

Al 6061 Flake 파쇄분말 및 압출재의 미세조직

충남대학교 금속공학과

Microstructure of Rapidly Solidified Al 6061 Flake Powder and It's Extrudate

조성석, 김동철, 이재곤, 임광혁, 이봉상, 엄설환

S.S. Cho, D.Z.Jin, J.G Lee, K.H Yim, B.S Lee, S.H.Eum

*Department of Metallurgical Engineering & RASOM ERC, Chungnam Nat'l Univ.

Abstract

The microstructure of Al 6061 powder milled from rapidly solidified flake and it's extrudate were investigated. The grain size of flake was about 0.8-1.5 μ m and the powder shape was spherical due to the milling condition. In the microstructure of extrudate, the unbinded powder boundary was found the front part of extrudate and all the macroscopic defects such as boundary defect, holes or cracks was not observed except the front part. It was found that the extrudate except 60cm of front part was useful part

Key words : Microstructures, Al 6061, Flake powder, Extrusion .

1. 서론

열처리형 Al-Mg-Si계 합금은 시효경화 특성과 뛰어난 압출가공성, 기계적 성질, 양호한 3차 가공성(휨, 편칭가공), 인성 및 양호한 내식성과 표면성상등의 성질을 가지고 있지만, 내마모성이나 인장강도등이 특별히 뛰어나지 않기 때문에 일반구조용 재료로 사용하기에는 그 범위가 한정되어 있다. 이를 극복하기 위하여 최근 빠른 냉각속도를 이용한 급속응고법에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 급속응고를 이용한 미세조직의 Al합금 제조는 기존의 주조합금에서 얻을 수 없는 고품질의 합금, 즉 미세한 조직과 고용도의 증가 및 편석상의 제거 효과로 우수한 합금제조가 가능한 것으로 알려져 있다.¹⁾ 또한 평형상태에서 불용성인 제2상을 균일하고 미세하게 분산시킬 수 있어 불용성 합금에도 유용하게 사용되고, 주조시 열간가공에서 문제를 일으키는 편석의 영향이 고온의 분말압출에 의해서

극복되며 다른 많은 장점을 제공한다.²⁾ 그러나 기존의 기 연구된 급속응고제조법은 제조공정이 너무 복잡하고 생산속도에 한계가 있어 원료를 싼값으로 대량 공급하기에는 다소 문제점이 있다.

보다 저렴한 원가로 기계적 성질이 우수한 Al-Mg-Si합금을 개발하기 위하여 대량으로 급속응고가 가능한 쌍롤(twin roll)장치를 이용한 연구가 진행 되었다. 그러나 Al 6061 스크랩(Scrap)을 원료로 프레이크(flake)를 제조한 후 바로 압분 성형하여 압출재를 생산하는 연구는 압출재에서 프레이크와 프레이크 경계면이 결합으로 작용하여 기계적 성질이 크게 개선되지 않으며 생산자동화에도 문제가 있음을 알 수 있었다.³⁾ 이를 극복하기 위하여 본 연구에서는 조직의 미세화가 가능하고 생산속도가 높은 쌍롤법을 이용하여 Al 6061 스크랩 프레이크를 제조한 후 멧돌형 분쇄기로 파쇄하여 분말화한 후 열간 압출재를 제조하여 파쇄된 프레이크 분말과 압출재의 미세조직을 조사하였다.

2. 실험 방법

본 연구에 사용된 시료는 차량, 육상구조물 등에 알루미늄 합금으로 널리 사용되고 있는 6061Al계 합금 스크랩을 사용하였다. 합금의 용해는 흑연 도가니를 이용하여 820℃로 용해하였다.

용해된 합금은 mold(몰드) $\phi 70 \times h 200$ 를 이용하여 중력주조하고, 급속응고된 프레이크를 제조하기 위해 자체 제작한 쌍롤을 이용하였으며, 용해로의 용탕은 턴디쉬로 이동되어 직경 3mm 노즐을 통하여 쌍롤에 주입되어 급속응고 프레이크가 제조된다. 쌍롤은 빠른 열전달이 이루어져야 하고, 고온의 용탕으로 인한 변형을 방지하고 용융금속과의 반응성 억제를 고려하여 Cu 합금으로 하였으며, 쌍롤 내부에 냉각수를 흐르도록 하여 냉각속도 증대와 쌍롤의 과열을 방지하였다. 쌍롤의 회전속도는 600~700rpm으로 하였다.

그림 1은 쌍롤의 개략도이다.

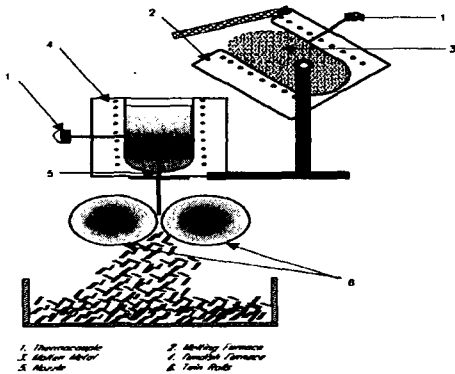


Fig. 1 Schematic diagram of twin roll.

