

알루미늄 봉재의 압출압접 강도에 관한 연구

이경국¹, 진인태[#]

A Study of Extrusion-Pressure Welding Strength of Aluminum Rods

K. K. Lee, I. T. Jin

(Received April 14, 2008)

Abstract

It was investigated that two rods of aluminum can be welded by hot extrusion-pressure welding method with stepped welding dies, and that the welding pressure and metal flow on the welding surface were analyzed by computer simulation according to the stepped shapes of welding dies. It was known by computer simulation that welding pressure on the welding section of rods welded using stepped welding dies could be higher than the welding pressure of aluminum rods without using stepped welding die. And it was known by experiments that two rods of aluminum can be welded on the end sections by hot extrusion-pressure welding method using stepped welding dies without relative rotational movement of contacted aluminum rods in the case of friction welding of rods.

Key Words : Extrusion-Pressure Welding, Pressure Welding, Friction Welding, Stepped Welding Dies, Aluminum Rods

1. 서론

일반적인 용접의 정의는 같은 종류 또는 다른 종류의 금속재료에 열과 압력을 가하여 직접 결합이 되도록 접합시키는 방법을 말한다. 일반적으로 기계요소들의 항속적인 결합을 위해서 금속재료를 용접하려면 접합면을 청결하게 하고 두 재료의 금속원자가 서로 금속결합을 할 수 있는 거리 이내에 두 재료를 접근시켜 열과 압력을 가해야 한다. 이를 위한 방법으로서 접합부를 가열·용융시켜 그 부분의 금속원자를 재배열시킴과 동시에 응고하게 하여 접합하는 용융법과 접합부에 외부에서 압력을 가해서 소성변형을 일으켜 접합하는 압접법으로 분류할 수 있다. 즉, 접합할 때 두 고체금속의 접합면을 용융하여 접합하는 방법과 두 고체 금속의 접합면을 고상으로 유지한 채 접합하는 방법으로 분류할 수 있다. 고상으로 유

지한 채 접합하는 방법에는 접합면상에서의 고체금속의 확산에 의한 확산접합과 일정온도 이상의 조건에서 강한 압력에 의해 접합하는 압력접합이 있다. 압력접합은 접합할 때 냉간상태에서 마찰력에 의해 열을 발생시킴과 동시에 접합하는 방법과 미리 열간상태로 금속을 가열하여 강한 압력을 주어 접합시키는 방법이 있다[4~8].

압접에는 여러 가지 방법이 있으며, 그 중에서 열과 힘을 가하는 방법에 따라서 분류하면 가스압접(Gas pressure welding), 초음파용접(Ultra-sonic welding), 마찰압접(Friction welding), 폭발압접, 냉간압접, 열간압접의 방법 등이 있다.

본 논문에서는 철계 금속재료가 아닌 알루미늄 소재를 이용하고 이 소재의 외부에 가열코일을 이용하여 열을 공급한 상태에서 압력을 가하여 접합하는 열간압접 방법을 사용하였다. 그러나 압접시 사용되는 알루미늄 소재의 특성이 공기 중

1. 부경대학교 대학원 설계생산자동화전공
교신저자: 부경대학교 기계공학부, E-mail:jint@pknu.ac.kr

에 노출되면 산화알루미늄 막이 형성되는데, 이 산화알루미늄은 용융점이 높아서 용접을 방해하는 작용을 한다. 이러한 산화알루미늄 막의 방해를 극복하여 용접하기 위해서 본 연구에서는 일정온도의 열간 상태에서 높은 압력을 가하여 접합면상에서 전단면적을 확대시켜 산화알루미늄막의 분포 밀도를 줄이면서 접합되도록 하는 접합다이 구조에 대해서 연구한다.

즉, 접합이 이루어지는 알루미늄 소재에 압력이 가해지면 그 접합부의 모양이 접합면을 따라 퍼지면서 접합부상의 소재가 압출되도록 접합다이에 계단형 중공부를 사용하였다. 컴퓨터를 이용한 압력해석과 압접실험을 통하여 봉재 형상의 두 알루미늄 금속이 잘 접합될 수 있는 금형구조를 설계하고자 한다. 또한 이 중공부를 계단(step)이라 하고 그 구조를 가진 금형을 계단형 접합다이 (stepped welding dies)라 하며, 해석과 실험으로 계단(step)부의 형상에 따른 알루미늄봉재의 압출압접(extru-pressure welding) 강도에 관한 연구를 하고자 한다[1~3].

2. 알루미늄봉재의 열간 압출압접 성형해석

2.1 알루미늄봉재의 열간 압출압접 방법

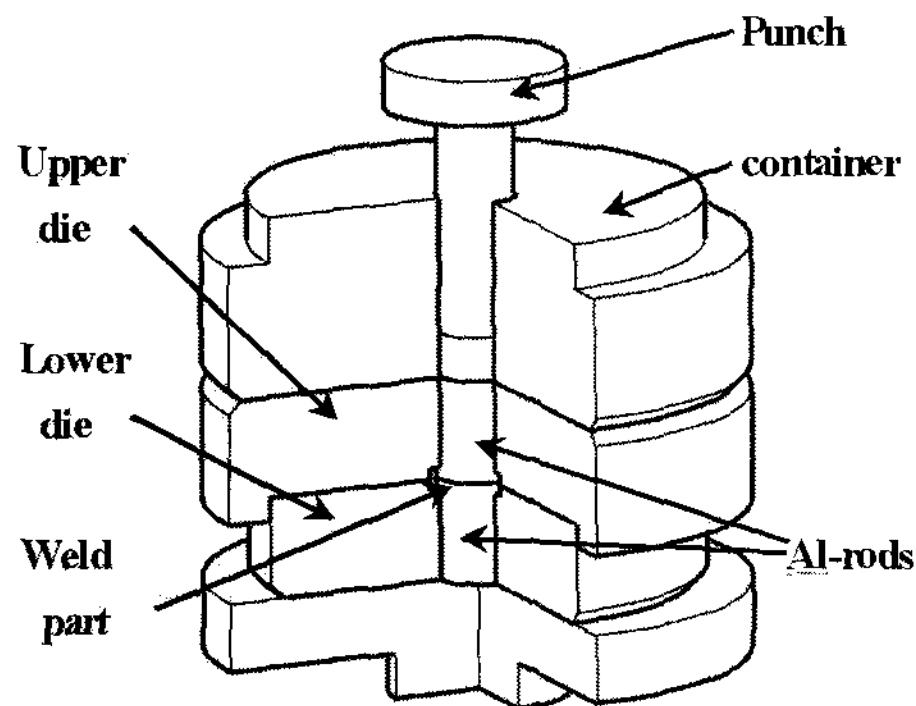
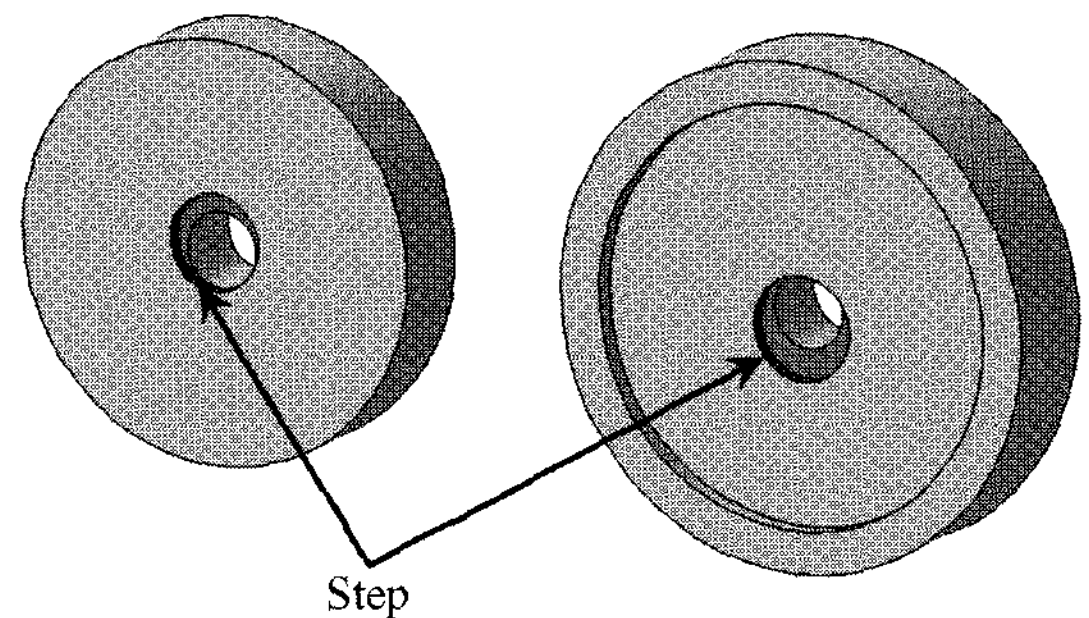


