

알루미늄 材料技術(Ⅱ)

黃 昌 奎
韓國에너지研究所 工作室長



●1932년생
●기관학을 전공하였으
며, 현재 연구·개발장
치의 설계·제작분야와
특히 용접분야에 관심을
가지고 있다.

5. 알루미늄 材料의 成形加工

5.1 剪斷加工

(1) 剪斷加工 一般

전단가공은 재료에 전단하중을 걸어 둘 이상으로 分離하는 加工方法으로 각종 shear에 의한 전단과 프레스에 의한 것으로 대별이 된다. 여기서는 프레스 가공을 대상으로 해서 기술하고자 한다.

그림 1은 剪斷機構를 개략적으로 표시한 것이다. 가공력 P 와 벤딩 모멘트에 저항해서 發生한 橫壓力 Q 와의 썩기 작용에 의해서 發生한 상하 크랙이 일치하였을 때 전단가공이 끝이 난다.

(2) 剪斷荷重

그림 2는 각종 재료와 알루미늄 재료의 전단하중의 경과를 나타낸 剪斷線圖를 표시한 것이다. 이 전단과정에 있어서의 전단하중의 최대값은 切斷口 總面積으로 나눈 값, 즉 切斷口 단위면적에 대한 최대 전단응력을 전단저항 (shearing resistance) 혹은 전단강도 (shearing strength)라고 한다.

전단저항은 재료의 종류나 가공조건 등에 따라서 다소 다르나 보통 인장강도의 75~80%이다.

이제, 전단력을 P (kg), 전단조건에 의한 補正係數를 K (보통1), 전단저항을 τ (kg/mm²),

판 두께를 t (mm), 전단부분의 길이를 l 이라 할 때

$$P = k \cdot l \cdot t \cdot \tau$$

로 표시할 수 있다.

전단에 필요한 힘 P 는 전단부분의 길이 l 에

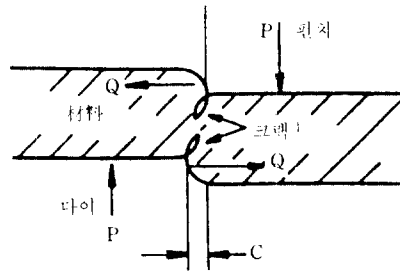
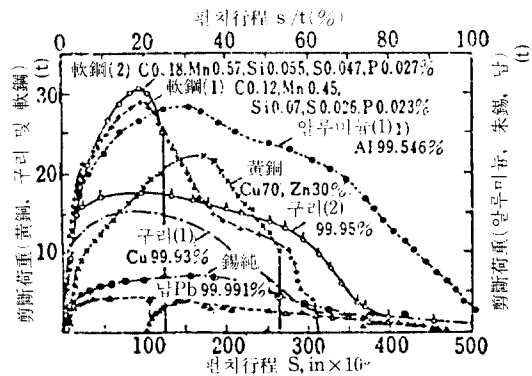


그림 1 剪斷機構



(두께1/2in, 幅1.5in, 길이12in의 棒을 간격5in의 平行直線날로 兩端固定으로 틈새0으로 剪斷했을 경우)

그림 2 剪斷線圖의 數例

비례해서 증대하므로 l 全部를 同時에 切断하지 않고 조금씩 切断하면 필요한 힘은 적어진다.

그림 3에서 보는 것처럼 쉬어 角(shearing angle)을 주어 切断작업을 하는데 이때 쉬어 角을 w 로 하면 보통은 $\tan \cdot w/2 < \mu$ (공구면과 피가공재와의 마찰계수)의 범위를 취하는 데 최대 약 1° 정도까지다. 그림 4에서 보는 바와 같이 打拔時의 쉬어 角은 (a)에 표시한 것처럼 다이스에 穿孔時에는 (b)와 같이 편치에 붙인다.

5.2 굽힘가공

(1) 굽힘가공의 종류

대표적인 가공 종류는 그림 5에서와 같이 5 종류로 대별된다.

(가) V자 굽힘(그림 5(a))

편치 굽힘반경 r_p 와 다이 굽힘반경 r_d 가 크게 되면 제품의 흠은 적지만 굽힘位置가 不安 全하기가 쉽다. 또 다이의 길이 h 가 너무 크면 굽힘 후 치수의 균일성을 잃게 된다.

