

육성용접을 통한 금형 품질 향상에 관한 연구

윤일우*[#], 황종대*

*한국폴리텍대학 부산캠퍼스 기계시스템과

Mold Quality Improvement through Overlay Welding

Il-Woo Yun*[#], Jong-Dae Hwang*

*Department of Mechanical System, Busan Campus of Korea Polytechnics

(Received 11 February 2020; received in revised form 25 February 2020; accepted 1 March 2020)

ABSTRACT

The frequency of the manufacturing and modification of automotive press dies via overlay welding has recently increased, but the welding quality depends on the operator skills and the working conditions. Therefore, this study presents a way to improve the overlay welding quality regardless of the operator skills. Three welding conditions with different pre- and post-heating treatments were tested on some specimens; the weld surface quality was analyzed by examining the cutting face. The results demonstrated the best quality of the weld surface that was heated before and after the welding.

Key Words : Overlay Welding(육성용접), Pre-Heating(예열), Post-Heating(후열), Spring Back(스프링 백)

1. 서 론

최근 자동차 분야 프레스 주물 금형 분야에서 용접을 활용한 부품제작 및 수정작업 등의 빈도가 높아지고 있으나 현장에서의 용접 품질은 작업자의 숙련도 및 작업조건에 따라 차이가 발생하고 있다. 게다가 최근 국제 사회의 유가 상승 및 환경 규제 강화 요구에 맞춰 자동차 산업에서 무게를 줄이면서도 안전을 강화시킬 수 있는 초고강도 강판(Ultra high strength steel, UHSS)사용의 증가로 자동차 차체 제품에서 스프링 백(Spring back)이 과도하게 발생되어 이를 수정하기 위한 방법으로 육성용접(Overlay welding)을 통한 보정가공 작업이 널리 사용되고 있다. 초고강도 강판 사용의 증가

로 품질 확보를 위해 수정 작업이 증가하는 추세이며, 이는 용접의 품질이 금형의 품질을 좌우할 만큼 금형 제작에 있어서 중요한 공정으로 자리 잡고 있다. 하지만 용접작업의 특성상 육안으로 불량여부를 확인하기 힘들고 일정시간 경과이후 문제점이 부각되는 경우가 많아 용접 품질 문제가 발생 시 많은 낭비 요소를 발생시킨다. 게다가 해외 양산 이관 금형에 대한 용접 품질 문제 발생에 대한 수정은 소재 수급, 가공, 조립, 코팅, 운송비 등 어느 한 공정도 국내에서와는 비교가 되지 않을 정도의 많은 시간과 비용이 낭비되어 글로벌 경쟁을 벌이고 있는 금형산업의 문제점으로 대두되고 있다.

용접의 불량은 비드나 엠보싱 형상, 형상이 급변하는 구간 등 금형에서 면압이 많이 발생하는 부위에서 주로 발생되며 Fig. 1, 2는 금형에서 육성용접 불량이 자주 발생하는 부위와 용접 불량

Corresponding Author : yun15@kopo.ac.kr

Tel: +82-51-330-7781, Fax: +82-51-332-4801

Copyright © The Korean Society of Manufacturing Process Engineers. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 3.0 License (CC BY-NC 3.0 <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

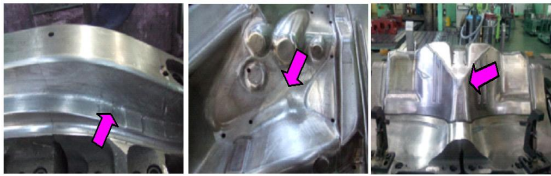


Fig. 1 Major welding defect areas

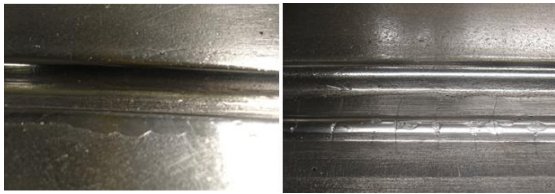


Fig. 2 Overlay welding defect cases

사례를 보여준다. 기존에는 육성용접에 대한 재료나 공정 등에 관한 연구가 주를 이루었으나^[1-5] 실제 현장에서의 용접품질에 대한 연구가 부족함이 현실이다. 따라서 본 연구를 통해 금형에서 주로 사용되는 용접 재질에 따른 용접품질을 분석하고 용접 전 예열처리 및 용접 후 후열처리에 따른 용접 품질을 평가함으로써 현장에서 작업자 숙련도와 관계없이 육성용접을 통한 금형품질 향상을 유도하고자 한다.

