

스핀드럼 시밍부의 기계적 프레스 접합강도 향상에 관한 실험적 연구

김의수[#], 김병민¹

An Experimental study on Improvement of Mechanical Press-Joining Strength of the Spin Drum Seaming Division in Washing Machine

E. S. Kim, B. M. Kim

Abstract

There are being a lot of studies for achievement of high speed Dehydration, high-strength and Lightweight of washing machine in the latest washing machine business. It is essential that Press-joining Strength of Spin Drum Seaming division is improved .to attain that target. Generally, we are using Mechanical press-joining by Seaming and T.I.G (Tungsten Inert Gas) welding among part joint method. Mechanical press-joining method that is mainly using for Stainless Steel (STS430) Drum have lots of merit that consumption of energy is low more than welding and production costs cut down and generation of the corrosion is solved by removing weld zone defect and materials having different properties are enable to join without special equipment. But, it is difficult to realize joint strength required at high speed operation because joint strength of mechanical press-joining method is low remarkably in comparison with welding. Also, there are a lot of analysis difficulties and very limited research is under way due to the dynamic factor such as multistage plastic working, elastic recovery, residual stress etc. The results of this study show optimal joining condition for mechanical press-joining by performing lots of tensile joining strength test with various specimen under multi-change of important design factor such as seaming width, bead area and bead depth etc.

Key Words : Mechanical press-joining(기계적 프레스 접합), Spin Drum(스핀 드럼), Stainless Steel(스테인레스강), High speed Dehydration(고속탈수), Seaming(시밍), Caulking(코킹)

1. 서 론

최근 세탁기 사업에서는 세탁기의 고속탈수 구현과 고강도 경량화를 위하여 많은 연구가 이루어지고 있으며 특히 이를 개발하는데 있어서 Neck point 인 스팀드럼 시밍부 접합강도 향상은 필수적이다. 원통형 스팀드럼은 드럼프론트, 드럼 웨퍼, 드럼백 총 3 개의 파트로 구성되어 있으며 이음매 있는 접합으로 각각 조립된 후 세탁물이

담겨져 입력된 세탁프로그램에 따라 터브내에서 시계방향 또는 시계반대방향으로 회전하여 세탁 및 탈수가 이루어 진다.

각 파트를 접합하는 방법에는 크게 시밍에 의한 기계적 프레스 접합방법과 텅스텐 전극과 모재 사이에 아크를 일으켜 접합하는 TIG(Tungsten inert gas)용접이 있다. 스팀드럼(STS430) Drum 판재에 가장 보편화된 기계적 프레스 접합방법(Mechanical press Joining)은 용접 대체방법 중 하나

1. 부산대학교 기계공학부 정밀기계공학과

교신저자: 삼성전자 가전연구소,

E-mail: es92.kim@samsung.com

로 용접 보다 에너지의 소모가 적어 생산비용이 절감되고, 용접부 결함을 제거하여 녹발생등의 문제를 해결함으로써 접합부 신뢰성을 향상시키고 이종재료 및 연성이 있는 평면재료를 별도의 고정용 부품없이 접합 가능하게 한다. 또한 용접에 비해 피로강도가 높고 편치와 다이의 수명이 길기 때문에 용접에 비해 생산 원가가 훨씬 적게 든다는 장점을 가지기 때문에 기계적 프레스 접합 기술은 가전사업에서 잠재적으로 확보해야할 중요한 기술중의 하나이다. 그러나 아직까지는 용접에 비해 접합강도가 현저히 낮기 때문에 고속운용시 요구되는 높은 접합강도를 실현하는데 어려움이 있으며 다만 소성가공, 탄성회복, 잔류응력 등의 접합부 자체의 역학적 인자와 세탁운용시 외부 사용환경등이 상호작용하여 결정되는 복잡한 문제 특히 파손, 파괴가 일어나는 접합부는 구조적 불연속부가 되어 해석상 어려움이 많으므로 지금까지도 국내외를 막론하고 매우 제한적 연구가 진행된 상태이다.

본 연구에서는 고속탈수 운용시 요구되는 접합강도를 구현하기 위해 비정립된 드럼 시밍부의 기계적 프레스 접합 기술을 면밀히 분석하고 설계변수인 시밍폭, 비드면적 및 비드깊이, 비드형상등을 변경한 여러가지 조건의 접합 시험편을 제작하여 인장강도시험을 수행함으로써 실험을 통한 최적의 접합조건을 제시하고자 한다.