쌍롤을 이용하여 제조된 프레이크는 실험실에서 자체 제작한 멧돌형 파쇄기를 이용하여 분말을 제조하였다. 1차적으로 파쇄된 분말은 체질하여 1mm 이상의 분말은 2차 파쇄를 수행하였다. 파쇄된 분말은 1mm 이하를 유지하였다.

파쇄기를 이용하여 파쇄된 분말은 압출하기 위해 350톤 프레스를 이용하여 이론밀도의 약 75~85%가 되도록 mold $\phi 70 \times h 200$ 를 이용하여 압력 80kg/cm² 으로 냉간압분을 하였다. 냉간압분된 압분체의 평균 형상은 $\phi 70 \times h 80$ 의 원통형이다. $\phi 70 \times h 200$ 로 제조된 주괴는 선반작업하여 $\phi 67 \times h 150$ 크기로 준비하였다. 프레이크 및 분말 제조과정에서 형성된 프레이크 표면 흡착수 및 결정수를 제거하기 위해 냉간압분체를 400℃, 10⁻² torr의 진공분위기에서 1시간 탈가스를 수

행하였다. 탈가스한 압분체는 460℃에서 약 1.5시간 동안 가열한 후 800톤 압출기를 이용해 직경 15mm, 23:1의 압출비로 직접압출을 하였으며, 이때 압출온도는 460℃로 수행한 결과 표면이 양호한 압출길이 주괴 약 4.5m, 파쇄분말 약 3.5m의 압출재를 각각 2개씩 얻을 수 있었다.

주괴, 프레이크 및 파쇄분말의 미세조직을 관찰하기 위하여 기계적 연마하고 HF 부식액(1mL HF(48%), 200mL H₂O) 부식시키고 광학현미경(OLYMPUS PMG-3)으로 관찰하고 파쇄분말의 형상을 주사전자현미경(JEOL JSM-5410)으로 관찰하였다.

제조된 압출재의 미세조직을 관찰하기 위해 각 압출재의 압출초기, 중간, 끝부분을 압출방향의 직각면과 압출초기에서 20, 40, 60cm 되는 부분을 압출방향과 직각면을 절단 마운팅하여 같은 방법으로 기계적 연마한 후 부식액으로 부식시켜 광학현미경으로 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

사진 1은 6061 스크랩으로 제조된 프레이크 형태를 보여주고 있다. 제조된 프레이크는 평균 두께가 0.15~0.25mm 정도이고 넓이는 10~15mm였다.



Photo. 1 The shapes of flakes

사진 2. (a)는 Al 6061 주괴의 횡단면의 미세조직으로 약 50~80 μ m 결정립 크기를 가지고 있다. (b), (c)는 제조된 Al 6061 스크랩 프레이크의 미세조직을 나타내고 있으며, 프레이크의 결정립 크기는 0.8~1.5 μ m이다. Al 6061 Scrap 프레이크 횡단면의 미세조직은 전체적으로 균일하나 물과 접촉이 충분하여 냉각속도가 빨라 미세한 결정립 크기를 갖는 구역(1), 물과 접촉이 불충분하여 서냉됨으로서 결정립 크기가 조대한 구역

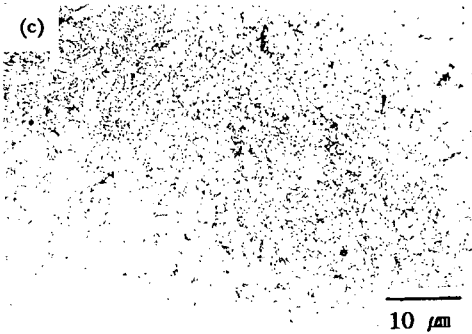
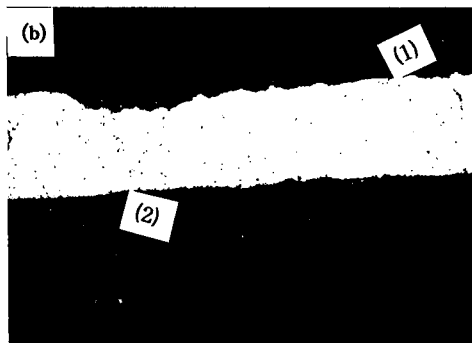


Photo. 2 Optical microstructures of ingot and flake powder (a) ingot (b) transvers section of flake (c) longitudinal section of flake

(2)으로 구분되어짐을 볼 수 있다.

