

반응용가공에 의한 Al₂O₃/Al 복합재료의 제조 및 열간압출공정

강충길*, 강성수**

Fabrication of Al₂O₃/Al Composite Materials by Mashy State Forming and its Hot Extrusion Process

Chung-Gil Kang* and Sung-Soo Kang**

Abstract

A semi-solid alloy in which solid and liquid phase are co-existing is obtained by stirring of A17075 molten metal. A semi-solid alloy is dependent on the corresponding temperature within the solid-liquid range, and the process parameters should be controlled accurately to obtain the homogeneous semi-solid alloy. The fabrication possibility of fiber-reinforced aluminum alloy containing Al₂O₃ short fibers with vigorous agitation of short fibers were obtained by control of stirring time, solid fraction and impeller speed in extrusion billet fabrication processes. The microstructure to extrusion billet fabricated by low pressure casting was investigated for fiber dispersion state. The relationship between the extrusion force and velocity at hot extrusion, the flow strain and extrusion ratio were theoretically described. The surface defects with lubricants and without lubricant after hot extrusion were investigated. The composites materials after hot extrusion were measured by vickers hardness with extrusion ratio. It has become clear that the secondary working such as hot extrusion was very useful to obtained improved the mechanical properties of metal matrix composites. (Received January 28, 1993)

1. 서 론

최근 수송기계분야에서는 부품의 경량화에 의하여 연비효율의 향상을 시도하고 있다.

이에 대한 새로운 재료로서 금속복합재료의 개발이 시도되고 있다. 그 중에서도 단섬유 및 입자분산강화형 복합재료는 비강도, 비탄성 이외에 내열성, 내마모성, 열적안정성이 우수한 동시에 압연, 압출, 단조 등과 같은 2차가공이 가능한 복합재료로서 주목되고 있다.

단섬유 및 입자분산강화형 복합재료는 강화재 가격이 장섬유에 비해 저렴하고, 기지재와의 혼합과정이 장섬유에 비하여 용이하기 때문에 다품종 소량생산의 측면에서 공업적으로 유

리한 점이 많다.

금속복합재료에 관한 제조기술의 초기단계는 일반적인 금속재료가 가질 수 없는 특성을 부여하는 것이 목적이었다. 최근 내마모성, 내열성 등을 만족하는 재료개발에 있어서 기지재에 SiCp, Al₂O₃와 같은 강화재를 혼합하여 기계적 특성을 부여하고 있다. 현재 금속복합재료의 제조방법인 분발야금법^{1~4)}, Hot press^{5~6)}, 용탕 단조법^{7~11)}, 반응고법^{12~15)}, 연속주조¹⁶⁾, 접합법^{17~18)} 등을 이용하여 복합재료를 제조하고 있다.

이상과 같은 방법에 의하여 제조하고 있는 금속복합재료의 연구내용은 기지재의 종류에 미치는 섬유의 배향상태, 인장강도가 실험온도 및 체적함유율에 미치는 영향, 계면관찰 섬유

* 부산대학교 정밀기계공학과(Dept. of Mechanical. and Precision Eng., Pusan National. University.)

**부산대학교 기계공학과(Dept. of Mechanical. Eng., Pusan National. University)

와 기지재의 혼합방법 및 이종재료의 접합 등을 주내용으로 하고 있다. 특히 최근에는 복합재료의 열간 가공성, 강화기구^{19~21)} 등에 대한 보고가 있으며, 압연, 압출 등의 2차가공(Secondary Working)법을 이용, 복합재료에 소성변형을 가함으로써 불균일한 불연속 섬유 배향에 방향성을 부여하는 연구가 발표되어 있다²²⁾.

금속복합재료는 재료라는 이름이 붙어 있지만, 실제 사용가치는 부품으로 사용되어 지기 때문에 2차가공법의 개발이 금속복합재료의 제조만큼이나 중요하다.

따라서 본 연구에서는 교반기술에 의하여 얻어진 반응고상태의 금속에 단섬유를 첨가하여 복합재료를 제조하였다. 반응고가공법은 결정립의 미세화, 내부결함 및 편석의 감소, 공정, 단축, 금형의 수명연장 및 우수한 접합성 등의 장점 때문에 금속복합재료의 제조와 가공 등을 동시에 할 수 있는 성형방법이다. 그리고 저압 주조법에 의하여 제조되어진 빌렛을 열간 압출 실험하여 복합재료의 강도에 영향을 미치는 섬유의 배향성, 압출력 및 입계에서의 섬유의 응집상태 등을 조사하였으며, 또한 압출속도와 압출후의 표면균열 발생 및 기지재의 유동상태와의 관계를 밝혔다.

