〈 논문 〉

Al 3003 컨덴서 튜브의 직접압출 연구

김병민† · 배재호* · 이정민*

(2004 년 12 월 3 일 접수, 2005 년 7 월 1 일 심사완료)

A Study of Extrusion Process for Al 3003 Condenser Tube

Byung Min Kim, Jae Ho Bae and Jung Min Lee

Key Words : Condenser Tube(컨덴서 튜브), Porthole Die(포트홀 다이), Welding Pressure(접합압력), Stress Analysis(강도해석), Nano-Indentation(나노 인덴테이션)

Abstract

Condenser tube is a component of the heat exchanger in automobile and air conditioning apparatus. It is generally made from the 1000 or 3000 series Al alloys that have good heat efficiency. In the case of 3000 series, these have high strength and hardness but have the disadvantage of low extruability. The development of extruding process in condenser tube with 3000 series Al alloys is studied in this paper. A study on extrusion process is performed through the 3D FE simulation in non-steady state and extrusion experimentation. Also, nano-indentation test is employed to estimate the weldability of tubes. Especially, An evaluation of the weldability using the nano-indentation is accomplished as compared with nano-hardness of welded part and the others in cross-section of tube.

1. 서 론

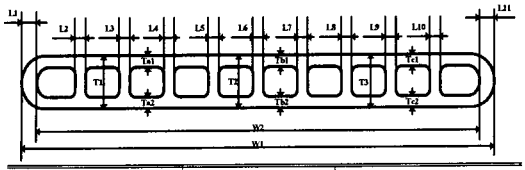
컨덴서 튜브는 자동차 에어컨의 응축기 및 냉난방 기기 등에 이용되는 부품으로 단면에 냉매의 유로인 미세홀을 가지고 있으며 다공 박막의 형태로 설계된다. 향후 컨덴서 튜브는 폭 15 mm 이하, 홀 수 15 이상인 소위 마이크로 멀티셀 튜브(Micro-multi cell tube)로 발전할 것이며 현재 일본 등 선진국에서는 미세 튜브 압출을 위한 많은 연구가 활발히 진행되고 있다.

컨덴서 튜브를 직접 압출법으로 제조하기 위해선 압출성, 가공성, 내식성, 브레이징(Brazing)성 등의 기계적, 물리적 성능이 우수한 Al 1000 이나 Al 3000 계열 알루미늄합금 빌렛이 사용된다. 그 중 Al 3000 계열은 냉매의 내압에 견디는 기계적인 성능은 Al 1000 계열보다 우수하나 압출성 및 가공성이 떨어지므로 압출 다이 설계 및 공정설계에 어려움이 많다.

† 책임저자, 회원, 부산대학교 정밀금형 및 금형가공연구소
E-mail : bmkim@pusan.ac.kr
TEL : (051)510-2319 FAX : (051)514-7640
* 부산대학교 정밀기계공학과

기존의 다이 설계는 설계자의 경험에 의해 대부분 이루어지며 시작품 제작 및 시험을 거친 후 다이를 교정하는 방식으로 많은 시행착오 및 제작비 상승 등의 문제점을 안고 있다.[1] 따라서 최근 유한요소해석을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션 방법이 모색되고 있다. 특히 컴퓨터의 발달로 인해 상용 해석프로그램의 보급이 활발해지면서 복잡한 단면 형상의 비정상상태 3 차원 열간압출 문제에도 유한요소해석 방법이 이용되고 있다.[2-6]

본 연구는 Al 3003 빌렛을 사용하여 제조되는 컨덴서 튜브 압출 다이를 개발하기 위해 고안되었다. 연구는 압출 다이 설계 후 Al 1100 및 Al 3003 빌렛에 대하여 직접압출공정의 유한요소해석을 수행하여 가공소요력과 데드메탈 영역, 접합압력 등을 확인하였다, 이를 바탕으로 Al 3003 의 압출성을 Al 1100 과 비교하여 판단하였다. 그리고 압출 다이의 제작 및 Al 3003 컨덴서 튜브의 시압출을 수행하였다. 또한 해석의 유효성을 입증하기 위해 압출된 컨덴서 튜브의 단면 및 표면의 미세조직 촬영을 통해 튜브의 결함 유무를 평가하였다. 특히 나노 인덴테이션을 이용하여 컨덴서 튜브 접합부의 접합성을 평가하였다. 접합성 평가는 컨덴서 튜브 단면에서 접합부와 그외 부분의 나노 경도값 비교를 통해 이루어졌다.