2. 접합강도 계산

실제 고속회전 운용시 요구되는 접합강도의 경우는 고속탈수용 세탁기가 개발 단계에 있어 측정하기가 어려움이 있으며, 여러 가지 역학환경이 공존하는 경우이므로 계산식으로 이를 구하는 것도 상당한 지식과 시간을 요하는 부분이다. 따라서 본 연구에서는 저속회전시 실제 응력을 측정하고 식(1),(2),(3)의 단순식과 비교하여 그 차이가 크지 않음을 우선 확인한 후 고속회전의 경우에도 이 식을 근거로 하여 요구되는 접합강도를 계산하였다. 1800 Rpm 고속탈수용 세탁기를 개발한다고 가정하면 Unbalance force에 대한 안전율을 고려해 계산된 필요 접합강도는 412Kgf이며, 이를 구현하는 방법은 크게 용접과 프레스 접합으로 나누어 진다. 우선 용접을 행한 후 그 접합강도와 문제점을 분석하였으며 이에 대응하기 위해 프레스 접합 기술의 현 상황을 파악하고 개선점을 도

출하였다.

$$P = \frac{m \times r \times \omega^2}{2 \times \pi \times r \times l} \quad (1)$$

$$\sigma = \frac{P \times r}{t} \quad (2)$$

$$F_t = \alpha \times \sigma \times l \times t \quad (3)$$

P = surface press generated by centrifugal force

m = washing load

r = spin drum radius

ω = angular velocity

l = spin drum length

σ = circumference direction stress

t = spin drum thickness

Ft = joining force demanded for rotating

α = safety factor for unbalance force

3. 실험 개요

일반적으로 프레스 접합에는 두가지 기초적인 방법이 있다. 첫번째 방법은 위쪽 부재를 아래쪽 부재에 있는 틈새까지 관통하도록 금속판을 잘라낸 후, 업셋하여 접합하는 방법과 두 판재를 관통하지 않고 두 장의 금속 판재를 다이쪽으로 밀어붙이고, 이때 편치에 부가압력이 위쪽 판재를 아래쪽 판재 안쪽으로 소성변형시켜 상하 재료가 맞물리게 하여 강력한 결합력을 만드는 방법이 있다. 스펀드럼 접합시 사용되는 프레스 접합 공정은 후자의 일종으로 롤 포밍한 판재의 끝단을 U자 또는 V자 벤딩 처리한 후 평면 시밍 압착하고 국부적으로 코킹을 일정간격 주어 상하판 접합하는 것으로써 현재 드럼 제작시 가장 보편화된 방법이다. 용접에 비해 많은 장점을 가지고 있으나 지금까지 연구된 바로는 높은 접합강도를 만족시키기 어려워 향후 고속 Rpm 운용시 문제점으로 대두되고 있다. 설계변수 시밍폭, 비드면적 및 비드깊이등에 대한 접합강도의 영향을 전 구간에 대해 파악하기 위해서는 많은 경우가 존재함으로 실험범위를 줄이기 위해 본 실험에서는 우선 고속탈수용 드럼세탁기에 현재 적용되고 있는 드럼 시밍부 접합방법을 각 Type 별로 수집, 제작하고 접합강도평가 시험을 통해 기초 데이터를 확보하여 이 방법에 대한 지식을 체계화 시키고 중요 설계변수를 파악하여 적용 가능한 최적의

접합강도 향상 방안을 제시하고자 한다.

4. 시험편 및 실험방법

본 실험에 사용된 소재는 스펀드럼 제작용 재료로 많이 활용되고 있는 펄라이트계 스테인레스강(STS430) 판재로써 그 기계적 성질과 화학적 성분은 각각 Table1, Table2 에 나타내었다.