Fig. 1 Die Assembly of hot extru-pressure welding

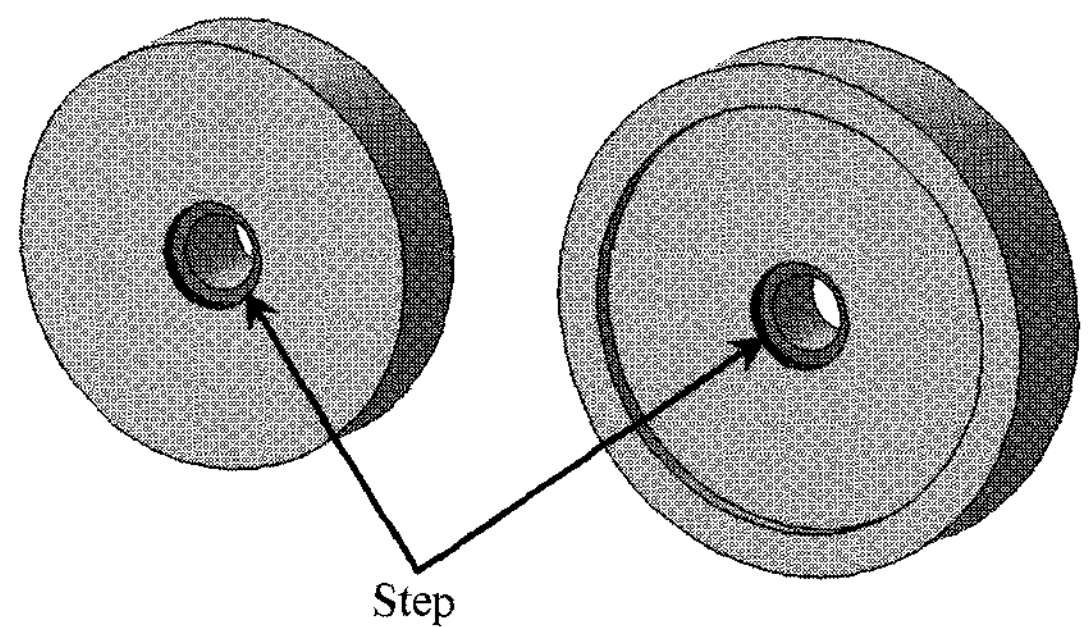
Fig. 1 은 상부다이와 하부다이 사이의 성형공간 내에 놓여 있는 봉재 소재가 끝단면끼리 맞대어 접합면을 구성하고 있으며, 같은 동심축 상에 놓이도록 소재를 위치한 후 봉재의 끝단면에 강한 압력을 가하여 소재를 직각방향으로 전단변형하면서 측방향으로 압출되어 나오도록 다이에 계단(step)이 만들어져 있으며 밀려나오는 압출소재가 채워지도록 중공부(cavity)의 형태로 되어 있다.

즉, 두 개의 봉재를 일정 온도로 가열된 상태에서 서로 맞대고 강한 압력을 가하면 접합면상에 직각방향으로 전단변형을 일으키면서 측방향에 있는 다이중공부로 압출되게 한다. 이 때 알루미늄 소재의 표면의 미세한 돌기부에 의해서 소성변형과 동시에 표면의 알루미늄 산화막을 파괴하여 산화막 분포밀도를 줄이면서 금속원자간 재배열을 통하여 접합되도록 한다.



(a) lower stepped die (b) upper stepped die

Fig. 2 Pressure welding die modeling of concentric stepped welding dies



(a) lower stepped die (b) upper stepped die

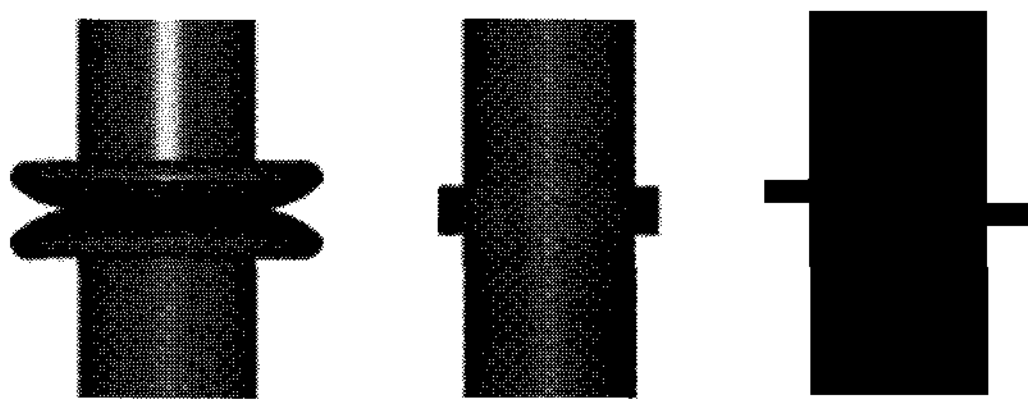
Fig. 3 Pressure welding die modeling of eccentric stepped welding dies

Fig. 2 는 이 때 접합면을 가로지르는 선상에 놓여 있는 다이의 계단(step)의 형상을 나타내고 있다. 소재가 위치하는 중심부와 단이 동심원상에 위치하고 알루미늄 소재가 압출압접 과정 중에 중심부에서 계단(step)의 외주 방향으로 동일하게 퍼지면서 두 소재의 슬립(slip)에 의한 접합이 되도록 되어있다.

Fig. 3 은 소재와 계단(step)이 동심원상이 아닌 서로 반대로 편심되어 있는 형상을 나타낸다. 두

소재는 동심원상에 있으나, 접합부에서 두 소재가 상형과 하형에 반대로 되어있는 계단(step)의 형상에 따라 접합 시 타원형 전단면 형상을 따라 유동하도록 설계되었으며, 접합부에서 두 소재가 서로 반대방향으로 슬립(slip)이 일어나면서 접합되도록 설계되어 있다.

Fig. 4 (a)는 다이를 사용하지 않는 경우의 회전 마찰압접시의 접합면에서의 소재의 퍼짐을 보여주고 있으며, (b)는 편심이 없는 계단형 접합다이를 사용한 경우이고 (c)는 편심이 있는 계단형 접합다이를 사용하여 두 알루미늄 소재가 소성변형이 일어난 후 다이의 단 형상에 따라 소재가 채워진 모양을 나타내고 있다. 또한 Fig.5 는 압출압접이 일어난 후 제품의 표면에 압출되어진 과잉 금속이 부착된 모양을 나타낸다.



(a) without dies (b)concentric dies (c)eccentric dies
Fig. 4 Shapes of extruded material by stepped dies on welding line

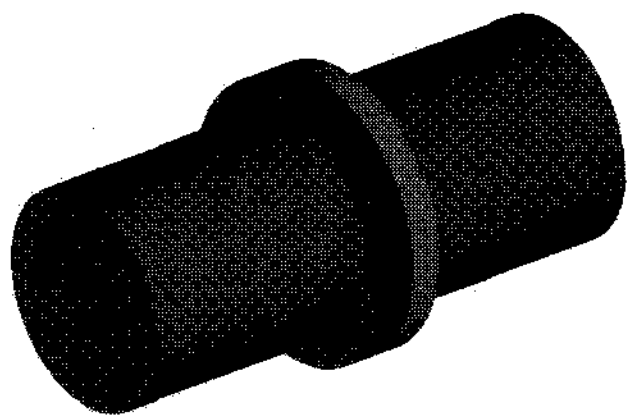
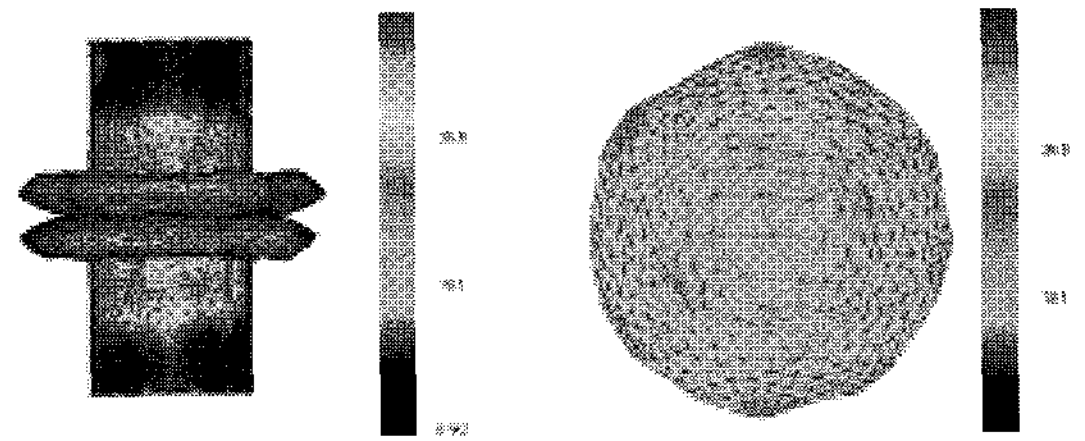