Classification	Symbols	Required dimensions(mm)
Width	W1	16.0 +0/-0.05
Height	T1, T2, T3	1.6 ±0.02
Wall thickness (Round part)	L1, L11	0.50 +0.05/-0.10
Wall thickness (Internal part)	Ta1, Ta2, Tb1, Tb2, Tc1, Tc2	0.35 +0.10/-0.05
Wall thickness (Plane part)	L2, L3, L4, L5, L6, L7, L8, L9, L10	0.35 +0.10/-0.05

Fig. 1 Dimensions of condenser tube

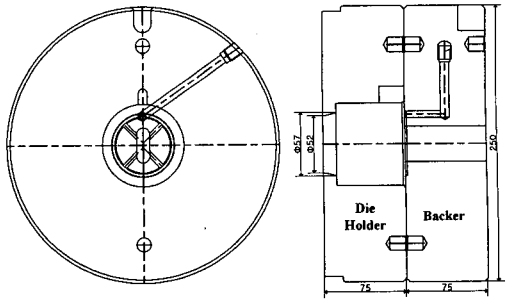
2. 압출다이 설계

2.1 포트홀 다이 설계

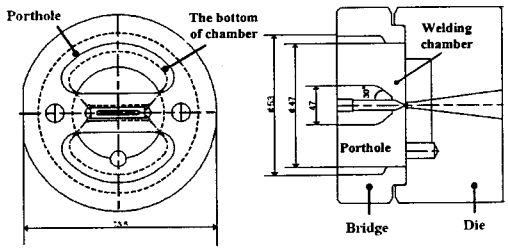
Fig. 1 에 본 개발 대상인 컨덴서 튜브의 단면형상 및 치수를 나타내었다. 요구치수를 만족하고 성능이 우수한 컨덴서 튜브의 제조를 위해 다음과 같은 압출 다이를 설계하였다. 다이 설계는 이전의 연구과정을 통하여 본 연구팀에서 보유하고 있는 컨덴서 튜브 압출다이 설계 데이터를 활용하였다.

다이 타입은 컨덴서 튜브와 같은 중공단면의 제품을 생산하기 위해 포트홀(Porthole) 방식을 채택하였다. Fig. 2 에 포트홀 다이 각 부품의 형상 및 치수를 나타내었다. Fig. 2(a)의 다이 홀더(Die holder)와 베커(Backer)의 전체 사이즈는 컨테이너 직경 ϕ 161 mm, 메인 압력 1250 tons 의 압출기 사양을 고려하여 외경을 ϕ 250 mm 로 길이는 150 mm 로 이미 결정되었다. 다이 홀더에는 브릿지(Bridge)와 체결된 다이가 삽입될 수 있는 내부공간을 확보하였으며 상단에는 12 mm 길이의 테이퍼 형식 홀을 설계하였다. 이는 압출 초기에 빌렛과 홀 내부와의 마찰을 줄여 원활한 유동속도를 얻기 위함이다. 압출 방향의 강도를 유지하는 베커는 길이를 75 mm 로 설정하여 압출 하중을 충분히 견딜 수 있게 하였다. Fig. 2(b)에 브릿지와 다이의 형상 및 치수를 나타내었다.

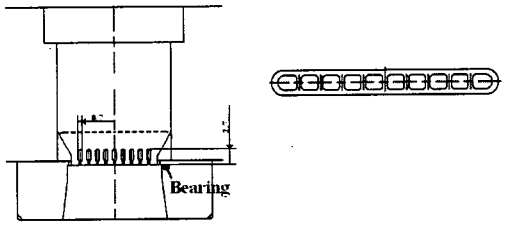
브릿지 내부의 포트홀은 컨덴서 튜브의 단면형상을 고려하여 접합면이 정가운데 수평으로 위치하도록 상부와 하부에 각각 하나씩 두었다. 그리고 접합실 내부로 유입되는 빌렛의 유동 및 접



(a) Die holder and Backer



(b) Bridge and Die



(c) Mandrel

Fig. 2 Constructions of porthole die

합성을 향상시키기 위해 웨브(Web)의 경사각을 30° 로 설계하였다.

접합실(Welding chamber) 높이는 5 mm, 바닥 면은 일반적으로 컨덴서 튜브 성형 시 나타나는 맨드렐(Mandrel) 양끝 단의 파손을 줄이기 위해 반리본형상으로 설계하였다. 접합실 바닥 면을 반리본형으로 설계할 경우, 챔버 내부에서 맨드렐을 충전하는 빌렛의 과정은 중앙 부위부터 양끝 단까지 순차적으로 충전하게 되며 충전하는 소재양도 맨드렐 중앙부위보다 양끝 단이 작아지게 된다. 따라서 과도한 소재 유입으로 인한 맨드렐 양끝 단의 파손 가능성을 줄일 수 있다. 마지막으로 Fig. 2(c)에 제품의 내측 형상을 결정하는 맨드렐의 형상 및 치수를 나타내었다. 접합과 동시에 맨드렐을 빠져나가는 소재의 양을 고려하여 슬릿(Slit)의 높이를 2 mm 로 하였다.

Fig. 3 은 각 부품을 결합한 포트홀 다이의 구성도를 3D 형상으로 나타낸 것이다. 모델링은 범용 CAD/CAM/CAE 코드인 I-DEAS 9 로 수행하였다.