Table 1 Mechanical Property of STS 430

Stand-ards	Symbol	Y.S (MPa)	T.S (MPa)	EL (%)	HB
KS	STS430	210≤	460≤	22≤	≤183
JIS	SUS430	210≤	455≤	22≤	≤183
AISI	AISI430	210≤	490≤	22≤	-
DIN	1.4016	250≤	610≤	18≤	-

Table 2 Chemical Component of STS 430

Stand-ards	C	Si	Mn	P	S	Cr
KS	0.12	0.75	1	0.04	0.03	18
JIS	0.12	1	1	0.04	0.03	18
AISI	0.12	0.75	1	0.04	0.03	18
DIN	0.08	1	1	0.045	0.03	17.5

Fig. 1 과 같이 시험편 접합강도 시험에는 용량 2000kgf 의 인장시험기를 사용하였고, 크로스헤드 이동속도는 30mm/min.으로 일정하게 유지하였다. STS430 소재를 이용하여 수집된 각 Type 별 시료를 Table 3 과 같이 각 부위별로 치수를 검토한 후

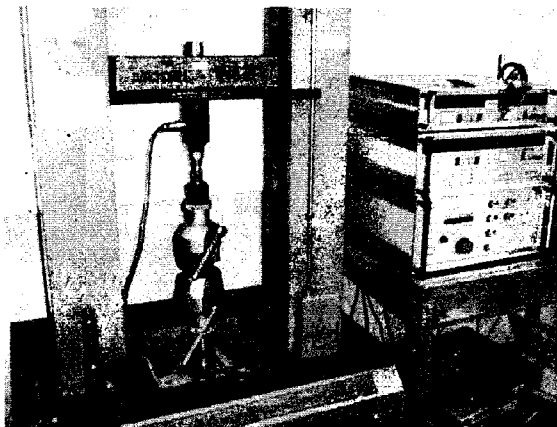


Fig. 1 Photograph of tensile strength tester

Table 3 Size of specimen for each type

Subject(mm)	A	B	C	D	E	F
Thickness	0.6	0.6	0.6	0.6	0.65	0.8
Bead gap	9.08	7.8	15.38	8.04	18.86	9.0
Depth	2.06	1.25	0.6	2.42	1.01	1.44
Seam width	8.14	8.0	7.51	6.78	8.88	6.6
Bead width	0.78	0.65	7.33	1.18	8.02	0.68
Bead length	7.94	6.24	14.24	7.98	8.9	5.62

인장접합강도 시험을 수행하였다. 용접부재와 동일한 형상의 시험편을 선정하려고 했으나 프레스 접합 특성상 단편의 시험편은 제작성이 어렵고 기계적 프레스 접합에 관한 규격이 현재 제정된 바가 없으므로 인장전단 접착강도시편(JIS K 6850)을 근거로 형상별시험편을 W=40mm, L=100mm, 두께