(나) U자 굽힘(그림 5(b))

간격 C 가 작은 경우에는 素材가 늘어나 側面의 굽음(warpage)이 감소된다. 또 加壓力을 크게 하면 제품은 內閉상태가 된다. 적당한 간격은 板 두께의 8~12%가 좋다.

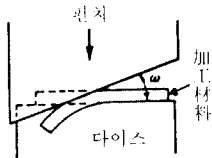


그림 3 剪斷 날에 쉬어 角을 붙인 상태

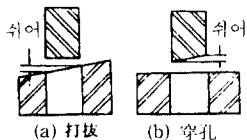


그림 4 쉬어 角의 붙임法

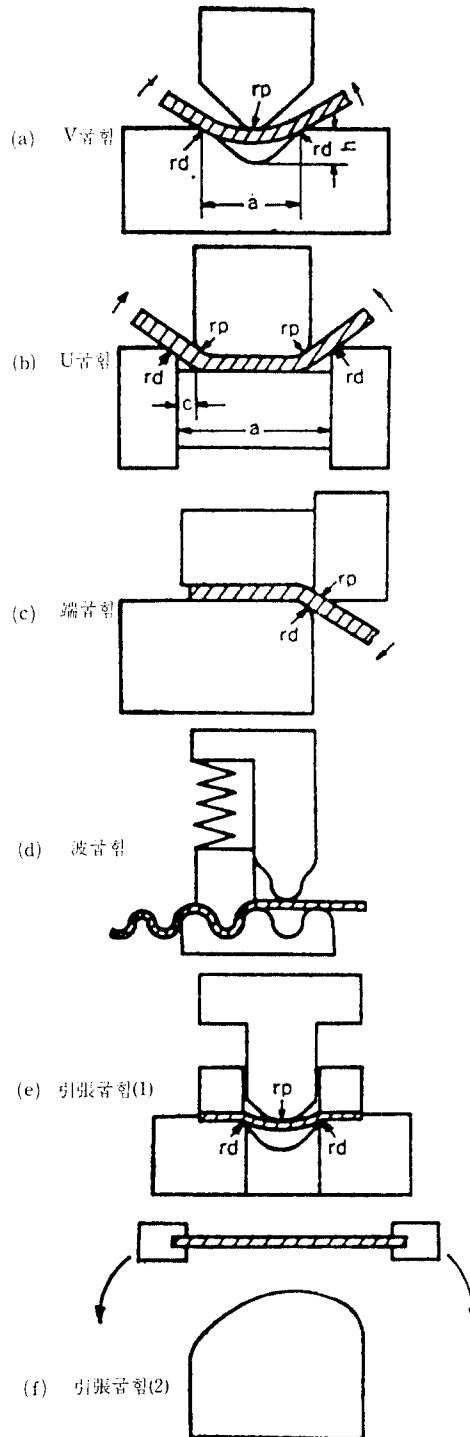


그림 5 굽힘가공의 종류

(㉔) 端 굽힘(그림 5(c))

V자 굽힘으로 成形이 어려운 非對稱인 경우에 유리한 작업을 할 수 있으나 不均一한 굽힘 각도와 스프링 백(spring back)이 크다. 또 素材表面을 펀치가 요동을 하기 때문에 型의 마멸에 주의해야 한다.

(㉕) 波 굽힘(그림 5(d))

素材를 한쪽에서부터 성형을 하기 때문에 成形된 부분이 당겨지는 일이 없도록 강한 힘으로 밀어줄 필요가 있다.

(㉖) 引張굽힘(그림 5(e), (f))

素材의 양단을 고정하고 굽힘가공 中 인장력에 의해서 성형하는 것으로 스프링 백의 量이 적을 뿐만 아니라 精度 높은 제품을 얻을 수 있다.

이상과 같은 각종 굽힘가공 형식의 특징을 고려해서 더욱 좋은 제품을 만들 수 있는 적합한 가공형식을 선택하는 것이 필요하다. 특히, 純 알루미늄을 소재로 사용할 때에는 제품의 흠이 문제가 되기 때문에 다이나 펀치의 굽힘 반경의 결정, 간격의 설정 등에 특별한 주위가 필요하다.

(2) 굽힘가공에 必要한 加壓力

굽힘가공에 소요되는 가압력은 가공방법과 제품의 형상에 따라 상이하나 代表例로 V자 굽힘과 U자 굽힘에 소요되는 가압력을 이하로 표시한다.

