

소화기용 7050 Al합금소재의 적용성 개발

Application development of 7050Al alloy in small arms.

김현규 (대우정밀 공업(주)), 최중환(국방 품질연구소)

H.G.Kim (Daewoo Precesion Ind), J.H.Choi (Defence quality assurance agency)

ABSTRACT

The Substitution development of 7075-T6 Al alloy to 7050-T74 Al alloy in small arms to improve anti-stress corrosion cracking was processed along with mass productivity consideration. To meet 7050 Al alloy material characteristics Indirect extrusion type was adopted and local heating above recrystalization temperature in forging process had to be avoided. The T74 aging treatment was 120°C -6hrs and 175°C-12hrs and was appropriate for both machanical and anti-corrosion properties. In accessment of field application test 7050Al alloy made parts of small arms showed equivalent or better performance than 7075 Al alloy.

key words : small arms(소화기), 7050 Al alloy(7050 알루미늄 합금), T74, forging(단조)

1. 서론

Al합금은 비강도가 좋고 가공성이 우수하기 때문에 항공기,차량구조물,기계장비,전기부품,스포츠용품등에 널리 사용되고 있으며 공업재료로서 중요한 위치를 차지하고 있다. 이 중 7050 Al합금은 미국의 Alcoa사에서 개발된 합금으로 7xxx계열 합금중에서 뛰어난 시효경화성을 가지며, Al-Zn-Mg-Cu의 조성을 7075 합금과 비교하여 보면, Zn과 Cu의 함량을 높이고 Zr을 첨가함으로써 소입감수성을 감소시킬 뿐만 아니라, 강도와 응력부식성을 향상시킨 합금으로 많은 부분에서 7075 합금을 대체하고 있다.⁽¹⁾ 이 중 한가지 적용예로서 E 품 소화기윗총몸으로 7075 합금이 사용되어 왔으나, field에서 응력부식균열이 상당량 발생하게 되어 내응력부식성을 향상하기 위해 7050 Al합금의 대체개발이 시급한 과제로 대두되었다.⁽²⁾ Al 합금을 소재로 사용한 E 윗총몸의 일련 생산과정은 주조-균질화열처리-열간압출-열간단조-용체화열처리-시효열처리-아노다이징의 과정을 거쳐 완제품에 이르게 된다. 위의 공정에서 가장 중요한 공정은 제품의 안정된 품질과 치수에 관여하는 열간단조성공⁽³⁾ 내응력부식성을 향상시키는 시효열처리라고 할 수 있으며⁽⁴⁾, 7050Al합금의 경우 Cu의 함량 증가에 따른 아노다이징처리가 다소 어려운점을 들

수 있다⁽⁵⁾. 따라서 본 연구에서는 7050 합금의 소재 특성에 따른 각종 규격과 일련의 대량생산성을 만족하는 각각의 공정조건을 검토하여 개발하였고 실제 야전에서 총기의 타성능에 미치는 영향을 평가하기 위한 적용시험을 하였다.

2. 일련 생산공정 및 개발포인트

2.1 용해및 주조

본실험에 사용된 용해 및 주조조건은 table1과 같다.

table 1.

용탕온도	720°C	주조속도	115mm/min
분배기 온도	680°C	billet size	φ7"×24" L
냉각수 온도	24 °C		

7050합금은 응고잔류응력이 매우 크므로 대형 billet을 생산할 때에는 탈수소개스처리가 중요하나 7"직경까지는 탕도 탈개스처리를 하지 않아도 문제가 없어 생략하였다. 주조속도도 생산성 향상을 위해 115mm까지 높게 하였으나 균열발생이나 편석현상은 발견되지 않았다. 주조한 7050Al 합금의 조성

구에서의 수직가속도를 측정하였다. 소염기를 통과하는 추진가스의 최고압력은 약 11,700psi 임을 알 수 있었다. M16A1 소총의 약실에서의 최고압력은 56,000psi 이며 통상 총구에서의 압력은 약실 압력의 10-30% 임을 고려할때 측정된 가스압력은 그 신뢰도를 인정할 수 있었다.

소염기의 역할이 총구의 앙등현상에 어떠한 영향을 미치고 있는지를 알아보기 위하여 소염기를 제거한 상태와 부착한 상태로 분류하여 총구의 수직가속도를 각각 측정하였다. 총구에서의 최대가속도는 270 m/s^2 이며 몸체의 최대 각가속도는 최대 가속도를 사격간 지지점인 개머리판으로부터 가속도계를 부착시킨 위치까지의 거리로 나누어줌으로써 구할 수 있고 이를 구하면 273.3 rad/s^2 이다. 한편 소염기를 부착한 상태에서의 최대 각가속도는 구해 보면 253 rad/s^2 이다.