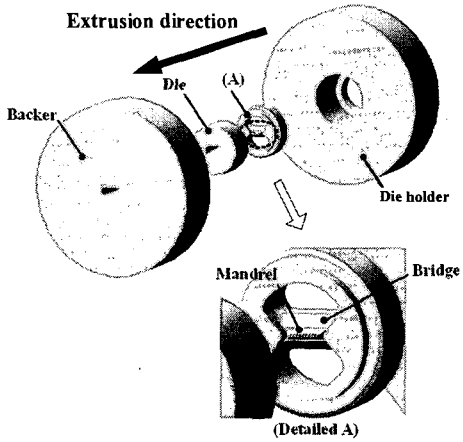


Fig. 3 3D model of the porthole die

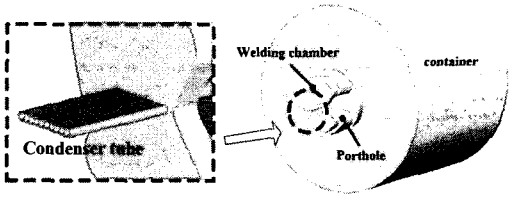


Fig. 4 Billet geometry associated with porthole die

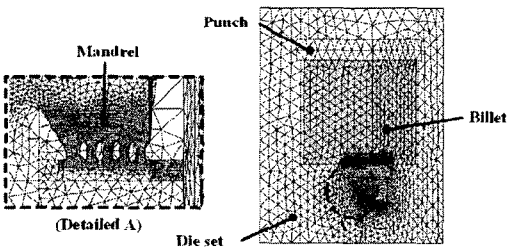


Fig. 5 Initial mesh system

3. 직접압출공정 해석

3.1 Al 3003 및 Al1100 의 직접압출공정 해석

Fig. 4 는 포트홀 다이 내부에서 성형되는 빌렛의 형상을 나타낸 것이다. 그림과 같이 2 개의 포트홀을 통해 나뉘어진 빌렛은 접합실 내부를 채운 후 접합면상에서 서로 접합하면서 다이 내부를 빠져 나오게 된다. 3 차원 열간 압출공정 해석을 위한 유한요소 격자를 Fig. 5 에 나타내었다. 해석시간을 줄이기 위해 격자의 밀도를 달리하여 변형이 많을 것으로 예상되는 부위에만 상대적으로 많은 격자를 생성하였다.

Table 1 Conditions of FE simulation

Extrusion condition	Value
Material of billet	Al 1100, Al 3003
Material of tools	AISI H13
Punch speed	4 mm/s
Initial Temperature of tools	450 °C
Initial Temperature of billet	480 °C
Friction coefficient	0.6
Dimension of billet	ϕ 152 x h150 mm
Total Extrusion ratio	1243

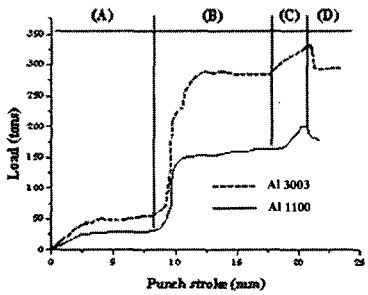


Fig. 6 Load – Stroke curve

해석과정은 빌렛이 챔버 내에서 접합이 이루어진 후 다이베어링을 빠져나오기 시작하는 단계까지 수행하였다. 그리고 해석 모델은 컨덴서 튜브의 대칭성을 고려하여 1/4 단면만을 취하여 수행하였다. 다이 재료는 열간 공구강인 AISI H13 을 사용하였고 빌렛의 재료는 Al 1100, Al 3003 두 가지를 사용하였다. 그리고 다이와 빌렛의 초기온도는 각각 450℃, 480℃로 설정하였다. 성형해석 시, 빌렛은 강소성체로, 다이는 변형을 수반하지 않는 강체로 설정하였다. 마찰계수는 무윤활의 열간 압출 시 일반적으로 사용되는 0.6 으로 가정하였다.[7] 그리고 Table 1 에 전반적인 해석조건을 나타내었다. 해석은 강소성 유한요소 해석 코드인 DEFORM-3D 를 이용하였다.[8]

3.2 해석 결과

3.2.1 가공소요력

Fig. 6 은 앞선 압출공정 해석 결과로 나타난 압출하중-변위 곡선을 나타낸 것이다. 해석의 결과로 나타난 압출하중 곡선은 다음과 같은 4 단계로 구분될 수 있다. (A) 구간은 빌렛이 컨테이너 내부를 채우는 업세팅 단계, (B) 구간은 브릿지에 의해 분할된 빌렛이 포트홀로 유입되는 분할단계이다. (C) 구간은 접합실 내부에 유입된 빌렛이 챔버 내부를 반경 방향으로 채워 나가며 접합면 상에서 서로 접합을 하는 접합단계이다. 접합과정은 압출