급속응고는 용융금속으로부터 직접 고체재료를 생산하는 것을 목적으로 하는 제조공정으로 냉각속도 및 응고속도가 상대적으로 큰 경우를 말한다. 일반구조와 급속응고 사이의 경계를 뚜렷이 구분하기는 어렵지만, 냉각속도 10^2°C/sec 이상과 응고속도 1cm/sec 이

상일 경우 일반적으로 급속응고라고 말하며 최근 급속응고 기술의 발달로 10^{11}°C/sec 까지의 냉각속도를 얻을 수 있게 되었다. 따라서 급속응고 기술에 채용되는 냉각속도는 $10^2\text{°C/sec} - 10^{11}\text{°C/sec}$ 범위라 할 수 있다. 급속응고된 재료의 조직은 재래식 방법에 의해 제조된 동일 재료의 조직과는 현저히 다르다. Grant에 따르면 급속응고시 재료에 주는 효과는 큰 냉각속도와 응고속도로 급속냉각하므로써 편석이 없는 균일한 조성을 얻게 되며, 큰 냉각속도로 응고시켜 입자, 셀(cell) 및 수지상(dendrite)등을 매우 작게 하므로써 조직을 미세화시키고, 새로운 상 또는 재료를 제조할 수 있는 가능성을 가지게 한다고 기술하고 있다.

급속응고를 하기 위한 요구조건으로서는 용융금속이 열 흡수매체와 양호한 열 접촉을 하여 용융금속의 얇은층이 빨리 형성되어야 한다.

Jone은 급속냉각을 얻기위한 요구조건으로 응고전 높은 과냉각이 이루어져야 하고, 큰 온도구배를 통하여 시편을 빠른 속도로 통과시키고, 응고중에 높은 냉각속도를 얻게 해야 한다고 보고하고 있다.

용융금속을 급속냉각하여 재료를 직접구조하는 방법으로는 여러 가지 방법이 제시되고 있으나, 본 연구에서 채택한 쌍롤법은 grant와 jone의 조건을 만족하는 높은 냉각속도를 얻을 수 있도록 회전하고 있는 두 개의 롤러사이를 최대로 밀착시키고, 롤 내부로는 과냉도를 높이기 위해 냉각수를 공급하고 롤러상부로부터 용융금속을 주입하여 급속냉각시키는 방법으로 $10^1 - 10^4\text{°C/sec}$ 정도의 냉각속도를 가지고 있다.

사진 3은 Al 6061 스크랩 프레이크 파쇄분말의 SEM 사진이다. 전체적으로 둥근 형태로 말린 형상을 가지고 있으며 분말크기는 $400-700\mu\text{m}$ 정도이다.

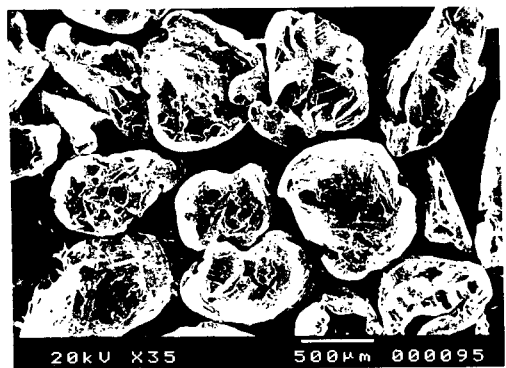


Photo. 3 Scanning electron micrographs of 6061 Powder manufactured by crusher

사진 4는 맷돌형 분쇄기로 파쇄된 분말 사진이다. 분쇄된 분말들은 초기의 프레이크 형태로부터 분쇄기에서 분쇄되면서 다양한 형태와 조직의 변화를 가져왔다. 대부분의 분말은 분쇄기 상하회전판에 의해 돌돌 말려 지고 잘려진 형태를 가지고 있으나, 일부는 매우 미세한 형태도 나타났다. 전체적인 형태는 둥글둥글하게 말려진 형태로 크기는 전체적으로 균일하였다. 하지만 조직적으로는 파쇄된 분말의 크기와 형태와는 관계없이 결정립의 성장을 가져온 것과 급속응고된 원래의 조직을 유지하고 있는 모습들을 관찰 할 수 있었다. (a)형태의 분말은 분쇄기에서 초기형태의 형상을 유지하고 있으며 조직적으로도 원래의 결정립크기와 다르지 않은 것을 볼 수 있다. 이는 다른 분말들과는 달리 분쇄기에서 영향을 그리 받지 않고 약간 말린 형태로 유지되었다. (b)의 분말은 분쇄기에서 분쇄되는 과정에서 분쇄기 양회전판의 전단응력을 받은 방향으로 심한 변형을 가져왔으며 입자가 성장한 것을 볼 수 있다. (c)의 분말은 긴 프레이크가 분쇄기의 양회전판에 의해 말려졌지만 그리 심한 변형을 가져오지 않았고 결정립크기도 그리 성장하지 않은 초기상태의 조직을 유지하고 있는 모습을 볼 수 있다. (d)의 분말은 분쇄기에서 돌돌 말려지고 조직은 약간 성장하였지만 전단응력은 그리 받지 않은 것을 볼 수 있다. (e)분말은 (d)의 분말과 같이 분쇄기에서 말려지고, 말리면서 양회전판의 회전 전단력에 의해 심하게 변형되고 발생하는 열에 의해 입자의 성장이 이루어 졌음을 알 수 있다. (f)의 분말은 분쇄기에 의한 전단력의 영향은 받지 않은 것으로 판단되지만 열 영향을 받아 입자의 성장이 크게 일어났음을 알 수 있다. (g)의 분말은 분쇄기에서 말려 동그란 형태를 가지고 있지만 전단력의 영향은 받지 않고 열영향만 받아 입자의 성장을 가져온 것을 볼 수 있다. (h)의 분말은 열영향과 전단력을 받아 입자도 성장하고 심한 변형도 가져온 것을 볼 수 있다.