추진가스가 6개의 slot를 통하여 그 일부가 유출될때 6개의 slot가 대칭으로 형성되어 있으므로 가스 운동량에 의한 총구의 앙등효과에는 영향을 주지 않지만 slot이 없을때 모든 추진가스는 총구를 통하여 유출되므로써 소총의 주퇴력을 증가시켜 총구 앙등현상이 증가한다.

3.3 소염기 slot의 배열

소염기의 slot는 6개로 구성되어 있으며 그 위치는 총구에서 볼때 각각 2, 4, 6, 8, 10, 12시 방향으로 되어 있다. 이와 같이 배열되어 있는 slot를 3개의 slot는 폐쇄하고 3개만을 개방하였을때 개방된 3개의 slot를 총구에서 볼때 4가지 형태 (4-6-8시 방향, 12-2-4시 방향, 6-8-10시 방향, 10-12-2시 방향)로 분류하여 각각의 경우에 대하여 수직가속도를 측정하였다. 4가지의 형태에 대한 최대 각가속도의 측정결과는 232.7 rad/s^2 , 192.3 rad/s^2 , 283.4 rad/s^2 , 222.6 rad/s^2 이었다.

최대 각가속도의 관점에서 볼때 그 크기의 순서로 나열하면 6-8-10시 방향, 4-6-8시 방향, 10-12-2시 방향, 12-2-4시 방향이므로 앙등효과를 감소시키기 위해서는 12-2-4시 방향으로의 slot를 개방한 형태의 소염기가 적합한 형상으로 간주된다.

4. 소염기의 형상과 총구앙등

4.1 총구앙등 감소를 위한 소염기 형상

M16A1 소총에 부착되어 있는 소염기는 slot 배

열이 대칭으로 되어 있기 때문에 총구앙등의 억제력은 서로 상쇄되고 단지 총구 전방으로 분출되는 추진가스를 분산시켜 화염을 감소시킨다. 그러나 slot를 통하여 반경방향으로 분출되는 추진가스의 운동량은 주퇴력을 감소시킴으로써 총구앙등 억제에 영향을 미친다. 본 논문에서는 slot를 통하여 분출되는 추진가스에 의한 총구앙등 억제력을 극대화 하기 위하여 slot의 배열을 비대칭 형상으로 설계하였다. 개선된 성능을 갖기 위한 소염기의 형상은 우사수용인 소총의 경우에는 수직방향으로부터 30° 방향(13시 방향)에서 소염기 중심방향으로 앙등 억제력이 작용하도록 slot를 배열하여야 하며 좌사수용인 경우에는 -45° 방향을 중심으로 slot를 배열하여야 한다. 본 논문에서는 우사수용인 경우를 중심으로한 slot 배열 형상을 설계 제작하여 실험을 통한 총구앙등을 측정하였다.

4.2 총구앙등의 실험 및 분석

소염기의 형태에 따라 변하는 총구앙등 현상을 측정하기 위하여 M16A1 소총의 사격 시험을 실행하였다. 소염기의 형태는 M16A1 소총에 부착되어 있는 기존의 소염기와 K-2 소총에서 사용하는 소염기, 그리고 K-2 소총용 소염기와 형태가 비슷한 개선된 모델의 모형을 선택하였다(Fig.6, Table 1).



Fig.6 Prototype of flash suppressor

Table 1 Specification of flash suppressors

model	weight(g)	slot(l/w,mm)	No. of slot
M16A1	56.48	24/5	6
K-2	83.88	32/4	3
Prototype	98.71	27/4	3

은 table 2와 같았다.

table 2.

element	Zn	Cu	Mg	Zr	Fe	Si	Mn	Ti	Cr
Mil spec.	5.7-6.7	2.0-2.6	1.9-2.6	0.08-0.15	0.15 max	0.12 max	0.10 max	0.06 max	0.04 max
composition	6.30-6.65	2.16-2.35	2.16-2.30	0.11-0.13	0.09-0.11	0.10-0.11	0.004-0.015	0.025-0.029	0.002