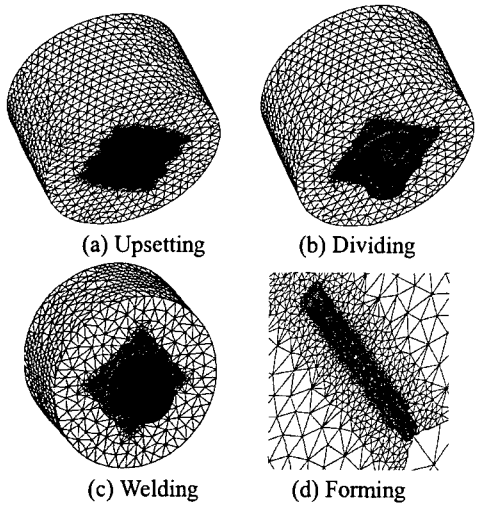


Fig. 7 Metal flow according to punch stroke

공정 중 최고의 하중 상승을 초래하게 된다. (D) 구간은 맨드렐을 충전한 빌렛이 최종단면 형상을 이루며 다이 베어링을 빠져 나오는 성형단계이다. 이후 하중은 완만하게 감소하며 압출과정은 정상 상태가 된다.[9,10] 해석 결과 두 재료 모두 펀치의 변위에 따라 동일한 하중경향을 나타내나 Al3003 의 경우 하중이 330 tons 으로 Al 1100 보다 (200 tons) 1.65 배 정도 더 높음을 알 수 있다. 이런 하중의 차이는 상대적으로 높은 Al 3003 의 항복 강도에 기인한 것으로 초기 업세팅 단계에서부터 공정 전반에 걸쳐 나타났다. 그러나 본 개발에 사용될 압출기 사양을(1250 tons) 고려할 때 두 제품 모두 하중에는 문제가 없다고 판단된다. Fig. 7 에 펀치 변위에 따른 빌렛의 변형과정을 나타내었다.

3.2.2 데드메탈 영역과 접합압력

절대속도가 적은 데드메탈 영역은 마찰력이 크거나 전단 변형이 심할 경우 나타나는 것으로 일반적으로 넓은 데드메탈 영역은 압출 제품의 결함으로 나타난다. 포트홀 금형의 압출성형에서 접합상태의 평가는 고려되는 중요한 사항으로 접합 시 높은 접합강도는 접합면의 조직을 치밀하게 하여 웰드라인(Weld line) 등의 압출재 결함 가능성을 줄일 수 있다. 유한요소 해석의 경우 접합면상의 수직압력을 소재의 항복강도와 비교하여 접합성을 판단한다.[11]

Fig. 8 에 나타난 데드메탈 영역(B)은 바닥 면 중앙 상단 부위와 맨드렐 양끝 단 부위 두 곳에 형성되었다. Al 1100 의 경우[Fig. 8(a)]가 Al 3003 보다 [Fig. 7(b)] 작은 면적의 데드메탈 영역을 형성하여 양호하게 나타났다. 그러나 접합압력은 Al 3003 의 경우가 더 양호하였다. Fig. 9 에 나타난 접합면상의 수직압력 결과를 비교하면 Al 1100 의 경우[Fig. 9(b)], 맨드렐 양끝 단에서 Al 1100 항복강도(34.4 MPa)의 1.45 배, 그리고 각 치형 부근에서는 최대 2.41 배로 나타났으며 Al 3003 의 경우[Fig. 8(c)], 맨드렐 양끝 단에서 Al 3003 항복강도(41MPa)의 1.6 배, 각 치형 부근에서는 최대 4 배의 충분한 접합압력을 나타내었다. 이러한 결과는 항복 강도가 높은 Al 3003 은 상대적으로 넓은 데드메탈 영역을 형성하지만 어느 정도 넓은 데드메탈 영역은 접합실 내부의 소재의 유동을 적절히 구속함과 동시에 내부의 압력을 상승시키는 작용을 하여 접합시 접합강도가 향상되는 것으로 사료된다.

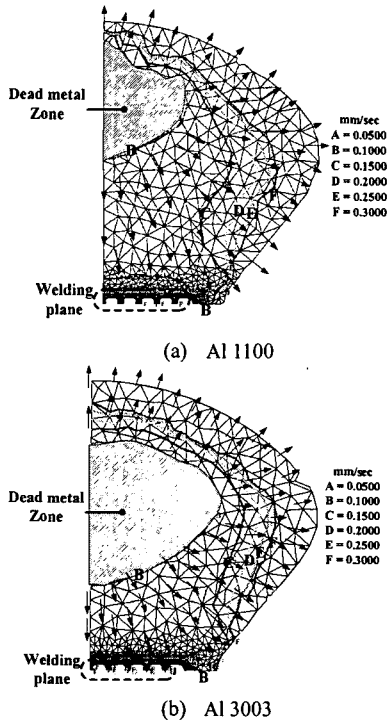


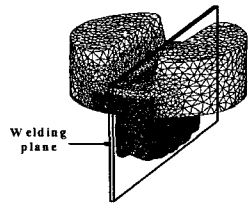
Fig. 8 Velocity distribution at bottom of chamber

3.3 다이 강도해석

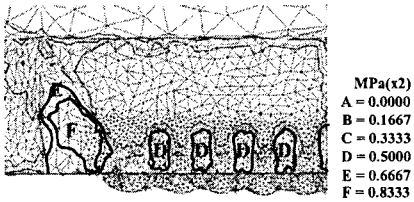
3.3.1 해석 조건

강도해석은 이전 직접압출공정 해석 결과인 압출하중-변위 곡선(Fig. 6)중 성형단계(D 구간)에서 소재 성형압력을 포트홀 다이의 유한요소 격자의 각 절점에 작용하는 하중으로 보간하여 수행하였다. 강도해석은 압출 다이의 파손에 영향을 미치는 가장 중요한 인자인 재료의 강도적인 내구성을 판단할 수 있다.[11]