Fig. 5 Extru-welded product with stepped extruded material on the welding line

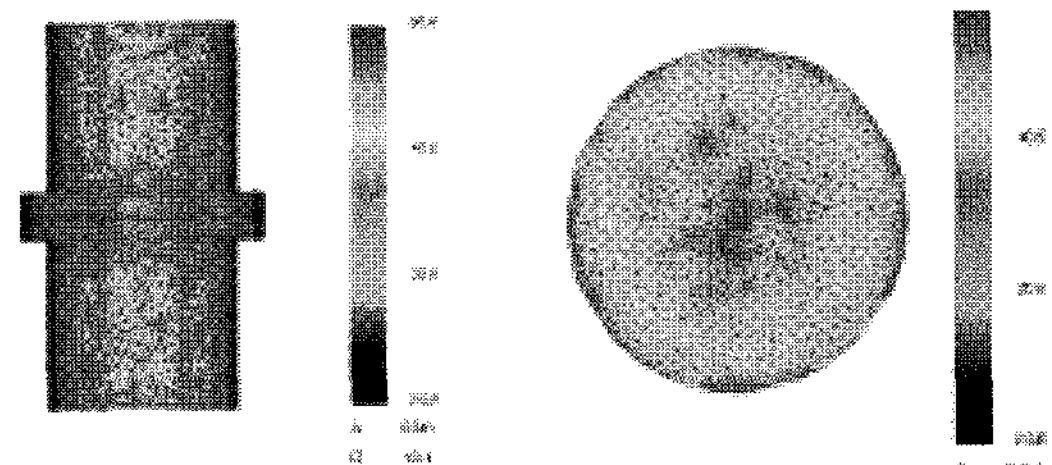
2.2 열간 압출압접 접합부 압력해석

알루미늄 봉재의 접합부 압력을 해석하기 위해서 상용소프트웨어인 DEFORM-3D 를 이용하였고, 각각 다른 형상의 단(step)을 가진 접합 금형을 사용하여 해석하였다. 해석 소재는 Al6063 이며, 해석 온도는 460℃에서 실험 조건과 같은 조건으로 해석을 수행하였다.

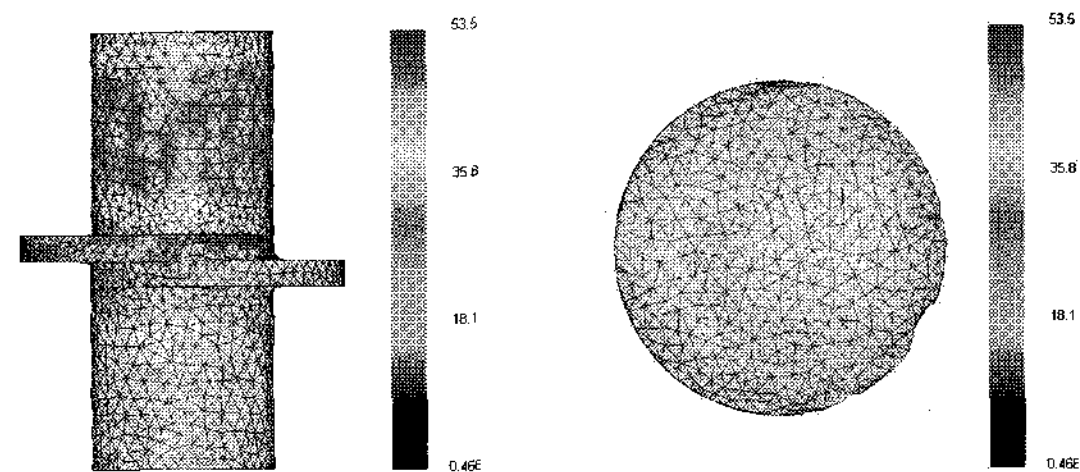
Fig. 6 의 (a)는 일반적으로 개방된 상태에서 압접의 해석이다. Fig. 6 의 (b)는 편심이 없는 계단



(a) Simulation result without stepped die



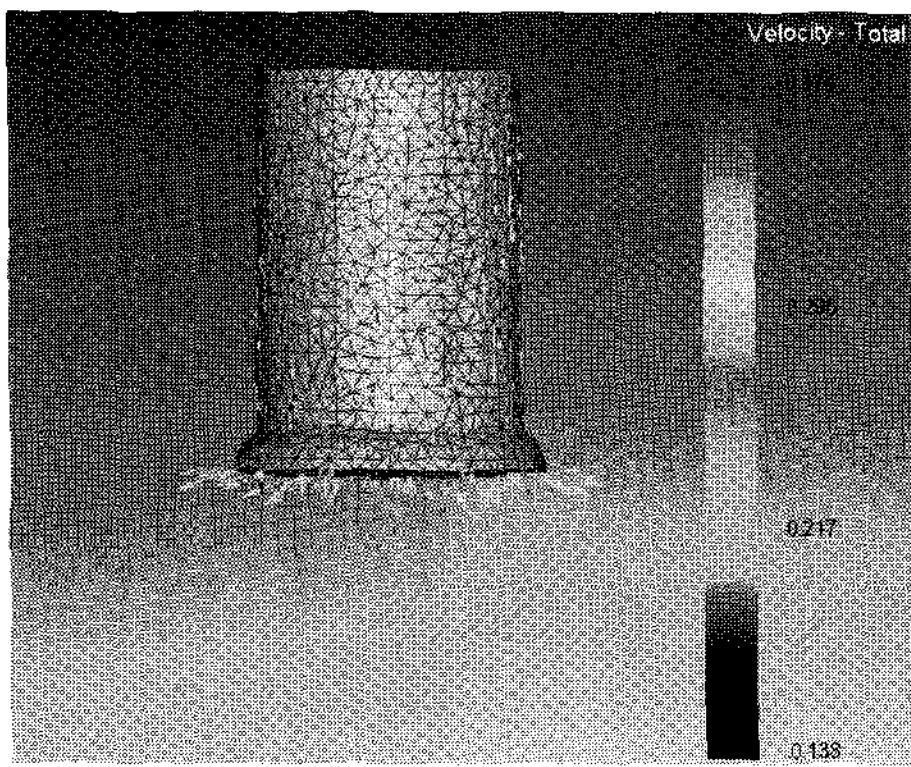
(b) Simulation result with concentric stepped die



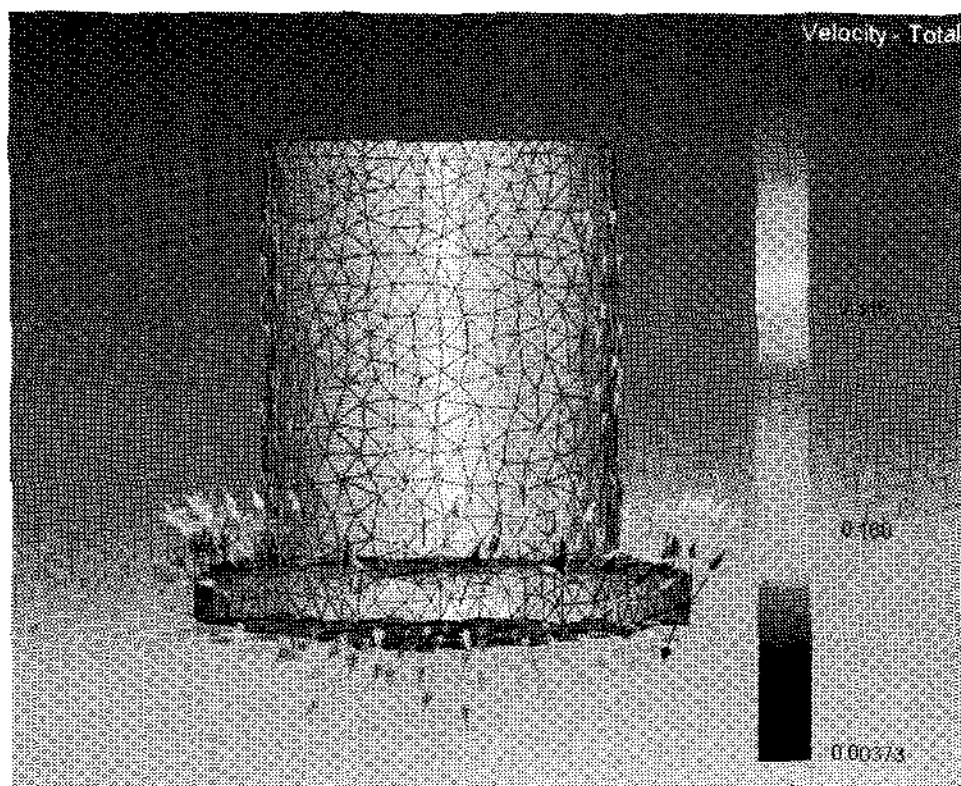
(c) Simulation result with eccentric stepped die

