Welding Technology, High Quality Spot Welding Technology 등 첨단용접기술이 개발되고 있다. 이와 같은 고능률 용접기술은 세계 자동차시장, 전자기기 시장, 조선시장, 에너지산업분야 등에서 품질과 경제성 및 경쟁력을 확보하는데 핵심적인 생산기술로서 이에 대한 국내 연구와 개발의 중요성은 매우 크다고 판단된다. 이번 발표에서는 고능률 용접기술 분야에서 지식기반 산업사회를 선도해 나갈 수 있도록 한국과학기술정보연구원이 보유하고 있는 학술정보와 최근 조사된 국내외 학술대회의 발표 자료를 중심으로 가스텅스텐아크용접, PTA 오버레이용접 등에 관한 국내외 기술문헌을 통해 최근의 연구 동향을 조사하였으며, 최근 10년간 SCI(E)에 수록된 마찰교반점용접에 관한 학술정보를 분석하였다.

2. 고능률 용접프로세스 기술

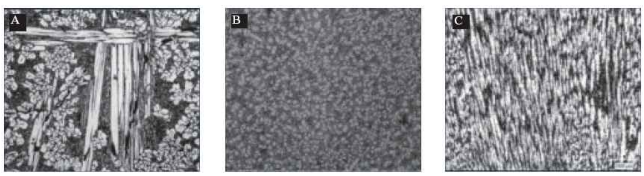
Ar, He과 같은 불활성가스를 실드가스로 사용하면서 비소모성 전극인 텅스텐 전극과 모재사이에서 발생시킨 아크열로 용접을 실시하는 가스텅스텐 아크용접(gas tungsten arc welding, GTAW)는 모든 용접자세에 적용할 수 있으며 아크가 매우 안정되고 용접이음부의 품질이 매우 우수한 특성을 갖는다. 그러나 GTAW는 용입이 얕다는 용접기법 특성 때문에 후판용접에서는 용입 불량과 같은 용접결함이 발생하기 쉽고 또한 상대적으로 용접생산성이 떨어진다는 결점이 있다. GTAW 시공시 분말상의 활성플럭스(activating flux)를 공급하면서 용접을 행하는 A-TIG 용접법을 사용하면 스테인리스강의 경우 통상의 GTAW에 비해 용입이 2~3배 깊어지는 효과를 얻을 수 있다. 일본 오가카대학교는 GTAW의 수치계산 시뮬레이션을 이용하여 A-TIG 용접법에서

의 아크물리 현상과 용융지 형성의 현상을 규명하였다.[1] 한편 용접부의 개선부 면적을 적게 하여 용접 패스의 수를 감소시켜 주는 협개선 용접(narrow gap welding)은 주로 압력용기와 보일러의 극후판 강재의 아크용접기술로 발전되었다. 이 기술은 후판 용접의 고능률화와 저입열화에 의해 용접열영향부의 인성을 확보한다. ARC MACHINE, Inc.의 협개선 GTAW 토치 어셈블리를 사용한 경우와 종래의 GTAW 시스템의 용접생산성을 비교하면 그림 1과 같다.[2]



[그림 1] AMI 협개선 GTAW 시스템의 경제성 비교[2]

플라즈마 용접열을 이용하고 경화 물질을 분말로 사용하는 PTA 오버레이 용접법은 플라즈마 아크에 의해 모재표면을 일정속도로 용융함과 동시에 토치 내부에서 금속 또는 세라믹 분말을 플라즈마 아크에 통과시켜서 용융층에 공급하고 이때 공급된 분말과 모재를 합금화시키는 표면개질기술이다. PTA 오버레이 용접재료의 대부분은 가격이 저렴하고 경제적인 Fe기 계통이며, 이 중에서 Cr-carbide 계통의 와이어가 가장 일반적으로 사용된다. 미국의 용접재료 전문제조업체인 Stoody Co.는 미분쇄용 롤과 같이 내마모성과 충격인성이 동시에 요구되는 제품을 오버레이 용접하기 위하여 용접균열이 발생하지 않는 내마모·내식 오버레이 용접용 5C-25Cr-M형 복합와이어를 개발하였다.[3] 5C-25Cr-CLX형 와이어의 용착금속은 5C-25Cr-M형 와이어의 용착금속에 비해 그림 2와 같이 Nb-carbide, V-carbide가 석출하여 사용수명이 25% 향상되었으며, 슬러리 분사시험(slurry-jet test)에서 복합탄화물 용착금속은 미소합금형 와이어에 비해 우수한 성능을 보여 주었다.