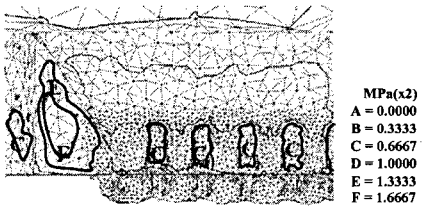
해석은 다이의 대칭성을 고려하여 1/4 단면만을 취하여 수행하였으며, 편의상 컨테이너 및 베커 등은 변형이 발생하지 않는 것으로 가정하여 다이 홀더, 브릿지, 다이 그리고 맨드렐만 일체형으로



(a) Welding plane at forming stage

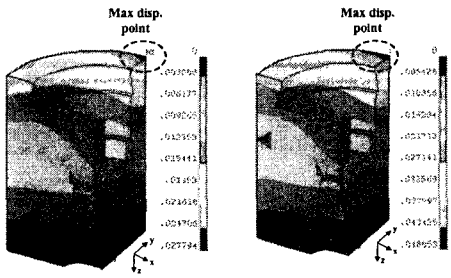


(b) Al1100



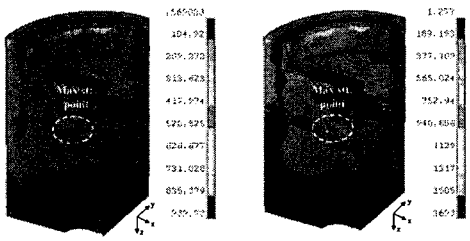
(c) Al3003

Fig. 9 Normal pressure



(a) Al 1100 (b) Al 3003

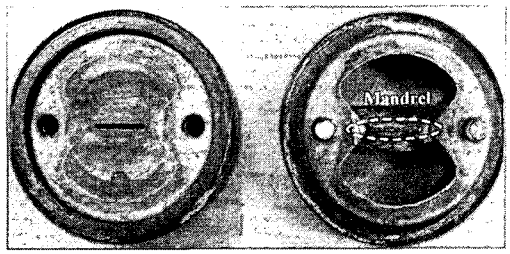
Fig. 10 Elastic displacements



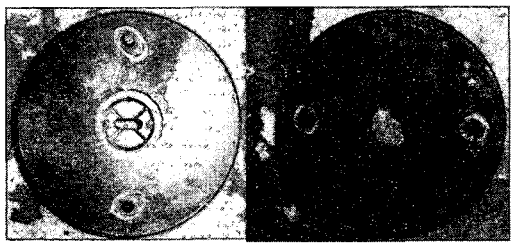
(a) Al 1100 (b) Al 3003

Fig. 11 Von mises stress

모델링하여 해석을 수행하였다. 재료는 Al 3003 의 높은 가공소요력 및 접합실 내부의 압력 등을 고려하여 압축강도가 우수한 초경합금(Gti50)을 적용



(a) Die (b) Bridge and Mandrel



(c) Backer (d) Die holder

Fig. 12 Photographs of manufactured porthole die

하였다. 이 재료의 탄성계수는 500 GPa, 그리고 푸아송의 비는 0.23 이다. 해석은 Ansys 5.5 를 사용하였다.

3.3.2 해석 결과

Fig. 10 은 다이 압출방향(z 방향)으로의 탄성 변위량을 나타낸 것이다. 두 재료 모두 최대 탄성 변위 지점은 다이 홀더 상단 부위이며 경향도 비슷하게 나타났다. 그 값은 Fig. 10(a)의 Al 1100 의 경우 0.0278 mm, Al 3003 은 0.0488 mm 로 Al 3003 의 경우가 많은 변위량을 나타내었다. 그러나 변위 부위가 대부분 초기 빌렛이 분할되는 다이 홀더에 집중이 되어있어 압출재의 치수 및 제품 정밀도에는 영향이 없을 것으로 판단된다. 확인 결과 맨드렐 부위의 변위량은 Al 3003 이 0.016 mm 로 비교적 낮은 변위량을 나타내었다. Fig. 11 에 압출단계 중 성형단계 시 다이가 받는 응력 분포를 나타내었다. 응력 분포 역시 Al 3003 의 경우가 높은 분포를 나타내었으나 브릿지 및 다이 전반적으로 소재 항복강도에 훨씬 못 미치는 189~565 MPa 정도의 낮은 분포를 나타내었다. 초경합금(Gti50)의 경우 항복강도는 2800 MPa 이다. 최대응력 발생지점은 Fig. 11 에 표시된 접합실 양단에 발생하였다. Al 3003 의 경우 수치상(1693 MPa) 다른 부위보다 상당히 높게 나타났는데 이는 유한요소 해석 상 메쉬 형상에 따른 국부적인 응력집중으로 특별한 고려대상은 아닌 것으로 확인되었다.