Fig. 6 Pressure analysis of hot extru-pressure welding process

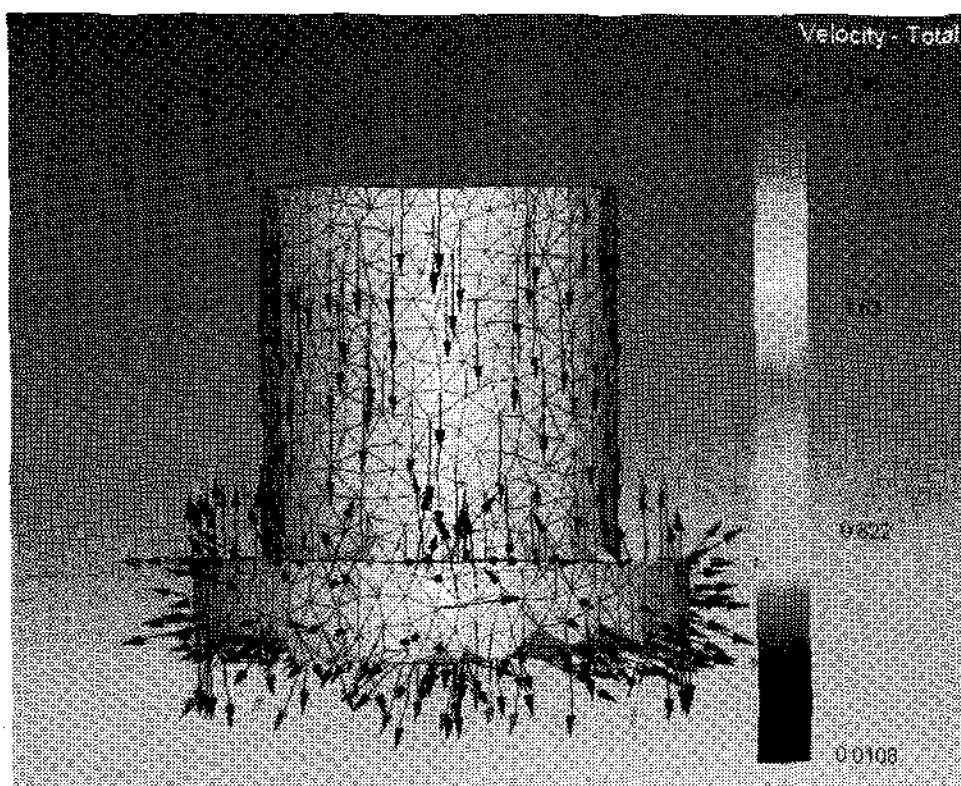
(step)을 가진 다이를 사용한 경우의 해석결과로서 다이를 사용하지 않는 개방형 압접보다 계단형 접합다이를 사용한 압접이 접합면에서의 접합압력이 높게 나타났고 개방형 압접에서는 접합부의 압력이 20Mpa 정도이었으나, 밀폐형 계단형 접합다이에서는 접합부의 압력이 개방형 압력보다 약 4Mpa 정도 높게 나타났다. 또한 Fig. 6 의 (c)는 소재와 계단(step)부의 위치가 편심으로 구성된 계단형 접합다이를 사용한 경우의 해석결과로서 편심이 없는 계단형 접합다이보다 편심되어진 계단형 접합다이가 접합면에서의 접합압력이 약 1Mpa 더 높게 나타났다. 그러나 원주면상에서 불균일한 응력분포를 보이고 있으며 부분적으로 접합압력이 편심되지 않는 밀폐형 계단형 접합다이보다 낮게 나타난 부분이 있다.



(a) initial stage



(b) middle stage



(c) last stage

Fig. 7 Velocity distribution of hot extru-pressure welding process with concentric stepped die

2.3 열간 압출압접 접합부 유동해석

Fig. 7 은 편심이 없는 계단(step)을 가진 접합다이를 사용한 경우에서 소재의 유동속도에 관한 해석결과이다. 전반적으로 접합부에서의 전체 속

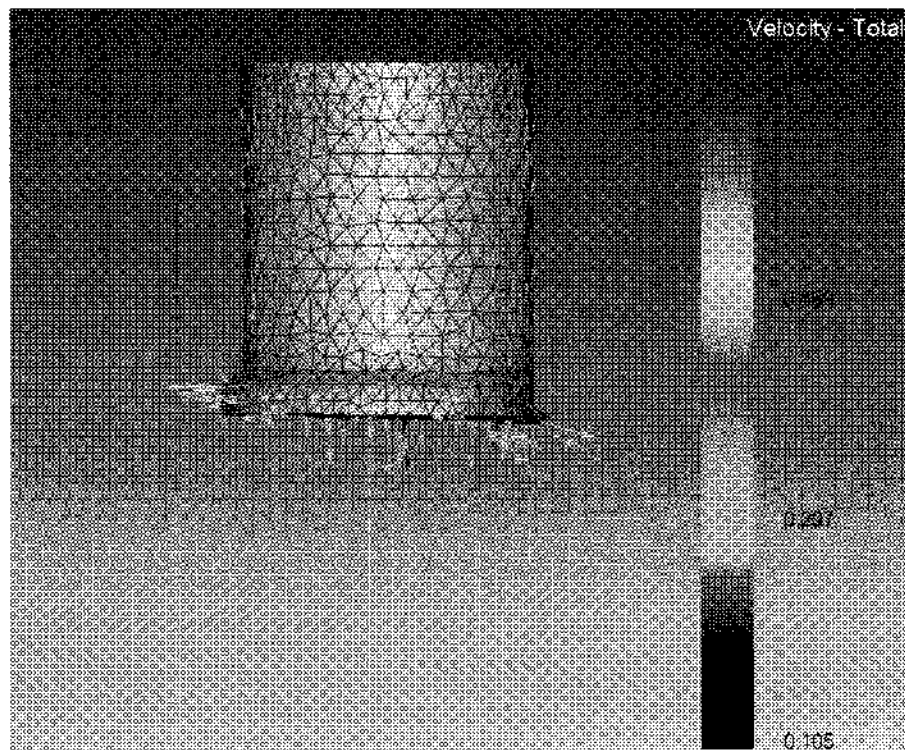
도와 계단(step) 형상이 접합부와 소재 중심축으로 대칭적인 형태를 보인다.

Fig. 7 의 (b)에서는 Fig. 7(a)의 해석 초기의 접합부에서 퍼져나가던 소재가 금형의 계단(step)에 따라 유도되어지면서 그 형상이 생성되어지는 것을 나타낸다. 편심이 없는 계단형 접합다이에서는 접합될 두 소재에서 접합면의 알루미늄 소재가 거의 동일한 속도와 형상으로 유동된다. 그러므로 알루미늄 산화막의 분포밀도를 전체적으로 균등하게 낮출 수가 있다. 접합부의 알루미늄 산화막의 분포밀도가 초기에 소재 유동에 의해서 전체적으로 균등하게 낮추어 지면서, 또한 순수 알루미늄 소재가 접합부의 뒤쪽에서 새로이 공급되어짐과 동시에 두 소재가 접합되는 것을 해석을 통하여 알 수 있다.