2. 실험

용접조건에 따른 품질 변화를 분석하기 위하여, 시험편의 모재(Base metal)는 프레스 금형에서 빈번한 수정이 발생하는 트리밍 다이(Trim die) 및 형상부에 많이 사용하는 SKD11과 FC300 을 사용하였다.

2.1 실험방법

본 연구에서 사용된 모재 시험편을 300×200×40 사이즈로 제작하고 예비용접 사양서를 작성하여 운봉각도, 비드형상, 용접법 등의 시험용접 조건을 기록하고 시험편 상부를 3개의 구간으로 나누어 각기 다른 용접조건을 적용하여 3층 구조로 육성 용접한 시험편을 제작하였다.

각 구간의 용접 조건으로 A구간은 용접 전 예

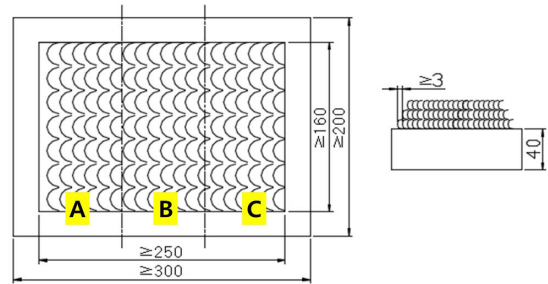


Fig. 3 Schematic of test specimen (mm)



Fig. 4 Test specimen geometry

열(Pre-Heating) 및 용접 후 후열(Post-Heating)처리를 하지 않은 구간, B구간은 용접 전 예열처리만 실시하고 용접 후 후열처리를 실시하지 않은 구간, C구간은 용접 전 예열 및 용접 후 후열처리를 실시한 구간으로 나누었으며 예열의 온도는 메이커 권장 온도인 250℃로 실시하였다. 3가지 용접 조건을 적용하여 용접한 시험편을 와이어 컷팅기(Wire Cutting machine)로 용접면을 절단하여 3가지 조건의 용접 절단면을 동시에 육안 및 현미경 검사, 자분탐상 검사를 실시하여 용접면의 품질을 분석하였다. Fig. 3 및 Fig. 4는 시험편의 주요 스펙 및 용접 후 제작된 시험편의 형상을 보여준다.

2.2 용접조건 및 용접봉

실험에 사용한 용접방식은 수동아크 용접법을 사용하였으며 용접봉으로는 금형수정에 있어 현장에서 범용적으로 널리사용하는 MASSER사의 GRICAST#31과 GRIDUR#61 두 종류의 용접봉을 사용하였으며 SKD11 시험편에는 열간 및 냉간 트리밍 다이 육성 용접용으로 적합한 GRIDUR#61 용접봉을 FCD300 시험편에는 주철과 강의 이음 용접용으로 적합한 GRICAST#31 용접봉을 사용하였으며 운봉법은 시험편의 두께 및 형상, 다층용접을 고

Table 1 Overlay welding condition

	A	B	C
Welding process	Manual Metal Arc welding (MMA)		
Pre-heating	-	○ (250°C)	○ (250°C)
Post-heating	-	-	○ (250°C)
Welding angle	45~50°		
Welding direction	Back hand method		
Bead form	Circle		
Connection	Surfacing		
Welding rod	φ3.2		
A(AC)	90~220		
V	220		
Welding Velocity	100 (mm/min)		

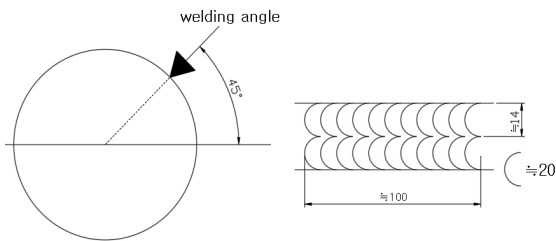


Fig. 5 Welding angle and geometry

Table 2 Chemical composition of SKD11, FC300 steel substrate(wt%)

	C	Si	Mn	P	S
SKD11	1.40 ~1.60	0.40 less	0.60 less	0.03 less	0.030 less
FC300	3.0	1.72	0.82	0.03	0.07

Table 3 Chemical composition.(wt.%)

GRICAST#31	C	Fe	Ni	-	-	-
	0.5	45	54	-	-	-
GRIDUR#61	C	Si	Ni	Cr	Mo	W
	0.3	1.2	0.3	8.0	1.3	9.5

려하여 후진법(Back hand method)를 사용하였다. 세부적인 용접조건은 Table 1 에 나타내었으며 Table 2 에는 SKD11, FC300에 대한 물리적 특성을 Table 3 에는 용접봉의 화학적 조성을 나타내