2.2 균질화 처리

Al합금에서 균질처리를 하는것은 dendrite조직과 입계등에 응고과정에서 생성된 금속간 화합물 또는 석출물을 재고용시키고 주조시 형성된 주조응력을 풀어줌으로써 이후의 소성과정에서 결함이 발생하거나 변형저항이 커지는 것을 방지하기 위해 행해진다. 통상 2단계로 465℃-9hr, 480℃-7hr하는 경우 양산에서는 열처리 노내의 온도편차나 많은 장입량이 들어갈 경우 부분적으로 국부가열이 되어 취성이 발생할 수 있다. 본 제품은 250℃에서 3시간 용력제거를 한뒤 460℃에서 15시간 유지하는 1 단계 균질화 열처리를 하여 안정성과 생산성을 높였다.

2.3 열간 압출

열간압출공정의 변수는 압출온도, 압출속도, 압출비를 제어하고 이러한 공정변수에따라 압출재의 온도, metal flow등이 변하게 되며 제품의 소성공량, 각 부위의 재질차이, 결합유무등에 직접적인 영향을 끼치게 된다. 알루미늄 소재의 압출공정에서는 dies와 소재사이의 마찰열, 가공열에 의한 온도상승과 금속 유동속도가 복합적으로 작용하면서 소재의 온도가 상승하게되고 전 공정에서 남아있는 잔류응력이 큰 경우 압출에 의한 소재내부의 응력이 증가하면서 제품표면에서는 결정립의 성장이 촉진된다. 성장된 입자는 소성변형능이 적으므로 차후의 단조공정에서 요구되는 소재의 변형량을 따르지 못하고 플래쉬가 절단되면서 파괴에 이르게 된다.

본 제품의 열간압출 공정에서는 table 3과 같이 압출비를 12, 압출속도를 1000mm/min로 하여 항공기 재료의 경우 압출비가 7~10이고 압출속도가 700mm/min정도인데 비하여 생산성을 향상시켰는데, 이 경우 직접 압출방식으로는 압력이 상승하고 균열이 발생하여 표면뜯김 현상이 발생하기 쉬우며 특히 이후의 단조공정에서 사진 1과 같이 표면이 조악하고 전체적인 금속유동(metal line)이 좋지 못할 뿐더러 취성이 발생하여 플래쉬가 절단된 모양을 보이고 있다.

table 3.

billet 온도	container 온도	dies 온도	압출 속도	billet size	압출비
390℃	370℃	425℃	1000 mm/분	φ7"x24" l	12

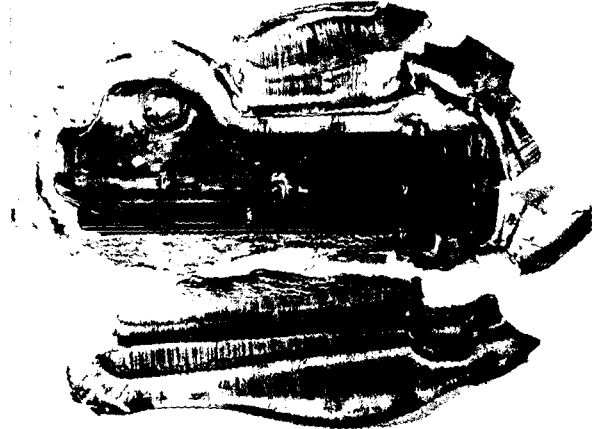


photo 1.

직접압출공정의 경우에는 소재내부의 잔류응력이 극대화되고 특히 표면에서 압출시 소재의 변형량이 크게되면서 재결정온도 이상으로 과열이 되면 사진 2와 같이 입자가 성장하게 된다. 따라서 직접압출방식을 간접압출방식으로 바꾸어 생산하여 본결과 단조공정에서 취성이 발생되지 않고 플래쉬가 잘 형성됨을 확인하였다.

2.4 열간 단조

Al은 용점이 낮아 단조온도도 한정되어 있으며 7075, 7050합금에서 잔류응력이 큰경우, 412℃ 이상에서는 재결정입자의 성장으로 인하여 취성이 발생하고 단조시 터짐현상이 발생하게 된다. 따라서 단조온도는 균열이 발생하지 않는한 낮은온도가 유리하