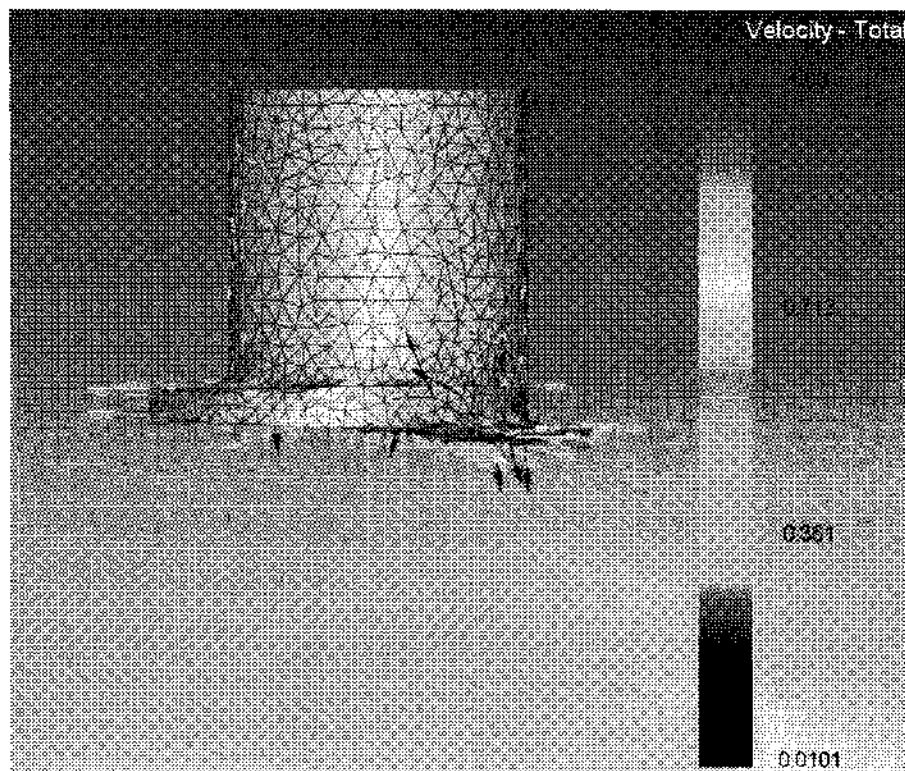
Fig. 7 의 (c)에서는 Fig. 7(b)의 해석 중간에서 접합부에서 퍼져나가던 소재가 금형의 계단(step)에 따라 유도되어지면서 그 형상이 완성되어지는 것을 나타낸다. 편심이 없는 계단형 접합다이에서는 접합될 두 소재의 접합면상의 알루미늄 소재가 거의 동일한 속도와 형상으로 유동함으로 알루미늄 산화막의 분포밀도를 전체적으로 균등하게 낮추면서 접합면에서 접합이 완성됨을 나타낸다.

Fig. 8 은 편심으로 구성된 계단(step)을 가진 다이를 사용한 경우에서 소재의 유동속도에 관한 해석결과이다. 전반적으로 접합부에서의 전체 속도분포가 편심이 없는 다이의 해석과 비교해서 접합부의 전단면이 소재 중심축을 기준으로 비대칭적인 형태의 타원형 전단접합면을 구성하고 있어 타원형의 접합면 장반경과 단반경의 두 반경 방향으로 전단접합면을 구성하고 있는 것이 특징이다.

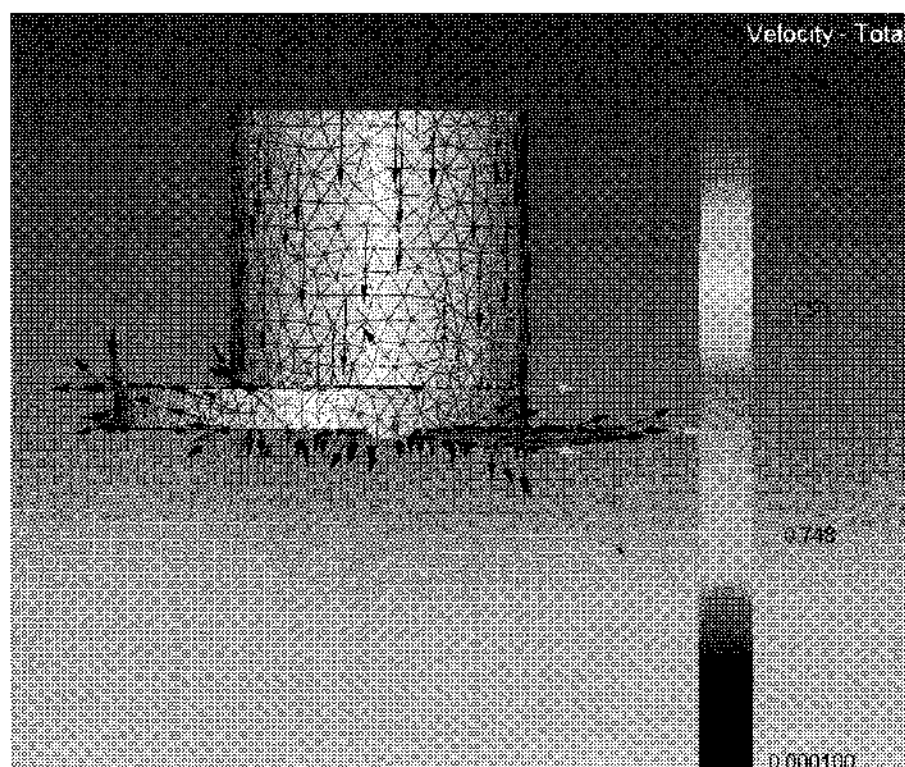
Fig. 8 (b)에서는 Fig. 8 (a)의 해석 초기의 접합부에서 퍼져나가던 소재가 금형의 계단(step) 중공부에 따라 유도되어지면서 그 형상이 비대칭적으로 생성되어지는 것을 나타낸다. 편심되어진 계단형 접합다이에서의 해석에서는 접합될 두 소재에서 접합면의 알루미늄 소재가 편심된 계단(step)의 형상에 의해서 수평방향의 속도분포가 나타난다. Fig. 8 (c)에서는 서로 반대되는 접합부의 장반경방향 쪽으로 전단이 발생하여 장반경방향 쪽으로 연속적인 유동이 계속해서 나타나고 있지만 단반경방향 쪽으로는 이미 유동 속도가 확연히 낮아진 것이 확인된다. 이로 인해 접합부에서 알루미늄 산화막의 분포를 균등하게 낮출 수 없음을 알 수 있다.



(a) initial stage



(b) middle stage



(b) last stage

Fig. 8 Velocity distribution of hot extru-pressure welding process with eccentric stepped die

특히 편심된 접합부의 장반경방향 쪽은 순수알루미늄 소재가 공급 및 유동이 계속적으로 확인되지만 단반경방향 쪽은 소재의 유동이 적은 것으로 나타난다. 단반경방향 쪽으로의 전단접합면의

상대이동속도의 차이가 줄어들어 단반경방향의 접합부에서는 접합효과가 저하될 수 있음을 알 수 있다.

3. 알루미늄봉재의 열간 압출압접 실험

3.1 압출압접 실험장치

Fig. 9 는 본 압출압접실험에 사용된 유압 프레스로서 최대 250ton 까지 가압이 가능하고 온도 제어장치가 되어 있다.