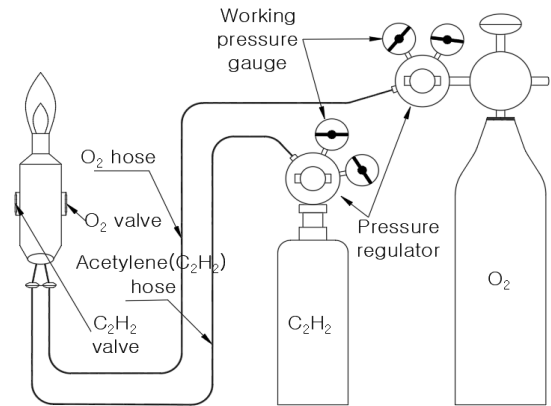


Fig. 6 Principle of oxy acetylene welding

었다. Fig. 5는 용접시의 운봉 각도 및 비드형상을 Fig. 6은 본 실험의 가장 중요한 실험조건인 예열 및 후열에 사용한 산소-아세틸렌 불꽃의 원리 도식도 이다.

2.3 예열

용접예열은 본 용접 전에 금속이 용착되는 모재면을 일정한 온도로 가열하는 것을 의미하며 냉각속도 조절에 따른 재료 경화 정도 감소, 불순물 편석억제, 변형방지, 균열 등을 방지 할 수 있다 [6,7]. 용접부에 대한 예열은 산소 아세틸렌 불꽃을 이용하여 예열하였고 합금강의 용접에 적합한 탄화염(Carburizing Flame)을 사용하였으며 산소와 아세틸렌의 혼합 비율은 2:5 비율로 산화불꽃인 겉불꽃은 대략 3200°C온도로 환원불꽃인 속불꽃은 1200°C 수준으로 유지하여 예열을 실시하였다. 온도에 대한 측정은 일본 sato사의 적외선 온도계 SK-8700Ⅱ를 이용하여 측정하였으며 Fig. 7은 예열 및 온도측정 작업을 보여준다.

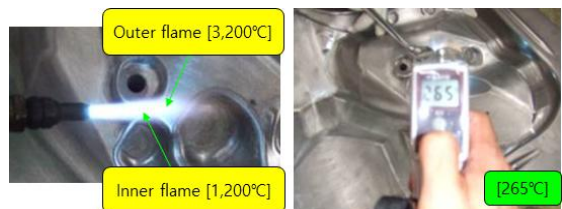


Fig. 7 Pre-Heating and temperature measurement

2.4 후열

용접후열은 본 용접 후에 금속이 용착된 모재면을 일정한 온도로 가열하는 것을 의미하며 적당한 후열은 잔류응력을 소실시켜 크리프에 의한 소성변형을 예방시키며, 인성 및 강도를 개선할 수 있다.

3. 용접면 검사

용접은 용접조건에 따라 여러 가지 용접 결함을 유발하게 된다. 즉, 용접열에 의한 모재의 변질, 변형과 수축, 잔류응력의 발생, 용접부 내의 화학 성분과 조직의 변화를 어느정도 피할 수 없기 때문에 용접부의 안전성과 신뢰성을 조사하는데 다양한 방법들이 사용되고 있다^[6].

3.1 외관검사

초음파 탐상, 방사선 투과 등 비파괴 검사를 채택하는 경우라도 용접후의 외관검사(Visual inspection)은 용접품질 평가에 중요한 역할을 한다. 외관검사로 나타난 균열, 기포, 크레이터, 함몰 등의 결함은 다른 기계적 검사를 실시하지 않더라도 바로 시정해야 할 결함이기 때문이다. 용접부의 미세 금(Crack) 등의 명확한 외관검사를 할 수 있도록 슬래그 등을 말끔히 청소하고 피이닝이나 샷 블라스트를 하지 말아야 한다. 결과적으로 이 외관검사만으로도 비싼 비파괴검사를 대신해서 사전에 용접결함을 판별하여 시정할 수 있다^[8]. 외관검사는 일반적으로 용접후의 외관검사만을 생각하는 경우가 많으나 균일한 용접품질을 위해서는 용접전의 모재선택, 온도, 용접면 불순물제거 등도 살펴야 한다.