(3) 굽힘반경

板材의 굽힘반경은 JIS H400 “알루미늄 및 알루미늄 합금의 板과 條”의 굽힘 試驗內側半徑을 사용하는 것이 좋다. 그리고 板두께가 두껍고 伸率이 작을수록 굽힘반경은 커지는 것을 생각하는 것이 좋다.

(4) 굽힘不良과 對策

(가) 굽힘가공시 균열이 생길 때

(a) 굽힘반경을 체크해서 최소굽힘반경 이하인가 아닌가를 확인한다.

(b) 端面의 손질가공을 잘한다.

(c) 板의 압연방향과 굽힘선이 一致되지 않게 한다.

(d) 板두께를 얇게 하던가 굽힘 폭을 좁게 한다.

(e) 경우에 따라서는 연한 質別의 材料를 사용하던가 불림(annealing)작업을 한다.

(㉗) 제품의 표면에 흠이 있을 때

(a) 펀치와 다이 사이의 간격을 검사한다.

(b) 소재 板두께의 균일성을 검사한다.

(c) 切屑이나 먼지 등이 型에 부착되지 않았나 조사한다.

(d) 굽힘 型은 될 수 있으면 硬한 것이나 表面손질이 잘된 것을, 또 경질크롬 도금된 것들을 사용한다.

(e) 板表面에 보호막이 되어 있는 것을 사용한다.

5.3 드로잉 加工

알루미늄과 알루미늄 합금은 淺 드로잉(deep drawing)가공에 널리 사용이 되어 왔고 淺 드로잉 作業으로는 加工性이 양호한 材料로써 軟鋼板에 比해서 상이한 성질을 가지고 있음을 알수가 있는데 여기서는 기본적 形狀인 圓筒 淺 드로잉 가공을 中心으로 해서 기술하기로 한다.

드로잉 가공은 재료의 중앙부를 펀치로 누르고 후랜지 部가 圓周方向으로 壓縮되고, 半徑方向에 引張되면서 다이의 肩部에 접한 부분에서는 굽힘작용을 받게 된다. 이때 원주방향의 압축과 힘에 의해서 板이 座屈되면서 주름이 發生하는 것으로 적당한 힘을 가해서 주름을 억제한다.

加工에 必要한 힘(펀치의 힘)은 上述한 각 힘과 재료와 工具間의 내찰력의 합이 된다. 그림 6에서 보는 바와 같이 各 曲線의 極大值가 최대 펀치의 힘이 된다. 이 극대치는 軟質材에서는 行程의 後記를, 硬質材에서는 行程의 初期를 나타내고 있다. 펀치의 힘은 재료의 펀치 頭部에 접한 부분을 通해서 引張의 형태로 전해진다. 그러므로 淺 드로잉 가공의 成否는 최대 펀치의 힘과 荷重에 의한 引部의 破斷力과

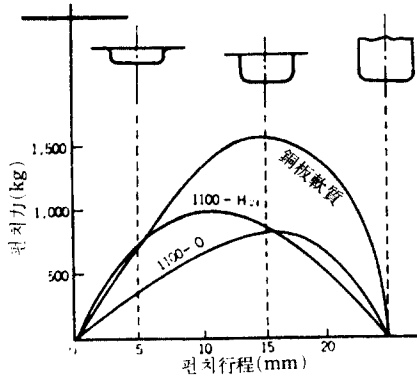


그림 6 펀치行程-荷重曲線

의 크기에 의해서 결정된다. 이상적인 닥 드로잉 재료는 최대펀치의 힘이 작고 荷重에 의한 리부의 파단력이 큰 것이 되겠다. 한편 드로잉 가공면에서는 다음과 같은 조치가 유효하다.

(가) 荷重에 의한 리부의 局部的 荷重集中을 완화해야 한다.

(나) 후랜지부의 변형저항을 작게해야 한다.

(1) 材料

닥 드로잉 가공에는 1000번 系列의 純 알루미늄이 많이 使用되고 있는데 强度, 表面處理性, 耐蝕性 또는 製品形狀用 등에 대해서는 각종 알루미늄 합금이 사용된다.

강판에 비해 工業용 純 알루미늄은

(가) 變形抵抗이 작고 形狀凍結性이 良好하여 型에 친숙하다.

(나) 破斷抵抗이 작고 이른바 허리부분이 약하다.

(다) r 直(板幅과 板厚와의 變化比)가 작고 張出性이 나쁘다.