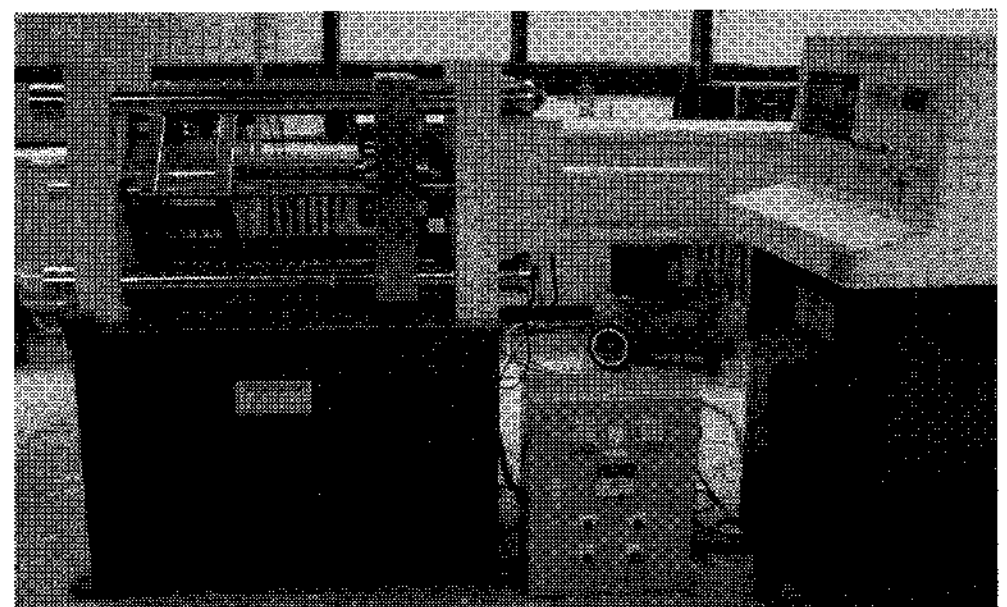
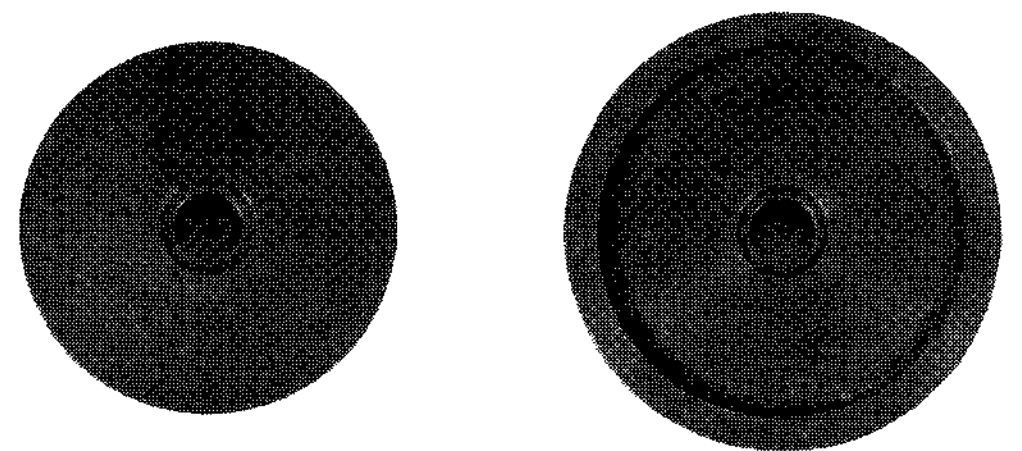


Fig. 9 Extru-pressure welding machine

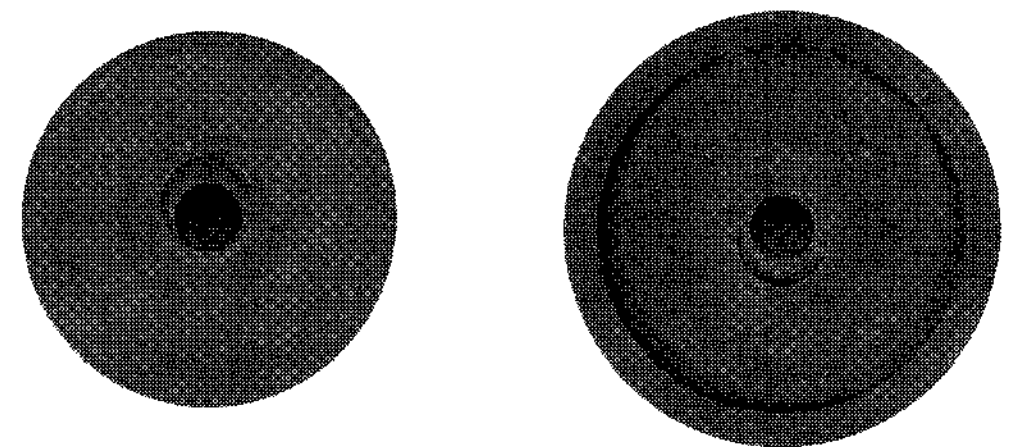
Fig. 10, 11 은 실험에 사용된 접합다이로서 압접에 사용될 두 소재가 유입될 수 있도록 각 다이의 내부에 있는 계단(step)의 모양을 가지고 있다.



(a) lower stepped die

(b) upper stepped die

Fig.10 Extru-pressure concentric stepped dies



(a) lower stepped die

(b) upper stepped die

Fig.11 Extru-pressure eccentric stepped dies

Fig. 10의 계단형 접합다이는 상형과 하형의 두 계단(step)부가 서로 동심원상으로 일치하여 접합면이 편심이 없는 구조를 가지고 있어 소재가 축을 중심으로 중심에서 바깥 방향으로 상하의 소재가 슬립 및 전단변형하고, Fig. 11은 두 소재의 접합하는 계단(step)부의 형상이 상형과 하형이 서로 반대로 편심이 되어있어 소재가 서로 반대로 슬립 및 전단변형하면서 계단(step)부에 채워지도록 설계되어있다.

Fig. 12는 실험에 사용된 일반적인 형태의 컨테이너와 펀치이고, (b)의 펀치는 프레스기의 유압실린더에 연결되어 프레스에 의해서 속도와 압력을 제어할 수 있다.

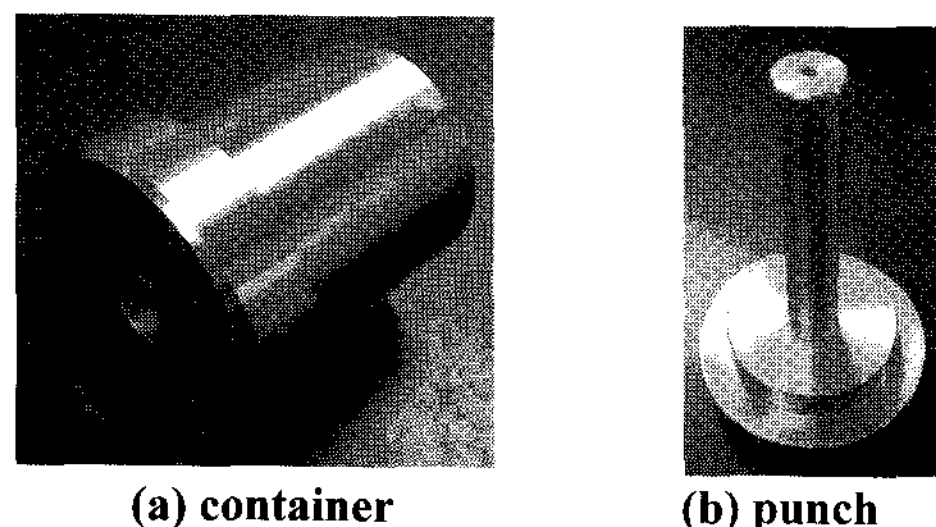


Fig.12 The container and punch of welding die

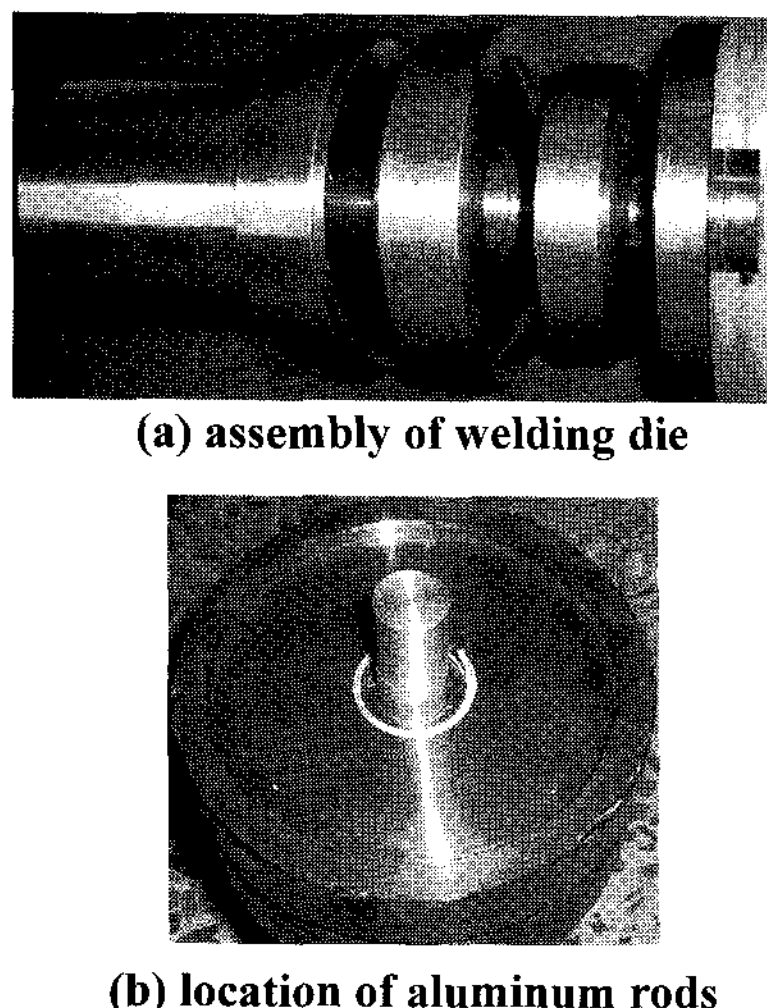
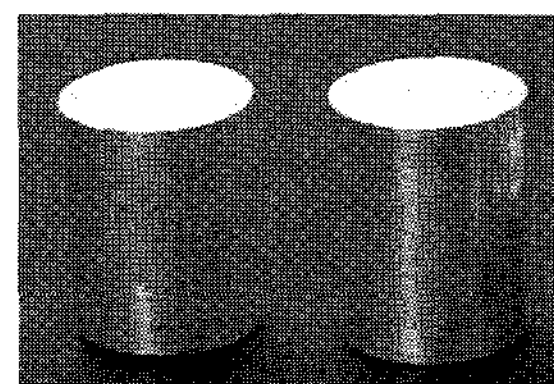