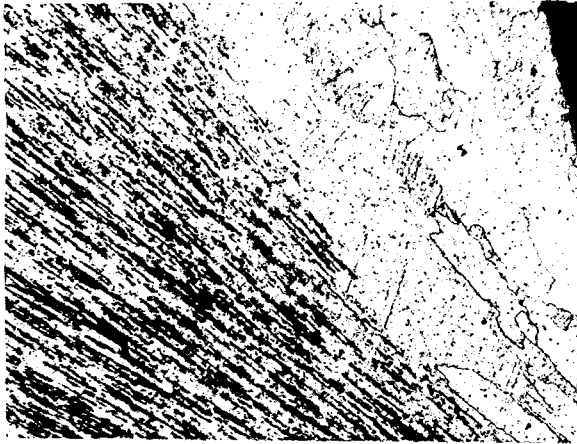


photo 2 x 200

나 금형의 마모가 심하여 생산성이 나쁘게 된다. 또한 해머성형의 경우 프레스 성형에 비해 2배 정도의 변형률이 발생하면서 소재의 온도가 상승하고 타수가 진행됨에 따라 재결정온도 이상으로 가열되면 단조시 터짐현상이 쉽게 발생한다.

본 제품은 간접압출재를 24cm 길이로 절단한뒤 예열로에서 400℃이하로 예열하고 1600ton crank press기로 해머성형한 뒤(3타) 60℃의 온수에 냉각하였다. 사진 3은 해머성형한 제품으로 플래쉬의 형성이 잘 되어있음을 알 수 있다. 또한 단조시에는 단조금형내부의 metal flow가 중요한데 R값이 적은 부위에서는 단조시 metal flow가 난류가 형성되면서 결함이 발생하기 쉽다. 따라서 R값을 되도록 크게하여 내부결합이 발생하지 않도록 하는 것이 중요하다. 본 제품의 경우 가장 작은 R값은 1 mm로 단조후 단면을 화학etch하여 관찰한 결과 사진 3과 같이 연속적인 라인이 관측되어 양호한 결과로 판단되었다.

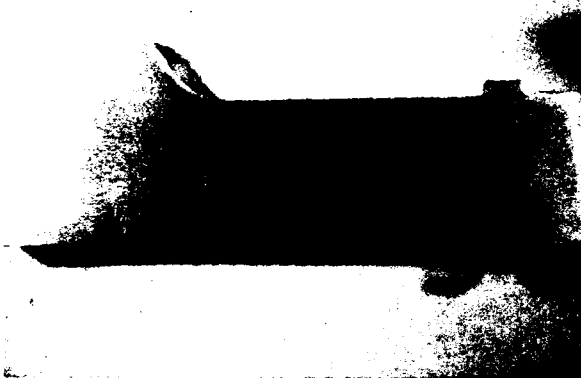


photo 3.

2.5 용체화 열처리

용체화처리는 합금원소의 고용도를 최대로 하기 위하여 최대고용이 가능한 온도로 충분히 가열한후 급냉함으로써 과포화고용체를 형성하는 공정이나 소입처리시 급냉민감성 때문에 60~80℃의 온수에 냉각하여야 한다.

본공정에서는 MIL-6088 규격에 의거 477℃에서 2시간 유지후 60~80℃의 온수에 냉각하였다. 이 때 주의할 점은 열처리 후 소입까지의 시간이 지연되면 제품내부의 결정립이 재결정온도 이상이므로 성장하게 되고 열변형, pore형성이 되므로 가능한 소입까지의 시간을 짧게 하는 것이 소재의 특성을 좋게 할 수 있다. 한편, Txx51, Txx52의 공정에서는 용체화처리후 형성된 소재표면의 잔류응력을 제거하기 위해 1~5%의 소성변형을 가하는 방법이 사용된다. 그러나 본제품과 같이 단조후 복잡한 형상의 소재에 균일한 소성변형을 가한다는 것이 불가능하고 생산성에 나쁜영향을 끼치므로 이 공정을 생략하였다. 차후의 시효열처리후 기계적 시험, 내용력부식시험에서 나쁜영향을 끼치는 점은 발견할 수 없어 용체화처리후 소입시 잔류응력이 크게 형성되지는 않은 것으로 사료되었다.