2. 단섬유와 기지재의 분산실험

2.1 실험재료

단섬유강화형 금속복합재료의 제조시 섬유의 균일분산성 및 2차가공에 필요한 압출용 빌렛 및 박판의 제조기술을 확립하기 위한 성형시스템의 공정순서를 Fig. 1에 표시한다. 본 실험에서 사용한 기지재의 금속조성은 Al-Zn-Mg-Cu에 Si가 0.4wt% 첨가되어 있고, 액상선 온도 T_L 및 고상선온도 T_S 가 각각 635°C, 477°C인 Al7075를 사용하였다. Al7075는 응고온도 범위 $\Delta T = T_L - T_S$ 가 높기 때문에 액체상태의 재료를 고액공존 상태로 제조하기가 쉽다.

강화재로 사용된 단섬유는 평균입경이 약 3 μm 의 RF Grade로 SAFFIL제의 $\delta\text{-Al}_2\text{O}_3$ 을 사용하였으며, 그 물성치를 Table 1에 표시한다.

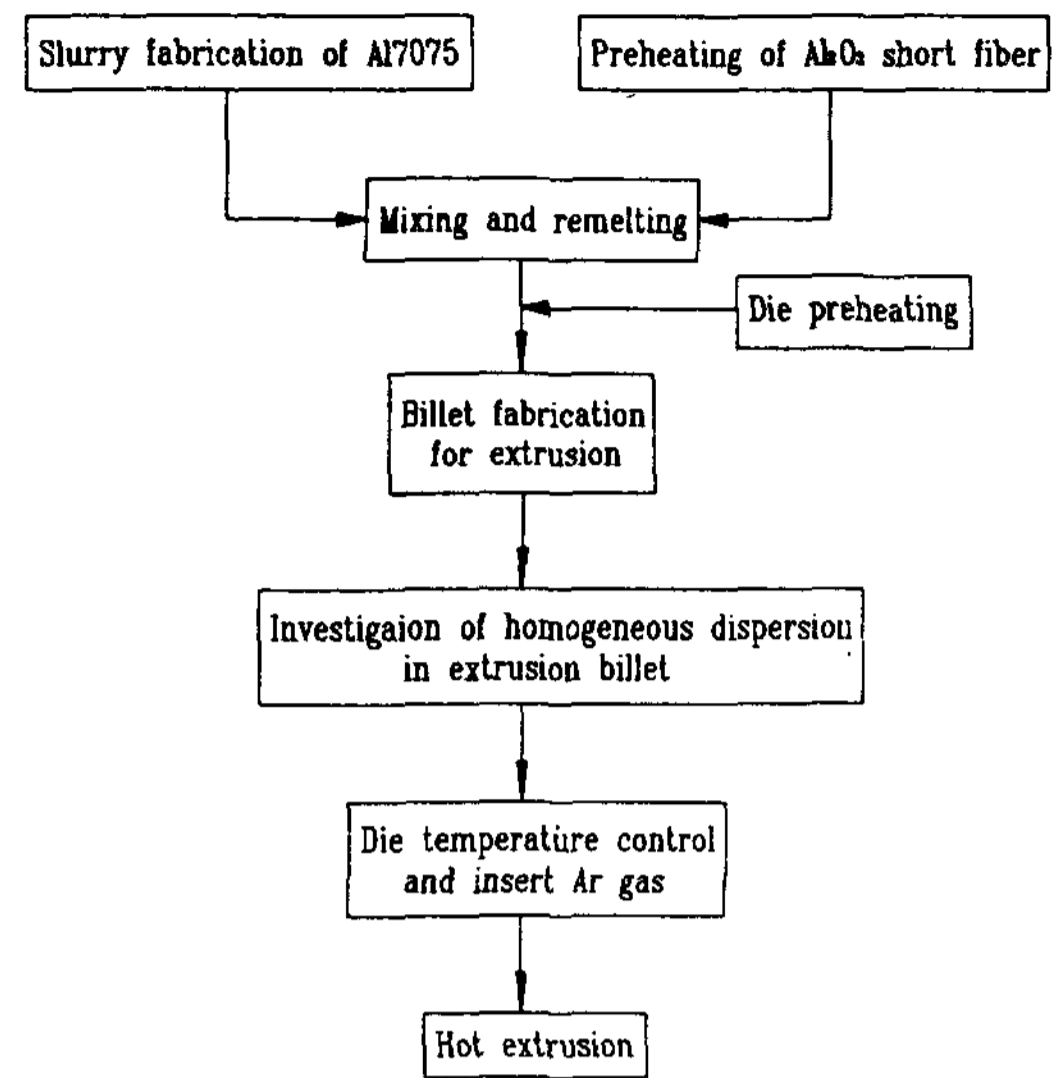


Fig. 1. Process of billet fabrication and hot extrusion for short fiber metal matrix composites