분쇄기의 형태를 보면 상하 양회전판의 직경이 300mm로 서로 평면으로 마주하고 마주하는 면은 높이 4mm, 넓이 3mm, 길이 53mm의 형상이 회전하도록 되어 있다. 분쇄기에서 분말이 형성되는 것은 프레이크가 분쇄기의 중앙부분으로 투입이 되면 하부회전판이 회전하는 상태에서 회전판을 지나면서 서로 돌돌 말려지고 일부는 끊어지고 잘려지면서 프레이크가 분말화 되는데 이때 발생하는 전단력과 마찰에 의한 온도 상승으로 프레이크파쇄분말에 큰 소성변형 및 미세조직의 성장을 일으키는 것으로 생각 되어진다.

위와 같은 프레이크 파쇄분말의 형태는 그전의 엄⁴⁾ 등의 논문에서 보여진 프레이크 압출재에서 보여지는

프레이크형태가 그대로 유지되어 프레이크와 프레이크가 완전히 접합되지 않는 부위에서 기계적 성질에 치명적인 영향을 미치는 결점을 보완하기 위하여 수행되었기 때문에 그런 결함은 발생되지 않을 것으로 생각되지만, 파쇄분말이 되면서 전단력과 열영향으로 심한 변형을 가져왔고 조직적으로는 결정립의 성장을 가져와 향후 압출후에 기계적 성질에 좋지않은 영향을 미칠 것으로 생각된다.

표 1은 제조된 압출재의 합금원소를 분석한 것으로 파쇄분말에서 Fe, Cr, Cu의 양이 약간 더 검출되고 있다. 이는 프레이크 제조과정에서 롤의 재질이 Cu합금으로 되어있어 롤의 영향으로 보여지고, Fe, Cr의 양은 파쇄과정에서 파쇄기의 양회전판의 영향으로 보여진다.

Table. 1 6061 alloy-composition

| Alloy element | Si | Fe | Cu | Mn | Mg |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| flake ext. wt% | 0.813 | 0.147 | 0.316 | 0.009 | 1.044 |
| ingot ext. wt% | 0.567 | 0.104 | 0.266 | 0.002 | 0.865 |
| Alloy element | Zn | Ti | Cr | Ni | Al |
| flake ext. wt% | 0.088 | 0.014 | 0.082 | 0.006 | bal |
| ingot ext wt% | - | 0.01 | 0.047 | 0.003 | bal |

사진 5는 주괴 압출재 압출 초기부분에서 압출 직각 방향의 미세조직으로 (a)는 조직의 중앙부분, (c)는 가장자리부분, (b)는 (a)와 (c)의 중간부분이다. 변형이 거의 안된 중앙부분에서 가장자리로 가면서 다이와의 마찰력에 의해 소성변형이 증가되어 입계형태가 많이 변한 것을 볼 수 있다.

사진 6은 프레이크 파쇄분말의 압출초기부분에서 압출 직각방향의 미세조직으로 (a)는 조직의 중앙부분, (c)는 가장자리부분, (b)는 (a)와 (c)의 중간부분으로 중앙부분은 변형이 거의 안된 프레이크 분말 상태와 유사한 형태를 나타내고 있으나, 파쇄분말은 탈가스 과정을 수행하기 위해 이룬밀도의 80%정도 압분하였으므로 압분체 내에 여유공간을 가지고 있게된다. 그러므로 초기 압출과정시 파쇄분말의 형상변화가 심하게 변형됨을 볼 수 있다. 기지내에 분산된 상들도 주괴 압출재에 비해 크기도 작고 분산도 균일한 것을 관찰 할 수 있다. 주괴 압출에서 보여지는 것과 같이 다이와의 마찰력에 의해 중앙부위의 등근 분말형태가 가장자리로 가면서 다이와의 마찰력에 의해 소성변형이 증가되어 입계형태가 많이 변한 것을 볼 수 있다.