4. 압출 실험

4.1 다이 제작 및 압출 실험

Table 2 Extrusion conditions

Main pressure	1250 tons
Material of billet	Al 3003
Material of tools	Gti50
Preheating temperature of die	450 °C
Preheating temperature of billet	480 °C
Punch speed	4 mm/sec

Table 3 Chemical compositions of Al 3003

Comp.	Al	Mn	Cu
%	97.06	1.02	0.78
Comp.	Si	Fe	Zn
%	0.63	0.4	0.11

앞선 두 소재의 해석을 통해 Al 3003 으로 성형시 Al 1100 과 비교하여 볼 때 가공 소요력이나 다이 강도적으로 불리하게 나타났으나 접합성이 좀 더 양호한 결과를 나타내었으며 충분한 압출기 사양 및 재질 변화를 통한 다이 내구성을 예측하여 컨덴서 튜브 성형 시 압출성에 문제가 없다고 판단하였다. 따라서 본 절에서는 설계된 다이 형상과 같이 제작하고 압출시험을 수행하였다.

시험에 사용된 장비는 수평식 압출기로 최대 용량은 1250 tons 이며, 161 x h1500 mm 의 컨테이너 크기를 가지고 있다. 압출기에는 예열된 빌렛 외 컨테이너에도 가열 장치가 있으며 상시 일정 온도를 유지하기 위해 등온 압출 시스템(Isothermal Extrusion System)을 갖추고 있다. 그 외 냉각장치(Cooling System), 냉각이 완료된 컨덴서 튜브의 흔들림을 방지하고 일정한 제품 이송을 위해 최소의 인장을 가하는 텐셔너장치(Tensioner Equipment), 고속으로 압출 되어지는 제품의 표면 결함을 검사하는 와류탐상 장치(Eddy Current Test Equipment), 건조로(Drying Oven), 제품의 정렬권취를 위한 권취장치(Take-up Machine)등 후면라인을 갖추고 있다.

실험에 사용된 소재는 Alcan 사에서 제조된 Al 3003 빌렛을 사용하였으며 빌렛 사이즈는 (152 x h500 mm)이다. 빌렛과 다이의 예열온도는 직접압출공정 해석과 마찬가지로 480℃와 450℃로 유지하였다. 압출방식은 일반적으로 열간 알루미늄 압출에 사용되는 무윤활 직접압출 방식을 사용하였다. Table 2 에 전반적인 압출실험 조건을 나타내었으며 Table 3 에 Al 3003 의 화학조성을 나타내었다.

5. 실험 결과

5.1 표면 및 접합면 상태

Fig. 13 은 압출 실험 후 제조된 Al 3003 컨덴서 튜브 제품을 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 외관 형상이 결함 없이 양호한 컨덴서 튜브 제품을 얻을 수 있었다. 좀더 면밀한 제품 표면 및 접합면 상태를 확인하기 위해 SEM 조직촬영을 수행한 결과를 Fig. 14 에 나타내었다. Fig. 14(a)에 Al 3003 컨덴서 튜브의 제품 표면을 Fig. 14(b)에 단면 상태를 나타내었다. 표면 상태의 관찰결과 검은 선상의 깊은 골(valley)이 부분적으로 나타났으나 전반적으로 양호한 상태임을 알 수 있다. 이는 실험 시 다이에서 발생된 골이 압출 후 공정을 거치면서 남아진 것으로 사료된다. 접합부의 관찰결과, 접합부 모두 양호한 상태로 나타났다, 그러나 단면조직에서 그레인(Grain)이 전부 조대한 것을 볼 수 있는데, 그레인의 조대화에 대해서는 향후 자세한 연구가 이루어져야 한다. 그리고 단면에 부분적으로 나타나는 검은 점들은 Mg2Si 석출물로 확인되었다. 일반적으로 알루미늄 합금의 기계적 강도는 Mg 와 Si 를 첨가하여 주 강화원소인 Mg2Si 를 형성함으로써 얻어진다. 따라서 높은 기계적 강도가 요구될 때는 Mg2Si 함량을 증가시키지만 Mg 과 Si 함량의 증가는 압출성 및 인성을 감소시키는 경향이 있다.

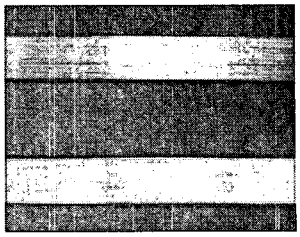
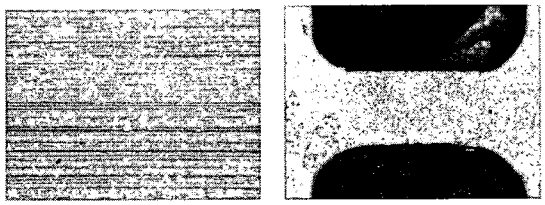


Fig. 13 Photography of condenser tube



(a) Surface of Tube (b) Section area

Fig. 14 Microstructures of condenser tube(x100)

5.2 제품치수 및 접합면 나노 인덴터 시험

Al 3003 시제품의 치수를 평가하기 위해 형상측정기를 이용하여 각 부위별 치수를 측정하였다. 각 샘플 부위의 측정한 항목은 Fig. 1 과 같으며 형상 측정기(Profile Project)로 측정한 제품 치수를 Table 4 에 나타내었다. 내측 벽두께 Tc1 을 제외하고 곡면부, 평면부 벽두께 및 폭, 높이등 대부분 목표치수를 만족함을 확인하였다.