3.2 자분탐상검사

자성을 띤 물체의 조직 내부의 단절부를 발견해내는 방법으로 자분탐상검사(Magnetic particle inspection)이 있다. 이 검사는 검사하려는 부분 양쪽에 프로브(Probe)를 대고 모재에 큰 전류를 흐르게 하면 전류의 방향과 직각으로 발생하는 자속(Magnetic flux)이 모재내부에 원형으로 흐르게 되며 이 자력이 어떤 단절부에 부딪치면 그곳으로

새어나와 대기중에 빠지면서 자력의 양극을 형성하여 자분을 당겨 모은다. 따라서 검사할 모재면에 뿌려놓은 자분 즉 쇳가루가 모이는 것은 그곳에 금(crack)이 있다는 것을 나타내는 것이다^[6].

4. 실험결과

4.1 절단면 분석

실험에 대한 용접면을 평가하기 위한 검사방법으로는 육안 및 자분탐상법에 의한 절단면 분석을 실시하였다. 두 종류의 시편을 와이어 커팅기를 이용하여 절단하여 절단면을 확인한 결과 육안으로는 시험편의 불량여부를 판단하기 힘들었으나 자분 탐상법을 이용한 크랙검사를 실시한 결과 용접 전/후 예열을 실시한 C구간을 제외하고는 크랙으로 판단되었다. Fig. 8, 9는 SKD11과 FC300의 절단면 형상 및 크랙 부위에 대한 자분탐상 및 확대 형상을 보여준다.

4.2 현미경 검사를 통한 원인 분석

크랙부위에 대한 원인 분석 및 크랙형상을 확인하기 위한 현미경 검사 결과 용접 전/후 예열을

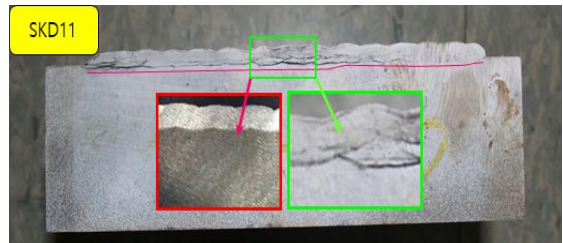


Fig. 8 Cutting plane geometry of SKD11

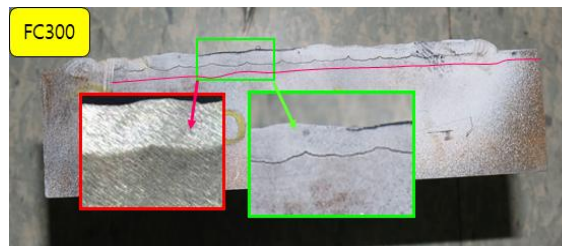


Fig. 9 Cutting plane geometry of FC300

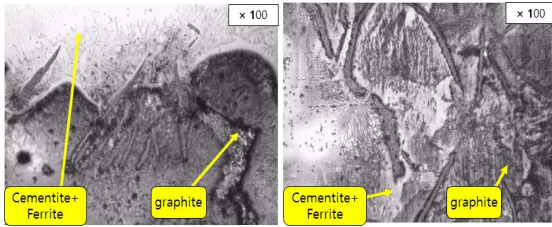


Fig. 10 Microscopic shape for section A, B of skd11

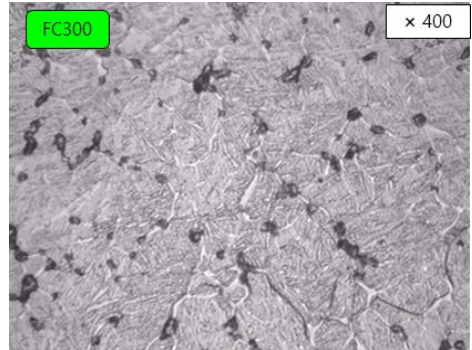


Fig. 13 Microscopic shape for section C of FC300

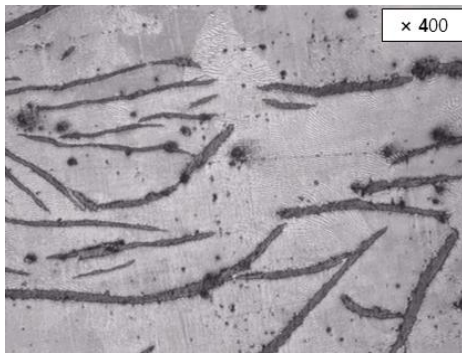


Fig. 11 Microscopic shape for section A of FC300

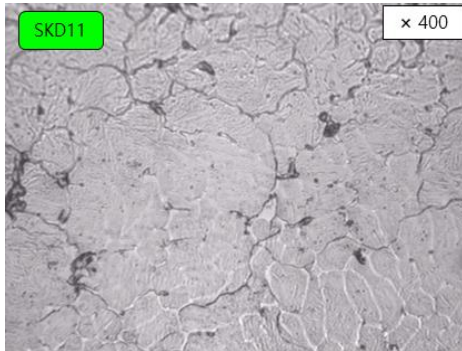


Fig. 12 Microscopic shape for section C of SKD11

실시하지 않은 A구간에서는 두 시편 모두 모재와 용접봉 용착 부위에서 다량의 흑연 경계층이 발생된 걸 확인할 수 있었으며 이는 용접 전후 예열 미 실시에 따른 모재 열화에 의한 현상으로 분석된다. 용접 전 예열처리를 실시하지 않았지만 용접 후 예열처리를 실시한 B구간에 대해서는 A구간 만큼 확연한 경계층은 아니었지만 곳곳에 흑연