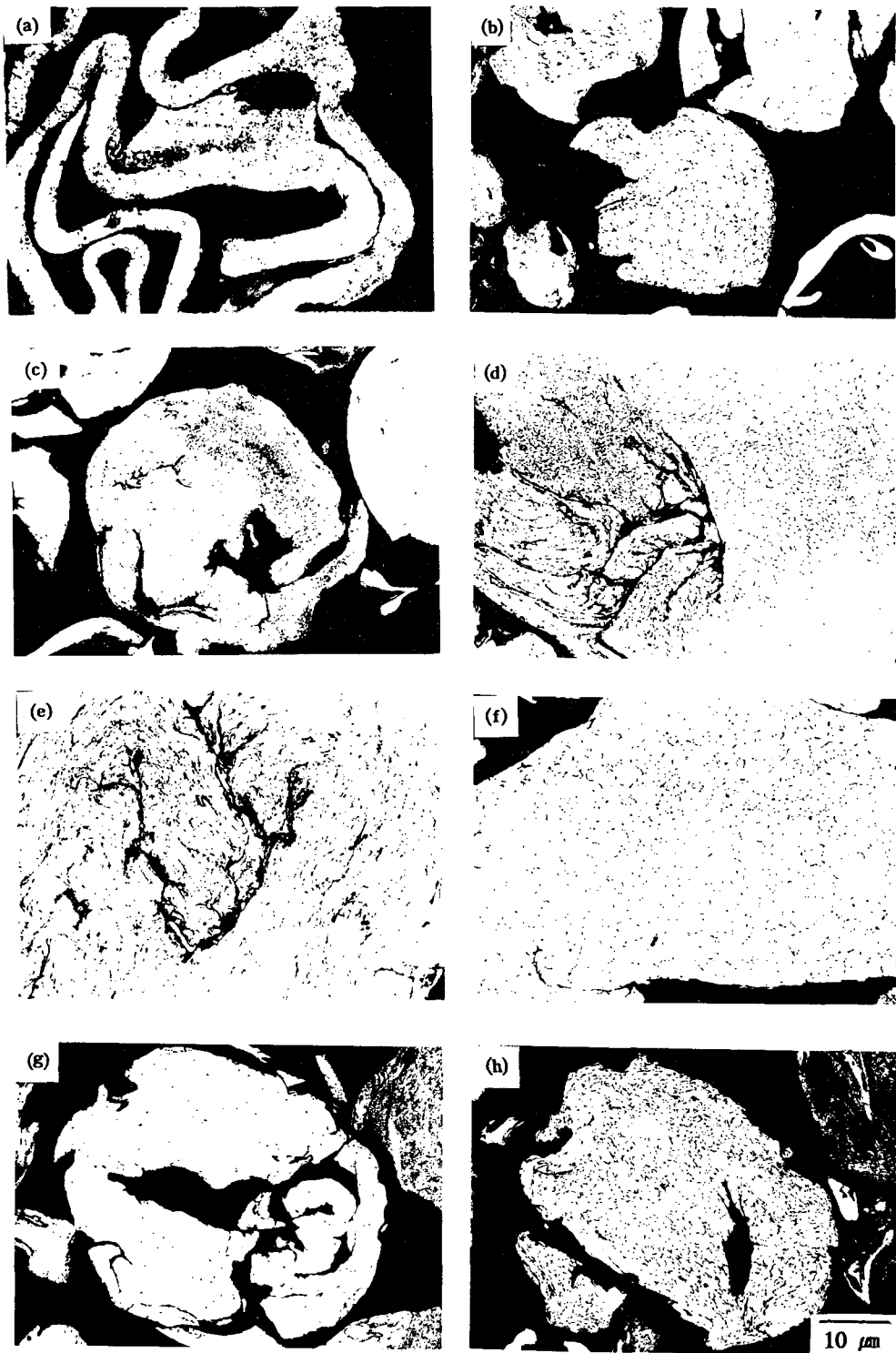


Photo. 4 Optical microstructures of powder milled from flake.

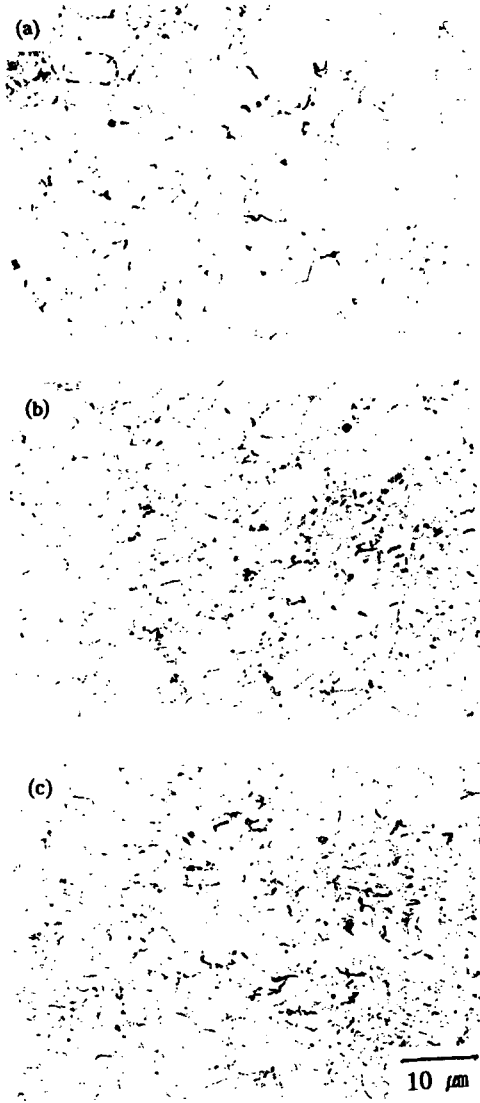


Photo.5 Optical microstructures of front part of 6061 ingot extrudate (a) center, (b) between center and edge, (c) edge