기존의 접합강도 시험은 인덴터 및 아르곤 가스를 통한 튜브 확장성 시험을 통해 이루어진다. 그러나 튜브의 단면이 미세하고 복잡한 경우, 이

Table 4 Dimensions of extruded Al3003 condenser tube

Symbols	W1	T1	T2	T3	L1	L11	Ta1
Dimension(mm)	15.96	1.59	1.60	1.61	0.50	0.51	0.35
Symbols	Ta2	Tb1	Tb2	Tc1	Tc2	L2	L3
Dimension(mm)	0.35	0.36	0.35	0.34	0.36	0.36	0.35
Symbols	L4	L5	L6	L7	L8	L9	L10
Dimension(mm)	0.35	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.35

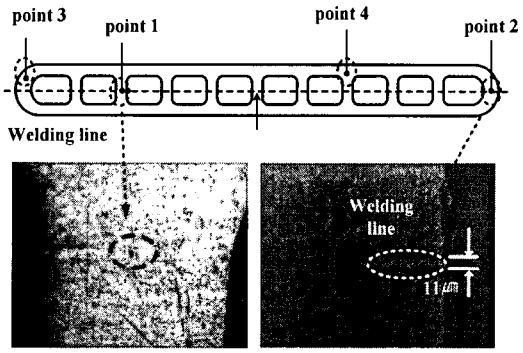


Fig. 15 Positions of indentation test and indentation mark tube

러한 시험들을 수행하기에는 많은 제약이 따른다. 따라서 컨덴서 튜브와 같이 초소형 단면을 가진 제품의 기계적 성능을 평가하는 것은 쉬운 일이 아니다.

직접압출 공정시 포트홀 다이 내부에서의 접합은 일종의 고상용접이다. 따라서 강한 압력의 작용으로 강제적으로 잘 결합된 소재의 표면은 자유전자의 이동이 가능한 한 원자 이하의 간격을 유지하기 때문에 경도값이 다른 부위보다 높다. 컨덴서 튜브의 경우도 고상접합[12]으로 인해 타 부위보다 접합부위의 소재 항복강도는 증가하고 소재의 표면경도 또한 증가할 것이라는 예측을 할 수 있다. 그러나 본 연구에 사용된 컨덴서 튜브의 경우 제품 두께가 0.35 mm 미만이며 특히 접합면 두께는 최대 11 ㎛정도이므로 비커스 경도와 같은 일반적인 경도 시험은 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 Al3003 컨덴서 튜브의 접합성 평가를 위해 단면내의 접합면과 일반 부위에 나노 경도시험을 수행하여 그 값을 비교하기로 하였다.

나노 인덴터는 정밀하게 가공된 다이아몬드 압자를 시험편 표면에 눌러 생기는 반발력과 압입깊이를 측정해서 압흔 면적을 계산하고, 이로부터 시험편의 탄성계수 및 경도를 측정할 수 있다.[13] 시험 위치는 접합면상의 두 지점과(Point 1,2) 일반적인 단면 부위(Point 3,4)를 선정하였다. Fig. 15 에 각 측정지점 및 시험 후에 나타난 압흔 자국을 나타내었다.

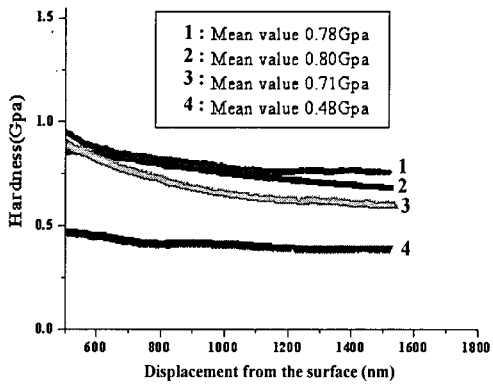


Fig. 16 Hardness vs. indentation depth

Fig. 16 에 나노 인덴터 시험 수행 결과 측정된 경도값을 나타내었다. 경도값은 정확도를 높이기 위해 500nm 이하의 노이즈가 포함된 측정치는 제거하고 노이즈가 없는 부분의 값만 취하여 평균을 구하였다. 시험 결과는 접합부위인 1 과 2 지점의 경우 (0.78~0.80GPa)가 3 과 4 지점(0.48~0.71GPa)보다 높게 나타났다. 특히 주목할 만한 점은 3 지점의 경도값이 접합면상의 경도값과 대등하게 높다는 것이다. 일반적으로 나노 인덴테이션 시험을 위한 시편의 표면조도가 매우 우수하여야 한다.[14] 그러나 본 시험의 경우 실제 가공된 제품의 단면을 폴리싱 하기 때문에 3 지점의 높은 경도 값은 그 부위의 표면 거칠기가 좋지 않거나 폴리싱 시에 발생하는 표면경화 현상의 결과로 판단된다. 결론적으로 접합면상의 상대적으로 높은 경도값으로 미루어 볼 때 Al 3003 컨덴서 튜브의 접합성은 양호하다고 판단되지만 향후 튜브 내압시험 등을 통한 좀더 면밀한 연구 및 관찰이 요구된다.