발생을 확인할 수 있었으며 이는 후열처리 미흡에 따라 열변화에 따른 모재의 열화가 발생된 거로 판단된다. Fig. 10은 SKD11의 A, B구간에 대한 현미경 확대 형상을 Fig. 11은 FC300의 A구간에 대한 현미경 확대 형상을 보여준다. 반면 육성용접 전/후 예열처리를 하였던 C구간 확인 결과 SKD11, FC300 두 소재 모두 흑연이 안정적인 미세 형태로 존재함을 확인할 수 있었다. Fig. 12는 SKD11에 대한 C구간을 Fig. 13은 FC300에 대한 C구간 현미경 확대 형상을 보여준다.

5. 결론

자동차 차체분야 프레스 금형에서 많이 사용되는 금형 재료인 SKD11, FC300에 대하여 예열 및 후열 조건을 달리하여 육성 용접을 실시하고 시편을 절단하여 육안검사, 자분탐상검사, 현미경 검사를 실시하여 용접품질을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 실험 결과 용접 전/후 예열을 실시한 C구간을 제외하고 세부 용접면 검사결과 크랙으로 판단되었다.
2. 용접 용접부 및 그 주위를 일정한 온도로 유지 시킴으로써 급냉에 의해 발생하는 내부응력을 제거하고 금속조직을 균일하게 하기 위하여 용접 전 예열처리는 필수로 요구된다.
3. 용접직후 고온 환경 속에서 금속은 크리프에 의해 소성변형이 발생되어 잔류응력을 남기게

되나 적당한 고온으로 유지하면 잔류응력을 소실시킬 수 있으므로 용접 후 후열 처리는 필수로 요구된다.

4. 용접 작업자는 용접 전 적외선 온도 측정기, 접착 고온계 등을 통하여 작업 온도를 파악하고 모재에 맞는 용접봉 및 용접 내용을 정확히 숙지한 후 작업을 실시해야 하며 예열 및 후열의 온도는 모재의 성분 용접봉, 용접 두께 및 용접법 등에 따라 다르게 선정되어야 한다.
5. 향후 용접작업에 대한 계획과 용접 품질 관리에 필요한 사항을 제공하기 위하여 용접절차 승인 기록서(Welding Procedure Approval Record, WPAR) 및 용접시험 상세기록서(Welding Procedure Qualification Test Record, PQR) 작성을 통한 용접 작업 조건 표준화가 필요하다.

DONG-MYEONG Publication, pp. 321-325, 1977.

7. Yang, J. Y. and Kim, S. C. and Park, J. M., "Implementation of Low Frequency Welding Pre-heating System Using Induction Heating," Journal of Korea Institute of Convergence Signal Processing, Vol. 19, No. 2, pp. 61-67, 2018.
8. Choi, S. C., Welding commentary, SEONGANDANG Inc., pp. 535-547, 1993.

REFERENCES

1. Yoo, H. C., Recent Study in Variation of Welding Materials for Overlay Welding, Journal of Korean Welding and Joining Society, Vol. 31, No. 6, pp. 17-26, 2013.
2. Cha, C. H. and Lee, S. K. and Ko, D. C., "A Study on the Forming of Automotive Front Side Member Part with Ultra High Strength Steel of DP980," Transactions of Materials Processing, Vol. 18, No. 1, pp. 39-44, 2009.
3. Rao, N. V., "Weld overlay cladding of high strength low alloy steel with austenitic stainless steel," Materials and Design 32, Vol. 32, No. 4, pp. 2496-2506, 2011.
4. Lim, B. C. and Son, Y. S., A Study on the Overlay Welding Process Optimization of GTAW by Double Torch, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 17, No3, pp. 73-78, 2016
5. Pan, Y. M., "Research on overlaying welding rod of high hardness maraging steel," Frontiers of Mechanical Engineering in China, Vol. 19, No. 3, pp. 465-467, 2006.
6. Uhm, G. W., Practical Welding Engineering,