(2) 닥 드로잉 型

알루미늄용 닥 드로잉 型은 다른 재료의 成形가공과 본질적으로 같으나 成形品の 표면을 그대로 제품의 표면으로 하는 경우가 많기 때문에 흠을 방지 하기 위해서 型의 表面을 깨끗이 할 필요가 있다. 그러므로 경질 크롬도금을 해서 사용하는 것이 좋고 또, 型의 재료는

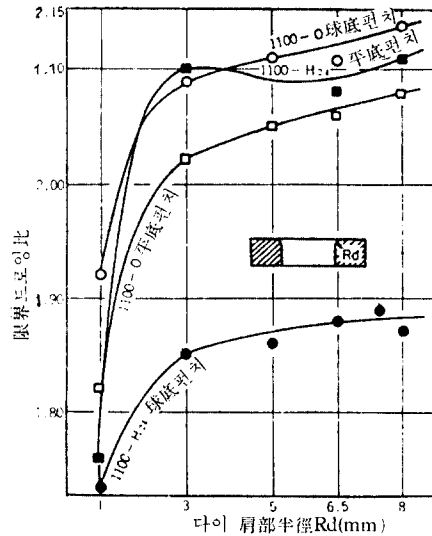


그림 7 1100板의 닥 드로잉 性에 미치는 다이 肩部半徑의 영향(板 두께 1mm)

工具炭素鋼이 적합하다.

(가) 型의 肩部半徑(Rd)

Rd가 클수록 限界 드로잉 比는 向上이 되고 작게되면 그 부분의 굽힘변화가 정교하게 되기 위해서 최대 펀치의 힘을 증가시키는데 이는 드로잉 性이 감소되기 때문이다. 한편 Rd가 커지면 形狀凍結性, 주름을 억제하는 점에서 불리하기 때문에 일반적으로 다음과 같이 하는 것이 무난하다.

$$4t \leq Rd \leq 10t \quad (t \text{는 板의 두께})$$

그림 7은 1100-D와 1100-H24板(1mm)에 대해서 平底펀치(頭部角 半徑 4mm)와 球底펀치(同16.5mm)를 使用해서 Rd가 닥 드로잉 性에 미치는 영향을 구한 실험결과와 一例가 되었다.

(나) 펀치頭部 角半徑(Rp)

Rp가 작게되면 Rd의 경우와 마찬가지로 굽힘변화가 정교하게 되고 한편 Rp가 커지면 펀치와 材料의 初期 接觸部分이 국부적으로 板두께가 감소되어 드로잉 性이 저하되기 때문에 다음 식이 적합하다.

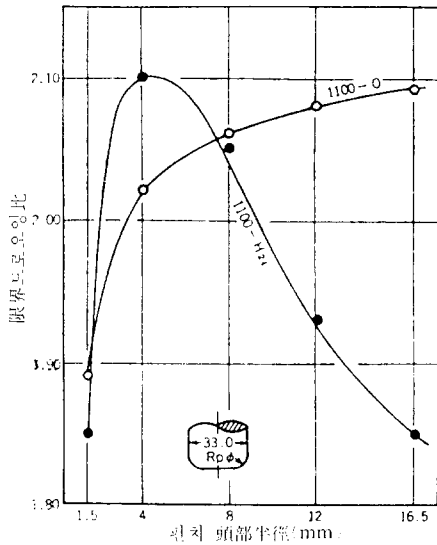


그림 8 1100板의 덮 드로잉性に 미치는 핀치 頭部角半徑의 영향(板 두께 1mm)

$$4t \leq R\phi \leq 20t \quad (t \text{는 板 두께})$$

그림 8은 덮 드로잉性に 미치는 $R\phi$ 의 영향을 표시한 것이다.

(다) 핀치와 型과의 間隔(C)

C가 작아지면 최대 핀치의 힘이 증가해서 드로잉性が 저하하고 C가 커지면 容器側壁에 흠이 발생하기 때문에 적정 간격은 다음과 같이 하는 것이 좋다.

$$1t \leq C \leq 1.25t \quad (t \text{는 板 두께})$$

그림 9는 이 관계에 대한 例가 되겠다.

(라) 핀치 직경의 영향

板 두께가 一定하고 핀치 직경이 증가하면 덮 드로잉性は 一般적으로 저하되고 핀치 직경이 일정한 경우 板 두께와의 관계에서는 最良의 相對 핀치 徑이 存在하며 아주 작은 徑을 가진 핀치로 드로잉을 할 경우 어느정도 板 두께가 얇은 재료 쪽이 드로잉性が 좋다.