Table 1. Physical Properties of Alumina Short Fiber

Young's Moulus	30~33 × 1000kgf/mm ²
Fiber length	70 μm
Diameter	3 μm
Density	3.3~3.5g/cm ³
Type	$\delta\text{-Al}_2\text{O}_3$ Fiber

2.2 균일분산 실험장치

단섬유강화형 금속복합재료를 제조하는 데는 기지재료내에 입자를 균일분산시키는 것이 제일 중요하다. 따라서 본 연구에서는 기지재료내에 입자를 균일하게 분산시켜 금속복합재료를 제조하는 실험장치를 Fig. 2과 같이 설계 제작하였다.

이 실험장치는 전기로 내에서 도가니로의 온도를 일정하게 제어하면서 교반을 할 수 있도록 제작되어 있다.

교반기의 위치가 입자의 균일분산에 미치는 영향을 고려하여 교반기가 상하운동을 하도록 하였다. 그리고 Ar가스의 주입구와 관찰구를 각각 설치하여 산화방지 및 교반시 내부를 관찰할 수 있도록 하였다. 단섬유주입은 SUS304로 제작한 경사진 깔대기형의 주입구를 통하여

섬유를 주입하였으며 흑연도가니로(3호)의 중심에 주입될 수 있도록 하였다. 그리고 교반용 임펠러는 직경 50mm의 SUS316으로 제작했으며, 날개각은 30° 날개수는 3개로 하였다.

분산중 임펠러의 손상 및 마모현상을 방지하기 위하여 CARBORUNDUM사에서 생산하는 Fiber frax 코팅시멘트를 사용하여 임펠러의 손상을 충분히 보호할 수 있었다. 균일하게 분산되어진 반응고상태의 금속복합재료를 이용하여 압출용 빌렛의 조제를 위하여 도가니로를 전기로 하부로부터 분리시킬 수 있도록 하였다.