2.6 T74시효 열처리

고강도 Al합금은 T6시효열처리에 의해 뛰어난 강도를 가지게 되나 응력부식균열(SCC)이 발생하기 쉬운 문제점을 안고있다. SCC의 발생을 막기 위해서는 과시효를 하여 쉽게 얻을수 있으나 강도저하가 문제가 되므로 T74처리와 같은 2단 시효열처리를 행하면 고강도와 함께 SCC특성이 향상될 뿐더러 박리부식, 파괴인성, 피로균열, 소입감수성을 향상할수 있다. T74공정은 MIL-H-6088 규격을 참고로 한 뒤, 시효온도와 시간에 따른 각각의 시편을 제작하고 경도분포측정, X-선회절분석, 열 시차분석, 인장시험, 투과전자현미경관찰, 주사전자현미경관찰, 전기전도도측정, C-ring을 이용한 내용력부식시험⁽⁶⁾등을 통해 강도와 내용력부식성을 모두 만족하는⁽⁷⁾ 시효열처리 조건을 설정하였다. (table4)

table 4.

1차 시효온도 및 시간	120℃-6시간
2차 시효온도 및 시간	175℃-12시간
항복강도(Y.S)	69.9 ksi
I.A.C.S.(%)	41.3 %

여기서 I.A.C.S.는 어닐링한 순수한 동의 전기전도도에 대한 제품의 전도도값의 비를 표현한다.

2.7 아노다이징 처리

AI 제품은 최종적으로 황산 용액에서 산화전류를 인가하여 산화막을 형성한뒤, 염료에 침적후 크롬산에서 봉공처리를 하여 착색하는 것이 일반적이다. 그러나 7050 AI 합금의 경우에는 Cu가 2.0%이상 함유되어 산화전류가 Cu에 국부적으로 집중되고 균일한 산화막의 성장을 방해하여 착색불량이 쉽게 발생한다. 본 제품에서도 Cu가 2.3%정도 함유되어 7075 합금과 같이 Cu가 2.0%이하의 경우에 비하여 위와 같은 문제가 발생하였다. 이 경우 황산에 유기산을 첨가하는 것이 일반적인 해결책이 되나 각종 부품을 아노다이징 처리하는 현장에서는 용액의 변경이 어려워 산화전류 인가시간을 5~10분 연장하여 본 결과 우수한 흑색피막을 얻을 수 있었다. 다만 이 경우에도 산화피막의 두께가 7075AI 합금에 비해 5 μm정도 감소하고 표면조도의 차이가 발생하여 같은 흑색이라도 질감의 차이가 있었다.

3. 야전 적용성 시험

소화기용 AI합금의 용력부식균열에 대한 개선책으로 기존의 7075AI합금을 7050AI합금으로 재질변경 후 총기 타성능에 미치는 영향을 평가하기 위해 아래 table 5.와 같이 야전 적용성 시험을 하였다.

table 5.

시험항목	시험 내용	시료수
기능시험	두격,기능사격,발사속도,표적 및 정확도	각 20정
내구도 시험	정당 6000 발	4정
낙하 시험	1.5M 상공서 6방향 낙하후 30발 사격	2정
약작용 시험	꼬질대를 총구에서 약실부 앞쪽까지 삽입후 약작용유발	2정

위 각 시험항목의 결과는 모두 양호하였으며 약작용실험결과에 있어서도 7075AI에 비해 7050AI이 연성이 뛰어나 총몸의 균열상태가 상대적으로 미세하였다.

4. 결론

소화기용 알루미늄 합금부품의 내용력부식성을 개선하기위해, 기존의 7075 AI소재를 7050 AI소재로 대체하는 일련의 생산공정에서 각 공정의 변수를 양산성에 맞추어 검토하고 개발하였다. 7050 알루미늄의 소재특성상 열간 단조성을 개선하기 위해 간접압출방식이 적용되었고 T74 시효열처리 조건은 1차 시효시 120℃에서 6시간,2차 시효시 175℃에서 12시간이상이 적합하였으며 이 때의 기계적 강도및 내용력부식성은 각종 규격치를 만족하였다. 총기의 타성능에 미치는 영향평가에 있어서도 기존의 7075 알루미늄합금과 동등하거나 우수한 결과를 얻을수 있었다.

참고 문헌

1. 국방과학 연구소 기술보고서: MARD-411-88107
2. 최중환, "E 소총 윗총몸의 균열발생에 관한 연구", 국방품질관리소 부산지소
3. 김대용의, "AI 7050 단조품의 불균일 조직에 관한 연구", 단조기술의 진보, pp81-90, 1995
4. 김종기, "7050 AI합금의 시효거동", 부산대학교 금속공학과 석사논문, 1996
5. A.W.Brace, P.G.Sheasby, "The technology of Anodizing Aluminum", Technicopy Ltd, pp124-135
6. ASTM G 38, G47
7. AMS4107, Mil-STD-1537