(3) 角筒 드로잉加工

角筒 드로잉加工에서는 四隅의 曲邊部는 圓筒 드로잉의 一部分과 같은 변형을 하고 直邊部는 굽힘加工을 받기 때문에 展開 形狀은 복

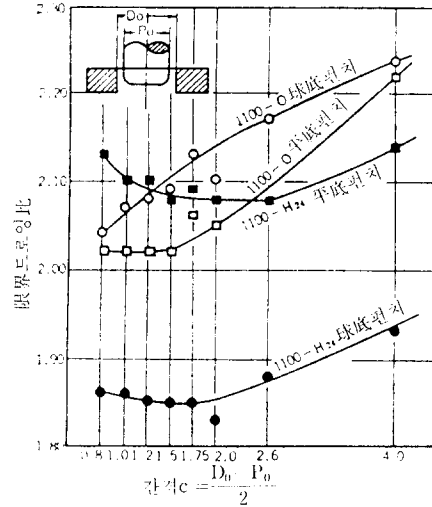


그림 9 1100板의 덮 드로잉性に 미치는 핀치-다이 간격의 영향(板 두께 1mm)

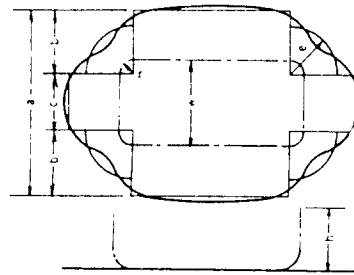


그림 10 角筒 드로잉 제품의 展開形狀을 구하는 법
잡하다.

展開 形狀을 구하는 방법은 그림 10에서 보는 바와 같이 成形品 치수에서 다음 식에 의해서 基線各部의 치수를 결정하고 作圖에 의해서 基線外周를 매끄러운 곡선으로 연결하면 된다. 여기서 짧은 선은 基線이며 일점 쇄선은 성형품 形狀을 표시한다.

$$a = w + 2h$$

$$b = h + r$$

$$c = w - 2r$$

$$e = \sqrt{r^2 + 2rh}$$

여기서, w : 성형품의 드로잉 幅

h : 드로잉 길이

r : 四隅의 半徑

등을 나타내는데 安定한 鋳 드로잉 가공을 수행하기 위해서는 四隅의 半徑 r 을 鋳드로잉 길이의 20% 정도로 하고 펀치 頭部角半徑 Rp 와 型肩部半徑 Rd 는 적어도 板 두께의 10~15 倍가 必要하다.

(4) 再 드로잉 加工

再 드로잉이란 드로잉 比가 정확한 것이나 복잡한 제품형상의 경우 2회 이상의 공정을 두어 가공하는 것을 말한다.

再 드로잉성을 적극적으로 向上시키기 위한 수단으로 中間 불림(annealing) 작업을 하게 되는데 이는 前段의 가공에 의한 경화에 의해서 증가한 側壁部의 變形抵抗을 감소시키기 위한 目的이 되겠다. 이 때 주의해야 할 점은 側壁部만 軟化시키고 底部는 軟化가 되지 않게 적절한 조건으로 불림 작업을 해야 한다.

(5) 潤滑

윤활제의 성분, 첨가제, 점도 등에 의해서 鋳 드로잉성은 큰 영향을 받게 된다. 알루미늄의 경우 鋳 드로잉성에 대해서는 어느 정도 점도는 높은 쪽이 効果的이다. 그림 11과 그림 12는 中性鑛油에 의한 鋳 드로잉 한계를 표시한 것인데 재료는 1100板, 板 두께 1mm의 O 材料와 H₂₄ 材料이다.

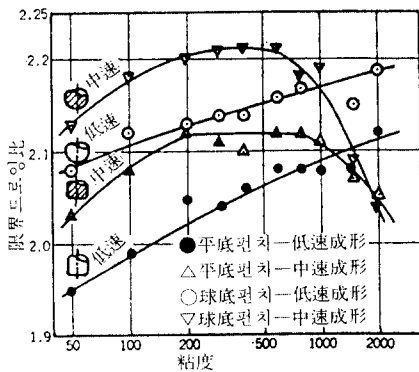


그림 11 中性鑛油에 의한 鋳 드로잉 限界(1100-O 板 두께 1mm)

(6) 鋳 드로잉 加工의 不良原因과 對策

부적당한 재질, 型, 가공조건등을 채용할 때 鋳 드로잉 加工不良이 발생하는데 그 原因과 對策을 보면 다음과 같다.