6. 결 론

본 연구에서는 Al 3003 컨덴서 튜브의 압출다이 개발을 위해 우선 직접 압출 공정을 위한 성형해석을 수행하여 Al 3003 은 가공소요력이 330tons 으로 Al 1100(200 tons) 보다 1.65 배 정도 더 높으나 본 개발에 사용된 압출기 고려할 경우 충분히 압출성형이 가능한 것으로 확인되었다. 또한 어느 정도 넓은 데드메탈 영역은 접합실 내부의 소재의 유동을 구속함과 동시에 내부의 압력을 상승시키는 작용을 하여 접합 시 접합강도가 향상되는 것을 확인하였다. 그리고 다이 강도해석을 수행하여 다이의 재질을 초경으로 할 경우 제품 치수에 가장 영향을 미치는 맨드렐 부위의 변형이 거의 없는 것으로 나타나 강도적으로 안전한 것으로 판단하였다.

압출실험을 수행하여 양호한 수준의 컨덴서 튜

브를 얻을 수 있었으며 기계적 성능 평가를 위해 나노 인덴터 시험을 통한 접합성 확인 방법을 제안하였다. 시험 결과 접합면의 경도가 다른 부위보다 높은 것으로 보아 Al 3003 컨덴서 튜브의 접합성은 양호한 것으로 판단되지만 향후 좀더 면밀한 연구 및 관찰이 요구된다.

후 기

본 연구는 한국산업기술재단(KOTEF)에서 지원하는 지역혁신 인력양성사업 연구과제인 "고기능, 고정도 판재성형 및 금형설계 기술개발 인력양성" (TS-32)의 지원에 의하여 수행되었습니다.

참고문헌

(1) Xie, J., Murakami, T. and Takahasi, H., 1990, "Metal Flow in the forming of Hollow Cylinder by Four-Billet Extrusion," *Journal of the JSPT*, Vol. 31, No. 351, pp 502~508.

(2) Murakami, S., Isogai, M., Inagaki, T., Takatsuji, N., Tokizawa, M. and Murotani, K., 1997, "Simulation of Rectangular Extruded Pipes by Porthole Die," *Journal of the JSPT*, Vol. 38, No. 436, pp 79~83.

(3) Kiuchi, M. and Hoshino, M., 1991, "Numerical Simulation of Forward Extrusion of Pipes through Bridge Die," *Journal of the JSPT*, Vol. 32, No. 361, pp 174~181.

(4) Xie, J., Murakami, T. and Takahashi, H., 1990, "Measurement of Pressure Distribution on Forming of Pipe by Four Billets Extrusion," *Journal of the JSPT*, Vol. 31, No. 359, pp 1469~1474.

(5) Yoneyama, T., Takatsuka, K., Kitagawa, M. and Hatamura, Y., 1995, "Measurement of the Contact Pressure in Aluminum Hot Extrusion," *Journal of the JSPT*, Vol. 36, No. 419, pp 1397~1402.

(6) Park, J. N., Park, T. J., Kim, D. H. and Kim, B. M., 2001, "Experimental Investigation on the Flow Control in Forward-Backward Extrusion of Piston-Pin for Automobile," *Trans. of the KSME A*, Vol. 26, No.7, pp. 1366~1375.

(7) Xie, J.X., Murakami, T., Takahashi, H. and Ikeda, K., 1993, "Theoretical Analysis on Fabrication Process of Pipe by Multi-Billet Extrusion," *Journal of the JSPT*, Vol. 34. 390, pp 823~829.

(8) "DEFORM™-3D," 1995, SFTC.

(9) Hsiang, S.H. and Liao, C.S., 1997, "Study on Hot Extrusion of Tubes," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 63, pp 254~259.

(10) Lee, E. H., Mallet, R. L. and Yang, W. H., 1997, "Stress and deformation analysis of the metal extrusion process," Comp. *Meth. In Appl. Mech. Eng.*, Vol. 10, pp. 339~353.

(11) Lee, J. M., Kim, B. M., Jeong, Y. D., Jo, H. and Jo, H. H., 2003, "The effect of chamber bottom shape on die elastic deformation and process in condenser tube extrusion," Journal of *KSPE*, Vol. 20, No. 5, pp. 66~72.

(12) Oosterkamp, A., Djapic Oosterkamp, L. and Nordeide, A., 2004, "Kissing bond phenomena in solid-state of welds of aluminum alloys" ,Welding research, August, pp. 226~231.

(13) 2002, "Nano-indenter XP Manual," MTS Systems Corporations.

(14) Oliver, W. C. and Pharr, G. M., 1992, "An Improved Technique for Determinating Hardness and Elastic Modulus Using Load and Displacement Sensing Indentation Experiments," *J. Mater. Res.*, Vol 7, No. 6, pp. 1564~1583.