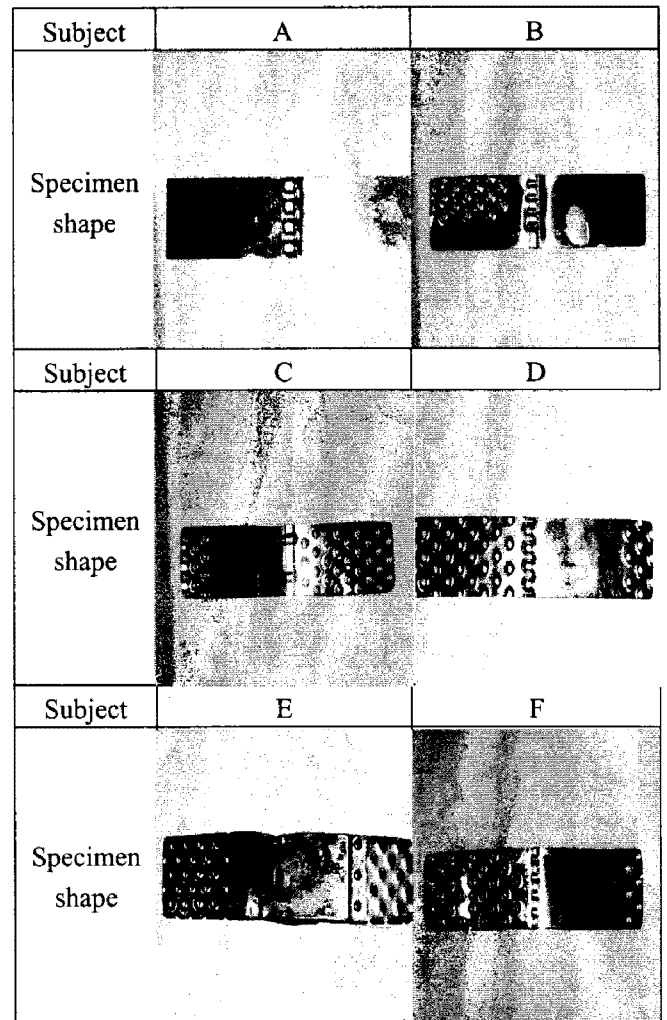


Fig. 2 Configuration of specimen for press joining

0.6mm 로 제작하였으며 용량 2000kgf 의 인장시험기를 사용하였고, 크로스헤드 이동속도는 30mm/min.으로 일정하게 유지하였다. Fig. 2, Table 4 에는 각 Type 별 시편 형상과 인장강도 실험 결과를 나타내었다.

Table 4 Result of joining strength for press joining according to type

Test No.	A	B	C	D	E	F
1	254	411	200	670	547	342
2	265	393	180	687	578	361
3	253	382	154	676	562	327

5. 실험결과 및 고찰

각 Type 별 접합부를 인장시험 한 결과 D Type 이 평균 670kgf 의 접합력으로 다른 시편에 비해 월등히 우수한 강도를 나타냄을 알 수 있으며, 고속 Rpm 운용 시 필요한 요구 강도 412kgf 를 1.5 배 정도 만족시킬 뿐 아니라 용접 대비 기계적 프레스 접합이 가지고 있던 강도 문제점을 일소할 수 있었다. 본 시편의 상세관련 치수 및 공정 차이점을 검토해 보면 시밍의 경우 압착 공정을 제거하여 벤딩부 Damage 를 최소화하였고 코킹간격을 줄이고 전체 코킹 면적을 증가시킴으로써 소성변형시 맞물림 변형량을 크게하였다. 결과적으로 시밍 접촉면압을 크게 하기 위한 종래 기술인 벤딩후 압착공정은 접합 강도면에서는 오히려 역효과를 초래하며 상하관간의 시밍폭과 시밍 접촉면압이 접합강도에 미치는 영향은 크지 않음을 알 수 있었다. 또한 기존 연구에서 밝혀진 내용을 근거로 하면 펀치작용하중의 증가에 따라 접합력은 비례적으로 증가하나 어느 한계에 이르면 다시 감소하는 경향을 가지므로 한계 최대 인장강도를 낼 수 있는 최적의 코킹 형상을 선정하는 것이 보다 중요하다.

6. 강도 향상 시편 제작 및 평가

위에서 파악된 설계안을 바탕으로 세탁기 스프린드럼 제조시 기계적 프레스 접합강도에 영향을 미치는 성형인자 및 주요 설계변수를 재정리하면 첫째, 시밍시 접촉면적 보다는 벤딩부의 피로누적을 최소화 하는 것이 강도향상에 있어서는 훨씬

유리하며, 둘째 판두께의 영향보다는 벤딩 반지름 치수 및 형상이 접합강도와 연관성이 많고, 셋째 코킹시 비드의 간격 및 개수 보다는 금형 형상을 조절하여 벤딩부와 맞닿는 면적을 최소화하는 것이 최상의 접합강도를 낼 수 있는 향상 방안으로 기존의 세탁조 시밍에서 중요시 여겨왔던 인자와는 많은 차이를 가지고 있다.

Table 5 Result of joining strength for specimen improved

Test No.	Strength(Kgf)	Test No.	Strength(Kgf)
1	833	5	820
2	750	6	765
3	789	7	776
4	762	8	802