사진 7은 주괴 압출재의 (a)중간, (b)끝부분의 미세조직으로 압출초기에 보여지는 결정립의 크기가 중간부분에서는 재결정이 이루어지고 끝부분으로 가면서 성장하는 것을 관찰할 수 있다. 이는 압출 끝부분으로 가면서 압출력에 의해 온도가 상승하여 결정립이 성장된 것으로 생각된다.

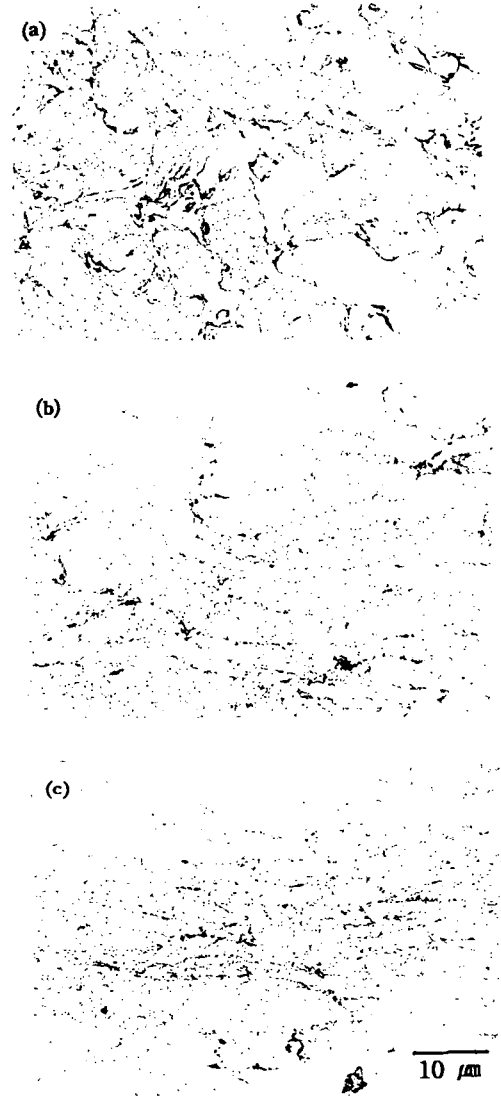


Photo.6 Optical microstructures of front part of 6061 flake powder extrudate (a) center, (b) between center and edge, (c) edge

사진 8은 프레이크 파쇄분말 압출재의 (a)압출중간, (b)끝부분으로 압출 직각방향의 미세조직으로 압출초기에 보여지는 분말과 분말의 경계를 잘 관찰할 수 없고, 중간부분에서는 재결정의 조직이 관찰되지만, 끝부분에서는 결정입계를 잘 관찰할 수 없다. 이것은 파쇄된 Al_2O_3 파편에 의한 재결정 억제 효과 때문인 것으로 생각된다.

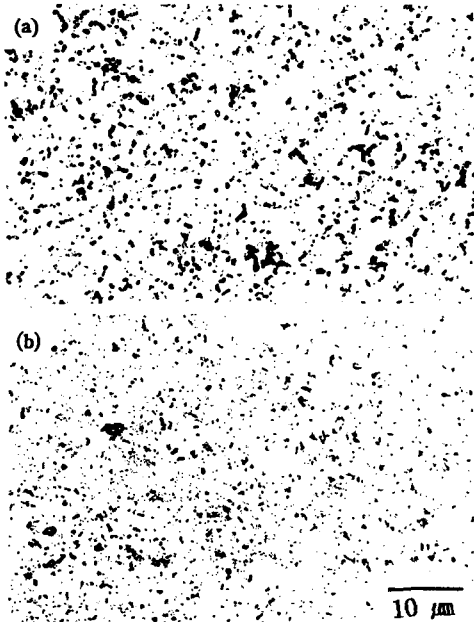


Photo. 7 Optical microstructures of middle part and end part of ingot extrudate (a) middle part (b) end part.