(가) 후랜지의 주름

- 주름을 누르는 힘을 강하게 한다.
- 점도가 낮은 윤활유를 사용한다.
- 型과 材料 사이의 平行度를 조정 한다.
- 材料面에 n 直(가공경화 계수)가 큰 것을 채용하면 面內 異方性이 작은 것으로 된다.
- 板 두께 公差를 작게 하는 것도 유효하다.

(나) 보디 주름

- 주름을 누르는 힘을 강하게 한다.
- 型肩部半徑 및 型間隔을 작게 한다.
- 材料面은 위 (가)와 同一하게 한다.

(다) 드로잉 홈

- 容器側 壁部에 수직으로 홈이 나타난다.
- 型肩部, 주름을 누르는 면의 表面粗度를 개선한다.
- 먼지 등의 異物 混入을 방지하고 적당한 윤활제를 사용한다.
- 재료 면의 表面손질을 깨끗이 한다.

(라) 드로잉 균열(荷重引部 均열-底部破斷)

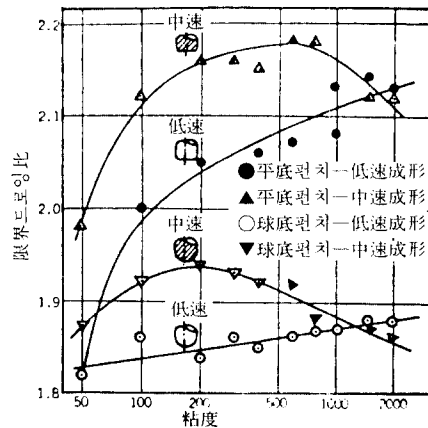


그림 12 中性鑛油에 의한 鋳 드로잉 限界(1100-H₂₄板, 판두께 1mm)

- 재료의 드로잉性 不足이 원인이 된다.
- r 值, n 值 荷重下에서 인장강도까지의 펼침(같은 모양으로 늘어나는 것)이 크고 面內 異方性이 작은 것으로 바꾼다.
- 型の 面에는 펀치 頭部 角半徑 및 型間隔을 크게 한다.
- 특히 潤滑을 양호하게 하고 板의 취부 형상을 검토한다.
- (㉞) 容器 높이의 不均一
 - 型の 調整이 必要하다.
 - 주름을 눌러주는 힘과 型間隔을 均一하게 한다.
 - 板의 취부 방법을 검토한다.
 - 材料面에서는 面內 異方性이 작은 것을 사용한다.
- (㉟) 容器表面의 거칠음
 - 材料의 結晶粒度가 크게 되면 용기표면이 배깁질처럼 거칠기 때문에 結晶粒度가 微細한 것을 사용한다.

6. 맺 음 말

鐵이나 銅은 BC 5000~3000年부터 道具類,

裝飾品 등으로 인류의 역사에 등장하고 있는데 반해 알루미늄 材料는 工業用 材料로서의 기초가 확립된 후 아직 100年이 채 못되고 있지만 건중 성질이 우수하기 때문에 이러한 특성을 이용해서 항공기용 재료, 전선, 器物, 일반 프레스 가공품, 諸케이스류, 일반 기계부품, 콘덴서용 및 포장용 상자, 도료 및 잉크 원료, 火砲 재료, 환원재용 분말, 차량, 건축용 재료 등에 사용되고 있고 이용도는 제2차 대전 후에 건축, 차량, 조선, 採鑛, 橋梁, 化學, 섬유, 식품 공예 등과 같은 공업분야에 널리 새로운 용도로 개척이 되어 응용이 되고 있다.

이와 같이 그 용도 분야가 다양화되고 量的으로도 鐵, 다음가는 금속재료로 성장하고 있기 때문에 “알루미늄 材料 技術”이라는 이름으로 각종 자료들을 정리 하다보니 너무나도 그 범위가 광범위하여 본 글에서 제외된 알루미늄 재료의 成分, 選定, 指針, 物理·化學·機械的性質, 形狀과 그의 제작범위, 구조설계, 절삭가공, 接合, 表面處理, 鍛造 등에 대한 여러가지 자료는 지면관계로 별도로 정리를 해서 다음 기회에 소개하고자 한다.