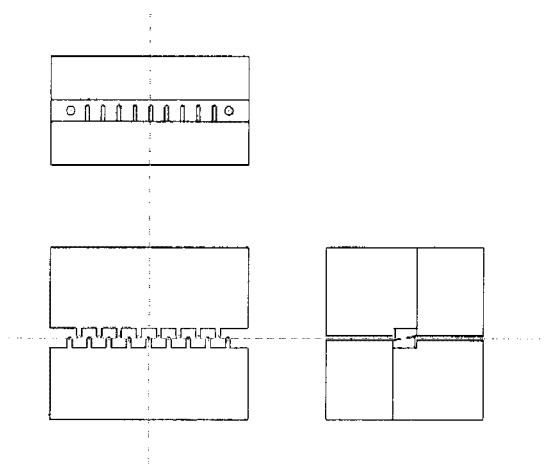


Fig. 3 Configuration of caulking die for improvement

이를 면밀히 고려하여 더욱 향상된 접합강도를 갖는 강도검증용 시편을 시행착오를 거쳐 제작하였고 그 강도향상을 평가하였다. 강도 평가에는 기존 실험과 동일한 시험장비와 시험조건이 적용되었으며 그 결과를 Table 5 에 나타내었고 개발된 코킹 금형 형상은 Fig. 3 과 같다. 평가결과 평균 접합력이 760kgf 로 기존 대비 2.5 배, D 시편 대비 1.2 배로 실험에 의해 정립된 연구내용이 합당함을 재확인하였다. 여러 차례 실험결과 1 차 평가와 동일한 값이 구현 되었고 반복성 및 재현성 또한 만족함을 알 수 있었다.

본 연구를 통해서 현재 프레스 접합기술로는 최대의 접합강도를 구현할 수 있는 기술을 확보

함으로써 향후 개발될 고속탈수용 드럼 세탁기를 제조할 수 있는 발판을 마련하였으며, 기존의 정립 되지 못했던 세탁조 시밍 접합기술을 체계화 하여 가시화 하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 다양한 실험을 통해서 고속탈수용 드럼 세탁기 제작을 가능케 하는 Spin Drum 시밍부 접합강도 향상 방안을 연구함으로써 아래와 같은 결론을 얻었다.

(1) .1800Rpm 고속탈수 운용시 세탁조 시밍부 접합강도는 412kgf 이상이 요구되어지며 현 국내 가용 접합기술 수준은 최대 290~420kgf 범위에 있다.

(2) 용접의 문제점을 해결하기 위해 복잡한 역학 및 사용환경등에 의해 이론적 연구에 어려움을 겪고 있는 세탁조 기계적 프레스 방법을 실험을 통해 체계화시켰고 중요성형 인자 및 설계변수를 도출하여 접합강도 향상방안을 제시하였다.

(3) 향후 접합부의 소성변형 및 잔류응력등에 대한 구조해석, 세탁물과 세탁수 공존의 사용환경, 세탁운용시 세탁조의 동적거동등을 고려한 이론적 연구가 수행 되어진다면 더 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 사료되어 진다.

참 고 문 헌

[1] R. Lennon, R. Pedreschi, B.P. Sinha, 1999, Comparative study of some mechanical connection in cold formed steel, Construction and Building Materials, Vol. 13, pp. 109~116.
 [2] Ning Nong, Ouyang Keju, Zhang Yu, Qiao Zhiyuan,

Tao Changcheng, Li Feipeng, 2003, Research on press joining technology for automotive metallic sheets, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 137, pp. 159~163.
 [3] R. F. Pedreschi, B. P. Sinha, R. J. Davies, 1997, End Fixity in Cold-Formed Steel Steel Sections using Press Joining, Thin-Walled Structures, Vol. 29, Nos. 1-4, pp. 257~271.
 [4] R. Davies, R. Pedreschi, B. P. Sinha, 1996, The Shear Behaviour of Press-Joining in Cold-Formed Steel Structures, Thin-Walled Structures Vol. 25, No. 3, pp. 153~170.
 [5] S.M. Darwish, A.M. Al-Samhan, 2004, Peel and shear strength of spot-welded and weld-bonded dissimilar thickness joints, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 147, pp. 51~59.
 [6] R. F. Pedreschi and B. P. Sinha, 1996, The potential of press-joining in cold-formed steel structures, Construction and Building Materials, Vol. 10, No. 4, pp. 243~250.
 [7] Dal Re, V.; Birolo, B.; Cipri, F., 1987, Defect detection in stainless steel uranus 45 TIG-welded joints by acoustic emission, Materials Evaluation, Vol. 45, No. 3, pp. 348~352.
 [8] Kuniyiko Tsuchiya, Hiroshi Kawamura and George Kalinin, 2000, Re-weldability tests of irradiated austenitic stainless steel by a TIG welding method, Journal of Nuclear Materials, Vol. 283-287, No. 2, pp. 1210-1214.
 [9] 유영철, 오승규, 이원, 1998, 자동차용 구조접착 접합이음의 응력해석과 강도평가에 관한 연구, 대한기계학회논문집 A 권, 제 22 권, 제 4 호, pp. 905~915.