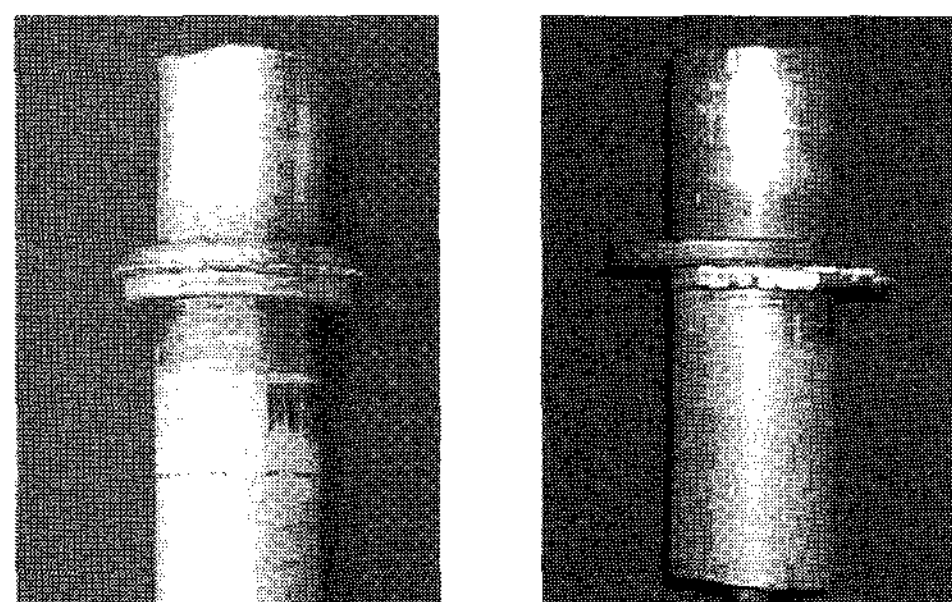
Fig.13 Assembly of extru-pressure welding dies

Fig. 13의 (a)는 계단형 접합다이스와 컨테이너 등의 실험장치의 조합을 나타내고 있고 (b)는 계단형 접합다이스 내부에 위치하게 될 알루미늄 소재의 위치를 나타내고 있다.

3.2 압출압접 실험결과



(a) Al-rods raw material



(b) concentric welded rod (c) eccentric welded rod

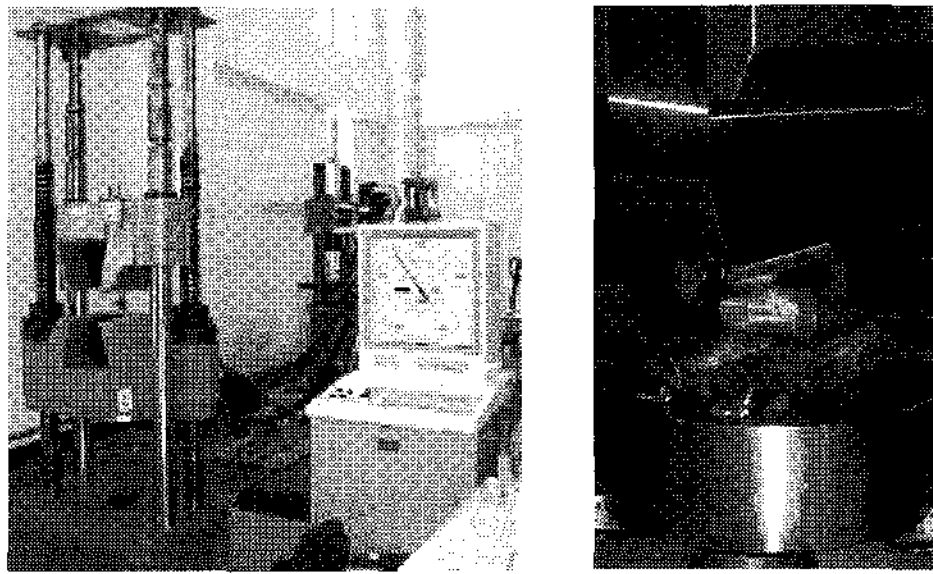
Fig.14 Results of extru-pressure welding

Fig. 14는 실제 알루미늄 소재를 이용한 압출압접의 실험결과이다. 결과에서 소재의 접합부가 두 개의 계단형 접합다이스가 유도한 형상인 계단(step) 형상을 이루고 있음을 알 수 있다. Fig. 14(a)는 접합되어질 소재이고, (b)는 편심이 없는 계단(step)을 가진 다이에서의 압출압접의 실험결과로 접합과 동시에 수직하중의 직각방향인 횡방향으로 소재를 압출할 때 편심이 없기 때문에 동심원상으로 압출한 접합부 형상이다. 그리고, (c)는 소재와 편심이 있는 계단(step)을 가진 다이에서의 압출압접의 실험결과로 접합과 동시에 수직하중의 직각방향인 횡방향으로 소재를 압출할 때 편심이 있기 때문에 편심형태로 소재를 압출한 접합부 형상이다.

실험결과로서 외관상 압출압접상태는 양호하였으며, 다이를 사용하지 않은 압접에서 발생하는 압접면의 벌어짐이 나타나지 않는다.

3.3 굽힘시험장치

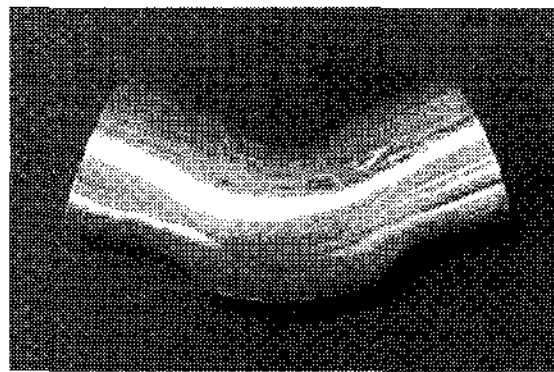
Fig 15는 굽힘시험에 사용된 만능재료시험기로 하중속도가 자동으로 컨트롤되며, 인장, 압축, 굽힘 강도를 최대 100ton 까지 측정할 수 있는 시험기이다.