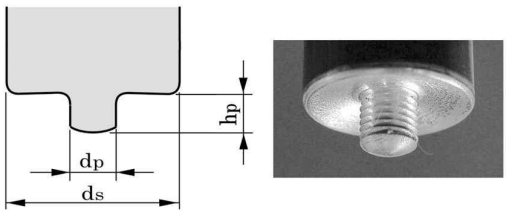


(a) 5C-25Cr (b) 5C-25C-M (c) 5C-25C-CLX

[그림 2] Cr-carbide 와이어의 용착금속 미세조직[3]

금속간화합물은 고온강도, 내산화성, 경량성 등이 우수한 차세대 고온구조재의 표면개질층을 위해 많이 연구되고 있다. 일본 Nagano Prefectural Institute of Technology는 탄소강 표면에 Ni과 Al의 혼합분말[4], Ti 표면에 Ni 분말[5]을 사용하는 NiAl 합금과 NiTi 합금의 PTA 오버레이 기술을 개발하였다.

마찰교반점용접(FSSW)법은 상하로 겹쳐진 용접 모재에 대해 그림 3과 같이 선단에 핀이 있는 접합용 툴을 고속으로 회전시키면서 압입하여 진행된다.[6] 접합용 툴과 피접합재 사이에 고속회전과 압입에 의해 마찰열이 발생하며, 이러한 마찰열로 인해 핀 주변 상하의 피접합재는 연화되고 소성유동현상에 의해 계면이 교반됨으로서 상하 2개의 면이 점용접된다. 이때, 피용접재는 용융되지 않고 고상상태로 유지되며 최종적으로 접합툴을 후퇴시켜 핀을 제거하면 겹치기 이음의 마찰교반점용접이 완료된다.



[그림 3] 마찰교반점용접용 툴의 형상[6]

마찰교반점용접을 포함한 마찰교반용접/가공 과정에서 용접부의 온도는 교반부에서 용접재의 융점의 70~80%에 이른다. 결함이 없는 용접이 성립되기 위한 조건은 숄더(shoulder)부의 아래 방향으로 작용하는 힘이 소성 유동물질의 배출압력인 핀(pin) 내부의 압력보다 커야 한다. 미국의 University of Missouri는 마찰교반용접/가공기술의 접합기구, 특징, 용접/가공부의 품질과 특성, 그리고 향후 과제와 전망 등에 관하여 정리하였다.[7]

3. 학술정보분석

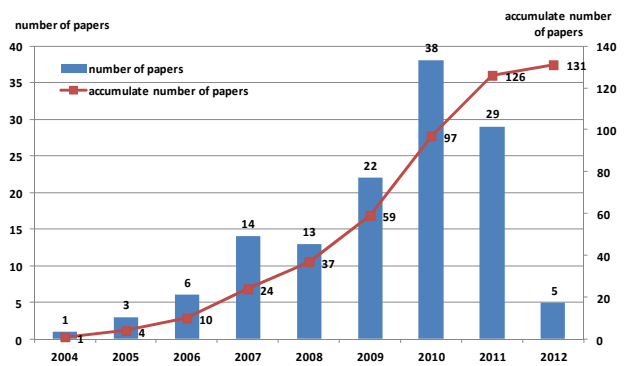
본 연구에서는 SCI-E에 수록된 마찰교반점용접의 논문 발표 현황을 조사하기 위해 Web of Science (Thomson Reuters)의 데이터베이스를 사용하여, [표1]의 검색식으로 조사하였다. 검색 연도는 2004-2012년(2004년 이후 발표분, 2012. 3월 기준)으로 제한하였으며, 총 182건의 기술자료 중에서 초록을 검토하여 관련도가 다소 떨어지는 학술정보를 제외한 미찰교반점용접기술에 해당되는 문헌 131건 만

을 대상으로 연도별 기술 문헌 발표동향을 분석하였다. Web of Science는 SCI-Expanded를 조사할 수 있는 과학 잡지 문헌의 학술적 색인으로서, 150종의 과학 분야에 걸쳐 7,100개 이상의 주요 잡지를 완전하게 색인을 부여하고 색인기사 모두의 피인용 문헌을 수록하였다. 1899년부터 현재까지 데이터가 수록되어 있으며, 주간 평균 19,000건이 업데이트 된다. 1991년부터는 원작을 그대로 수록하고 있으며, 기사의 70% 정도가 영어 저자초록이 있다.