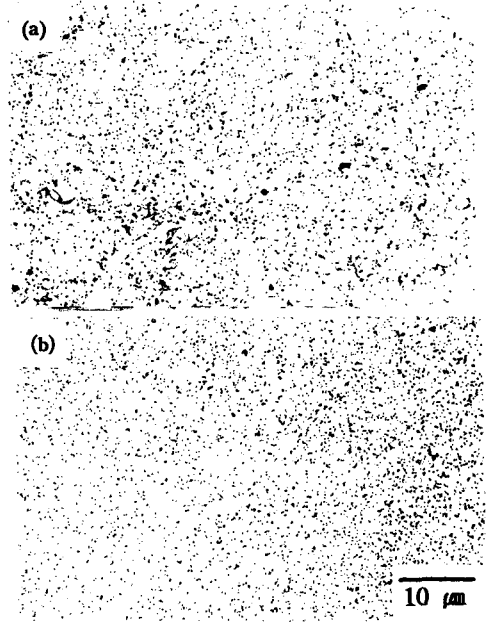


Photo. 8 Optical microstructures of middle part and end part of flake powder extrudate (a) middle part (b) end part.

사진 9는 파쇄분말압출재에서 압출초기부분에서 60cm까지 분말과 분말이 완전히 결합되지 못하여 나타나는 압출재의 기공결함을 보여주고 있다. 이러한 결합은 압출이 진행됨에 따라 그 형상이나 크기가 작아지

고 있는 것을 관찰 할수 있는데, 60cm이후에는소성유동이 심하게 되어 입자표면의 Al_2O_3 피막이 파괴되어 분산됨으로서 입자간의 결합이 왕성하여 소멸된 것으로 생각된다.

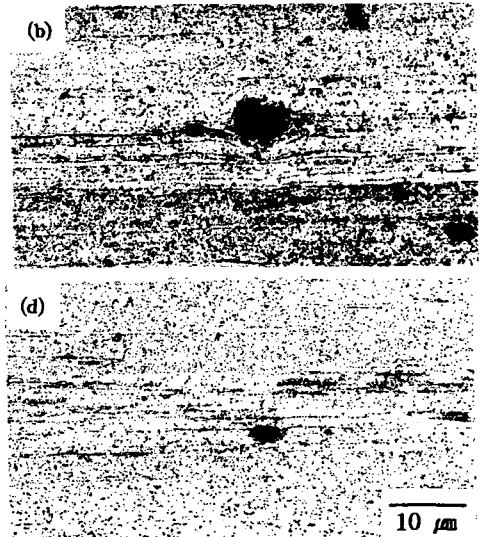
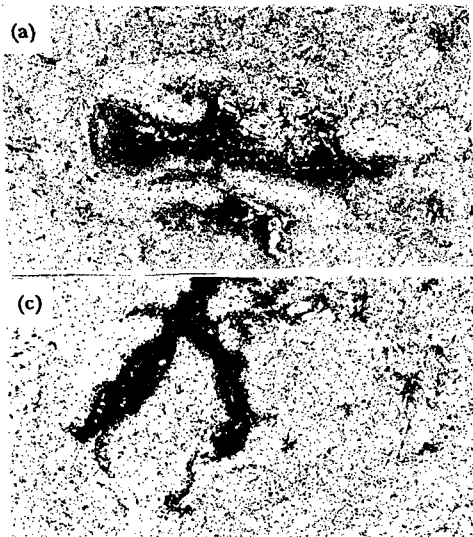


Photo. 9 Optical microstructures of flake powder extrudate defect (a) transvers section of front 20cm part of extrudate (b) longitudinal section of front 20cm part of extrudate (c) transvers section of front 40cm part of extrudate (d) longitudinal section of front 60cm part of extrudate.

사진 10은 프레이크 파쇄분말압출재의 압출초기부터 20,40,60cm 부분의 종횡면의 미세조직으로 압출초기부분에서 보여지는 파쇄분말의 경계가 압출이 진행됨에 따라 희미해 짐을 관찰할수 있다. 종면의 미세조직도 역시 같은 양상을 보여주고 있다. 이는 역시 냉간압분

시 공극을 가지고 있고 이것이 압출시 압출전반부의 어느 길이까지는 소성변형량이 적어 영향을 미친다는 것을 알수 있다. 압출초기부터 60cm후반부에 가서 분말과 분말의 경계가 희미해짐을 알수 있으며 이는 분말압출재를 사용시 반드시 고려되어야 할 사항으로 생각되어진다.