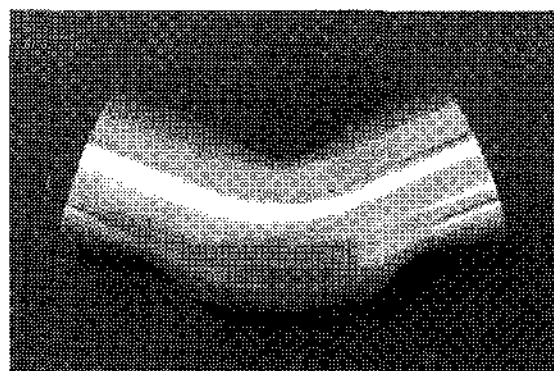
(a) bending machine (b) bending tools
Fig.15 Bending machine and tools

Table 1 Bending test conditions

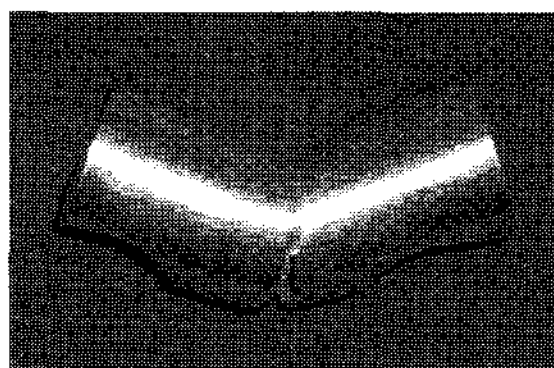
Items	Type
Universal Testing Machine	Shimadzu Corporation, UH-F100A
Tool	SM45C
Workpiece	Al 6063 $\phi 17 \times 45$
Machining conditions	Feedrate : 0.002 ft / s



(a) raw Al6063 aluminum rods



(b) extru-welded rod with concentric stepped dies



(c) extru-welded rod with eccentric stepped dies

Fig.16 Results of bending test of extru-welded rod

3.4 굽힘시험조건

Table 1 은 굽힘시험 조건을 나타낸 것이다. 시편은 알루미늄 소재중 압출에 주로 사용되는 Al

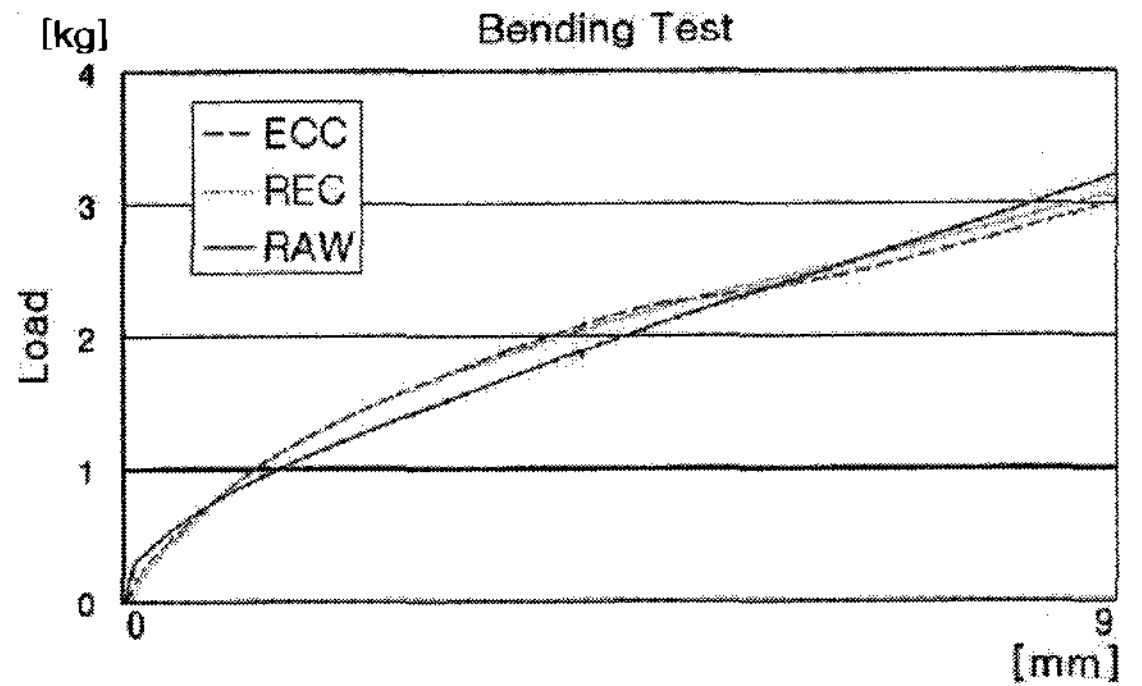


Fig.17 Graph of bending test of extru-welded rods

6063 의 환봉을 압출압접하고 압출된 계단(step)부의 버(burr)를 제거한 후에 굽힘시험하였다. 시편은 가공시 충격으로 인한 시편 결함 발생을 줄이기 위하여 선반에서 저속 가공으로 작업하였다.

3.5 굽힘시험결과

Fig. 16 은 실제 알루미늄 소재를 이용한 압출압접제품의 굽힘시험 결과이다. 그림 (a)는 Al6063 원소재이고 (b)는 편심이 없는 계단형 접합다이에서 접합 제품 (c)는 편심이 있는 계단형 접합다이에서의 압접 제품이다. 시험 결과에서 (a)와 (b)는 크랙이 발생하지 않았으며, (c)의 경우에는 크랙이 발생한다.

편심이 없는 계단형 접합다이를 사용한 경우와 비교해 볼 때 크랙이 발생한 원인은 접합면에서 전단속도분포는 크게 나타나고 있지만 방향에 따라 비대칭적인 전단속도분포가 발생하게 되어 방향에 따라 굽힘시험시 크랙(crack)이 발생함을 알 수 있다.

4. 압출압접 실험결과 분석 및 고찰

압출압접방법은 두 개의 소재를 열간 상태에서 높은 압력을 가함으로서 접합면이 압출되어 나갈 때 그 접합부에 있는 소재와 함께 산화알루미늄을 밖으로 배출하도록 하여 순수한 알루미늄 상태로 접합되도록 하기 때문에 접합력이 우수한 특성을 가지고 있음을 알 수 있다.

Fig. 17 은 앞의 세가지 제품의 굽힘시험선도이다. Al6063 원소재와 편심이 없는 계단(step)에서 제품의 굽힘시험에서 크랙이 발생하지 않았으나, 편심된 계단(step)을 사용한 시편에서는 파단이 일

어나는 것을 알 수 있다. 또한 굽힘시험초기에 접합소재의 가공경화 영향으로 원소재와 접합제품들과 비교했을 때, 접합 시편들이 원소재보다 굽힘하중이 더 높게 나타나는 영역이 있음을 알 수 있다.

5. 결 론

알루미늄 봉재를 가열하여 압력 접합하는 방법을 사용할 때 접합면을 둘러싸고 있는 금형의 구조에 따라 압력접합의 해석과 실험 결과는 다음과 같다.

(1) 압접주위가 개방된 상태에서의 압접에서는 접합부에서 개방된 버(burr)가 발생하고 접합압력이 낮아짐을 해석을 통해 알 수 있다.

(2) 편심이 없는 계단형 접합다이에서 압접은 일반 압접에서 벌어지는 버(burr)의 형상을 구속함으로써 접합부의 압력이 크게 됨을 해석을 통해 알 수 있다.

(3) 편심 형상을 가진 계단형 접합다이에서는 편심이 없는 계단형 접합다이 보다 평균접합압력이 크게 나타나지만 불균일한 분포로 크랙이 발생할 수 있음을 실험을 통해 알 수 있다.

(4) 편심이 없는 계단형 접합다이의 압력이 금속소성유동의 고른 분포로 편심된 계단형 접합다이보다 접합압력은 낮지만 접합이 양호한 것을 실험으로 알 수 있다.

이상과 같은 해석과 실험을 통하여 일반적인 압접보다 버(burr)를 구속하는 계단형 접합다이를 이용한 압출압접의 접합방법이 양호하며, 버를 구

속하는 계단형 접합다이(steped dies)의 형태에 따라 그 접합부의 접합강도에 차이가 있음을 알 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] In-Tai Jin, Kyeng-Kook Lee, A Study on the Hot Pressure Welding of Aluminum Rods, Proceedings of KSMPE 1st 2005, pp.142~145.
- [2] In-Tai Jin, Kyeng-Kook Lee, Hot Extrusion-Pressure Welding of Aluminum Rods using Eccentric-inclined Stepped Welding Dies, Proceedings of KSTP 1st 2005, pp.206~209.
- [3] In-Tai Jin, Kyeng-Kook Lee, A Study of Extrusion-Pressure Welding Strength of Aluminum Rods by the Shape of Stepped Welding Dies, Proceedings of KSMPE 2nd 2005, pp.145~148.
- [4] H. S. Jeong, J. R. Cho, N. K. Lee, H. C. Park, S. K. Choi, Development of Rotor Shaft Manufacturing Process using a Large Friction Welding, Transactions of Materials Processing, Vol.16, No.4, 2007, pp.266~270.
- [5] Welding Aluminum, Reynolds Metal Company, Richmond, Va (1954).
- [6] A. S. T. M. : Adhesion or Cold Welding of Materials in Space Environments, 1967.
- [7] L. E. Murr : Interfacial Phenomena in Metals and Alloys, Addison-Wesley Publish Co., 1975.
- [8] R. F. Tylecote : The Solid Phase Welding of Metals, Edward Arnold Ltd., 1968.