[표 1] 마찰교반점용접기술의 문헌 검색식

	검색식
1	Title=(friction* and spot*) and (welding* or joining*) Databases=SCI-EXPANDED Timespan=2005-2011)
2	Title=(friction* and stir* and spot*) and (welding* or joining*) Databases=SCI-EXPANDED Timespan=2005-2011
3	Title=(spot* and friction* and stir*) and (welding* or joining*) Databases=SCI-EXPANDED Timespan=2005-2011
4	#3 OR #2 OR #1 Databases=SCI-EXPANDED Timespan=2005-2011

마찰교반점용접기술에 관한 학술정보의 연도별 발표현황(그림 4 참조)을 보면, 2007년과 2008년에 매년 10편 이상이 발표되었으며, 2009년에는 21편, 2010년에는 38편으로 발표량이 크게 증가하였다.



[그림 4] 연도별 논문 게재 추이

4. 결론

1. 후판을 맞대기 용접하는 경우, I형 또는 I형과 유사한 형태로 두 판재사이의 틈새가 좁은 그루브에서 행하는 협개선 용접은 용접변형을 감소시킬 수 있고 용착금속량도 저감시킬 수 있는 특징이 있기 때문에 GTAW, GMAW 용접 등에서 적용이 확대되고 있다. 특히 후판재가 많이 사용되는 조선 산업, 에너지산업 설비의 제조분야에 협개선 용접의 적용을 확대하기 위해서는 고온와이어 공급식, 고능률 협개선 자기제어, 협개선 GTAW 공정의 용착속도와 능률의 향상 등에 관한 연구개발이 활발히 수행되어야 한다.
2. Hardfacing 또는 Surfacing으로 일컫는 표면경화 PTA 오버레이 용접기술은 산업의 발달에 따라 기계류 부품의 마모와 부식을 방지하는 유용한 기술수단으로서 자원의 재활용과 경제적인 측면에서 기술적 가치가 매우 높으며 그 사용 범위가 크게 확대되고 있다. 향후 PTA 오버레이 용접기술은 표면개질부의 품질을 개선하고 생산성을 높일 수 있도록 하기 위해 자동화기술이 발달할 것이며 특히 오버레이 용접부의 내마모 평가시스템 기술과 고품위/고속용 오버레이 용접재료의 개발이 활발하게 이루어 질 것으로 예측된다.
3. 마찰교반점용접법은 알루미늄합금 저항점용접의 문제점을 획기적으로 해결할 수 있는 용접기술로 개발되어 자동차 분야의 알루미늄합금 용접에서 중요한 생산공정기술로 주목을 받고 있으며, 향후 고부가가치 마찰교반점용접기술에 대한 연구개발이 활발히 전개될 것으로 전망된다.

참고문헌

[1]. 田中 學, “A-TIG溶接におけるアーク現象”, 溶接學會誌, 第 74卷(2005), 第 2號, pp.113-119

[2] http://www.arcmachines.com/BrochurePDFs_English032502/Model52_E.pdf

[3] Ravi Menon and Jack Wallin, "Specialty Cored Wires for Wear and Corrosion Applications", Welding Journal, Vol. 87, No. 2, 2008, pp.31-37

[4] 尾和智信, 蓧田 剛, “プラスマ熱源を用いたNiAl合金肉盛層の創製と高溫酸化擧動”, 溶接學會論文集, 第 22卷(2004), 第 4號, pp.494-501

[5] 尾和智信, 蓧田 剛, “NiTiプラスマ肉盛層形成によるのチタンの磨耗特性改善”, 溶接學會論文集, 第 22卷(2004), 第 4號, pp.502-508

[6] FUJIMOTO Mitsuo, KOGA Shinji, ABE Natsumi, SATO S. Yutaka and KOKAWA Hiroyuki, "Microstructural Analysis of the Stir Zone of Al Alloy Produced by Friction Stir Spot Welding,“ Quartery Journal of The Japan Welding Society, Vol.25, No.4, pp.553-559(2007)

[7] R.S. Mishra, “Friction stir welding and processing", Materials Science and Engineering, Vol. 50, 2005, pp.1-78