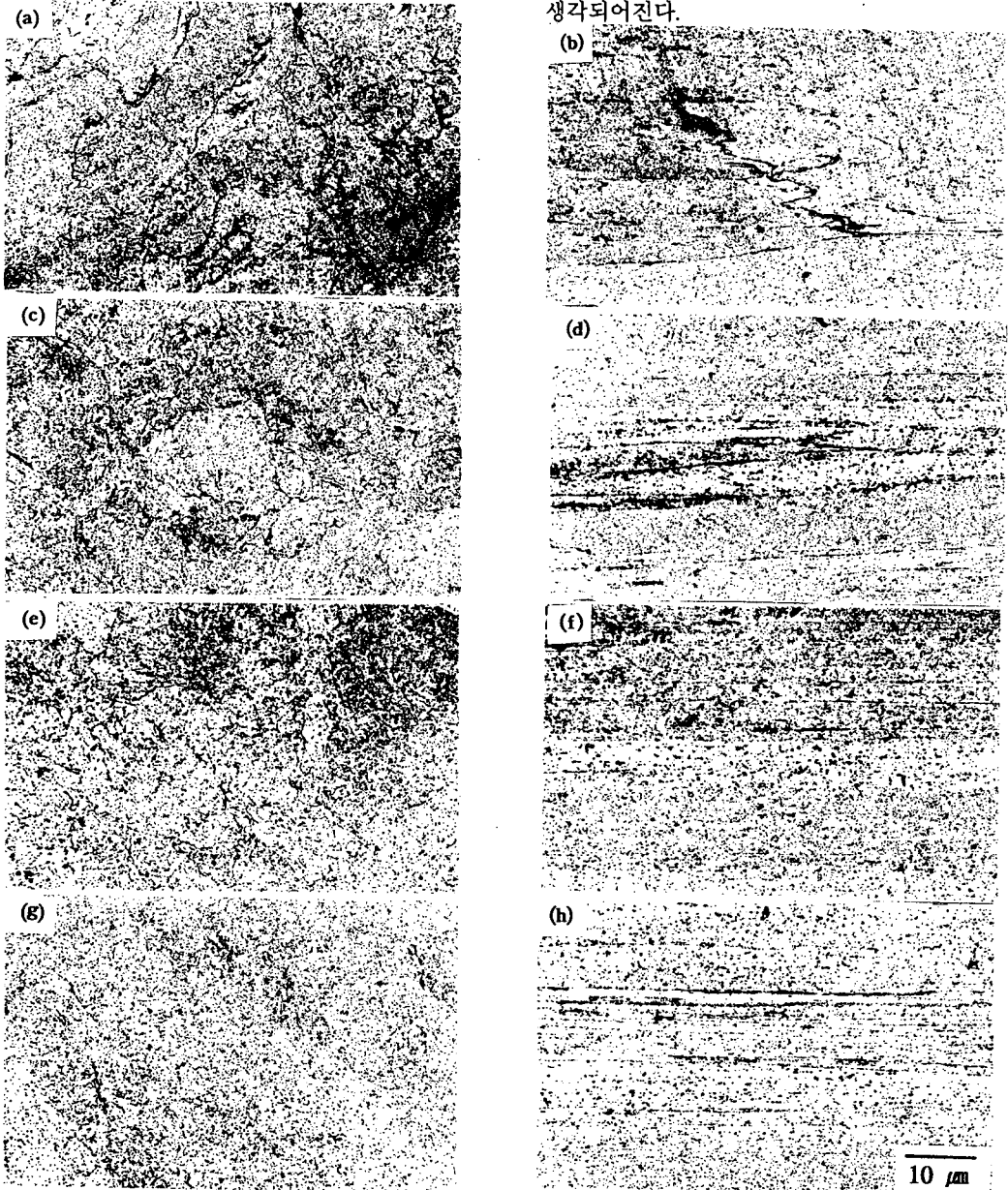


Photo. 10 Optical microstructures of flake powder extrudate. transvers section of front part of extrudate (a) 1cm (c) 20cm (e) 40cm (g) 60cm, longitudinal section of front part of extrudate (b) 1cm (d) 20cm (f) 40cm (h) 60cm

4. 결 론

쌍롤법으로 제조한 6061 Al합금 파쇄분말 압출재의 미세조직을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 제조된 프레이크는 평균 두께 0.15 - 0.25mm 정도였고, 미세조직의 결정립 크기는 0.8-1.5 μm 이다
2. 파쇄과정에서 분쇄기의 전단력과 열발생으로 인해 400-700 μm 의 유동성이 좋은 구형의 분말이 만들어졌으며, 미세조직은 재결정 조직을 갖거나 소성변형을 한 것을 알 수 있었다.
3. 압출재의 미세조직은 압출초기에는 주피 와 프레이크 파쇄분말의 원래의 조직을 가지고 있었으며 압출이 진행됨에 따라 소성변형이 충분할 때 분말형태가 사라짐을 알 수 있었다.
4. 분말압출재에서 분말과 분말의 경계가 거의 소멸되는 부분은 압출 초기에서 60cm였다.

참 고 문 헌

- 1) N.J. Grant. Rapid Solidification of Metallic Particulates, J .of Metals, Jan (1983) 20-27
- 2) S.J. Savage and F.H.Froes ; J.Metal 36(1984) 20
- 3) 임설환; 충남대학교 석사학위논문(1998)
- 4) 임광혁; 충남대학교 석사학위논문(1997)
- 5) A.Kumar, P.J. Jain, M.L. Mehta, P.N. Godbole; Int.J.Powder Met. and Powder Tech. 17,3 (1981)
- 6) 신명철, 맹선재, 홍종휘; 대한금속학회지 제18권 제4호 (1980) 283-284
- 7) 홍순직, 김형섭, 이홍노, 천병선; 대한금속학회지. Vol. 36, No. 12 (1998) 2122-2123