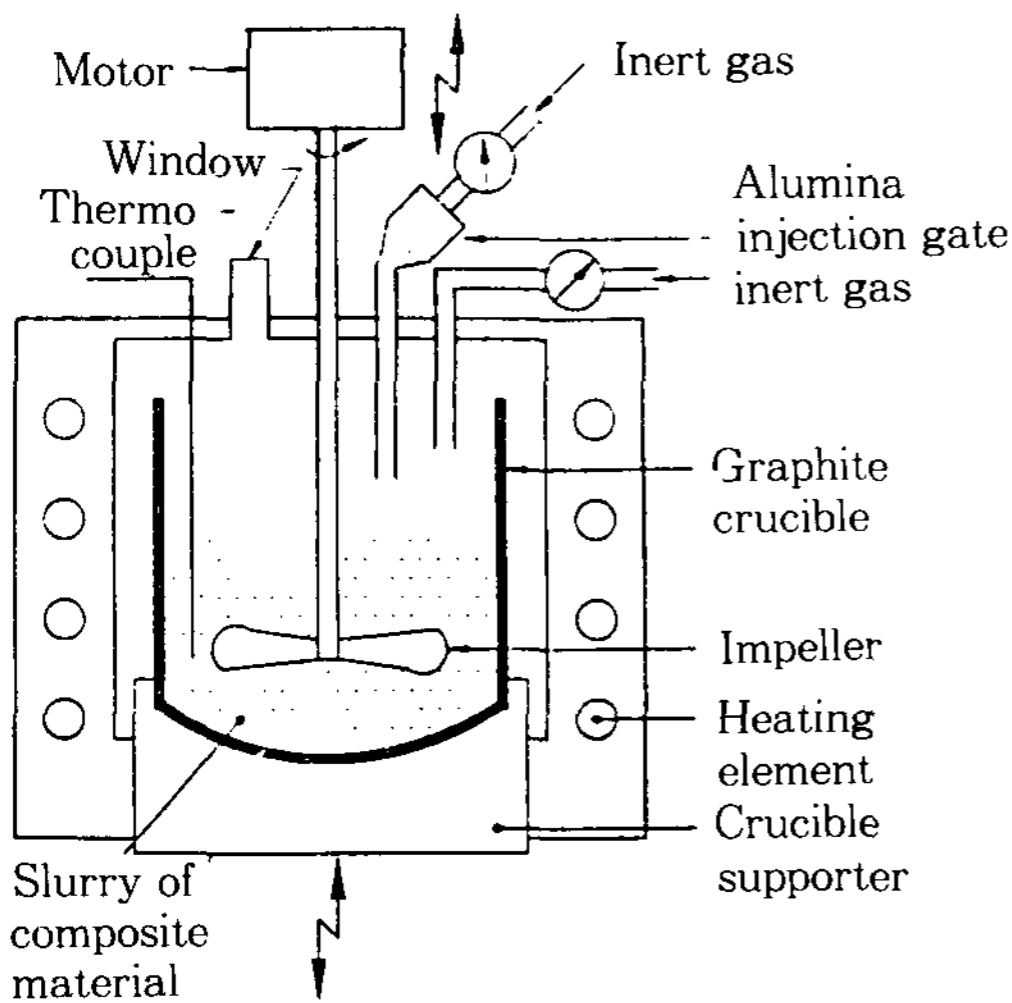


Fig. 2. Schematic diagram of the experimental for dispersion of short fiber and mixing

2.3 실험방법 및 결과

직경이 35mm, 높이가 110mm인 Al7075의 기지재료를 전기로 내에 설치한 도가니로에서 용해한 후, 임펠러를 도가니로에 삽입함과 동시에 Ar가스를 주입하면서 교반기를 400rpm으로 회전시켰다.

교반을 시키면서 용탕의 온도를 액상선온도 이하로 하여 반응고 상태의 금속을 제조하였다. 이때 고상률 S_f의 예측을 다음과 같이 가정하였다⁽²³⁾.

$$S_f = \left[\frac{T_L - T}{T_L - T_s} \right]^{1/2} \times 100(\%) \dots \dots \dots (1)$$

교반중 도가니내의 반응고상태의 재료온도는

CA 열전대를 사용하여 측정된 온도를 이용하였다. 일정한 온도하에서 고상률이 유지되도록 온도를 조절하면서 500°C±5으로 예열한 알루미늄을 Fig. 2에 표시한 알루미나 주입구(alumina injection gate)에 넣은 다음 Ar가스의 압력으로 400rpm으로 교반중인 기지재료의 내부에 강화재를 주입하였다. 강화재의 주입과 동시에 약 8~13분간 반응융상태의 기지재를 교반시킨 후 전기로에서 서냉시켜 단섬유의 균일분산성을 조사하였다.

고상률이 S_f=20%인 반응고 상태의 금속에 단섬유를 주입하여 약 8분간 교반한 후 서냉에 의하여 응고시킨 경우 복합재료 내부의 단면 전체에 걸쳐서 균일분산이 충분히 이루어지지 않았으며 또한 단섬유가 기공부분에 응집한 상태로 나타나 있었다.

알루미나입자를 교반중인 용탕에 주입시킬때 기지재와 입자 사이에 젖음성이 좋지 않을 경우는 첨가한 입자가 용탕 표면에 부상 및 침전하기도 하고, 또한 용탕중에 분산되어 있는것도 일부는 응집체를 형성하고 있었다. 따라서 본 연구에서는 고상률이 분산성 및 접합성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 기지재와 강화재가 혼합되어진 재료를 채용해하여 용탕의 상부에 부상한 입자를 제거한 후 분산성 평가 및 입자의 부상 정도를 조사하였다.

응집체를 형성하지 않고 용탕속에 분산한 섬유만이 기지재를 강화하였다고 하면 최초로 첨가한 섬유의 양 V_T를 기준으로 하여 알루미나 단섬유의 부상 및 침전의 양을 V_{BS}이라 할 때 $r = (V_{BS}/V_T) \times 100(\%)$ 을 섬유의 손실률이라고 하면 고상률의 변화에 따라 측정된 r의 값을 Fig. 3에 표시하였다.

고상률이 0인 경우 즉, 완전 액체상태의 금속에 단섬유를 주입시켰을 경우 부상 및 침전의 양은 28% 정도이다. 고상률이 클수록 단섬유의 손실률이 적다는 사실을 알았다. 이것은 고상률이 클수록 기지재의 겉보기 점성이 높아져 섬유의 부상 및 침전을 저해하며 또한 고상과의 충돌에 의하여 응집체의 분쇄 및 응집체 내에 포함되어 있는 가스를 분산시켜 주기 때문이다.

고상률이 50% 이상이면 기지재와 섬유와의

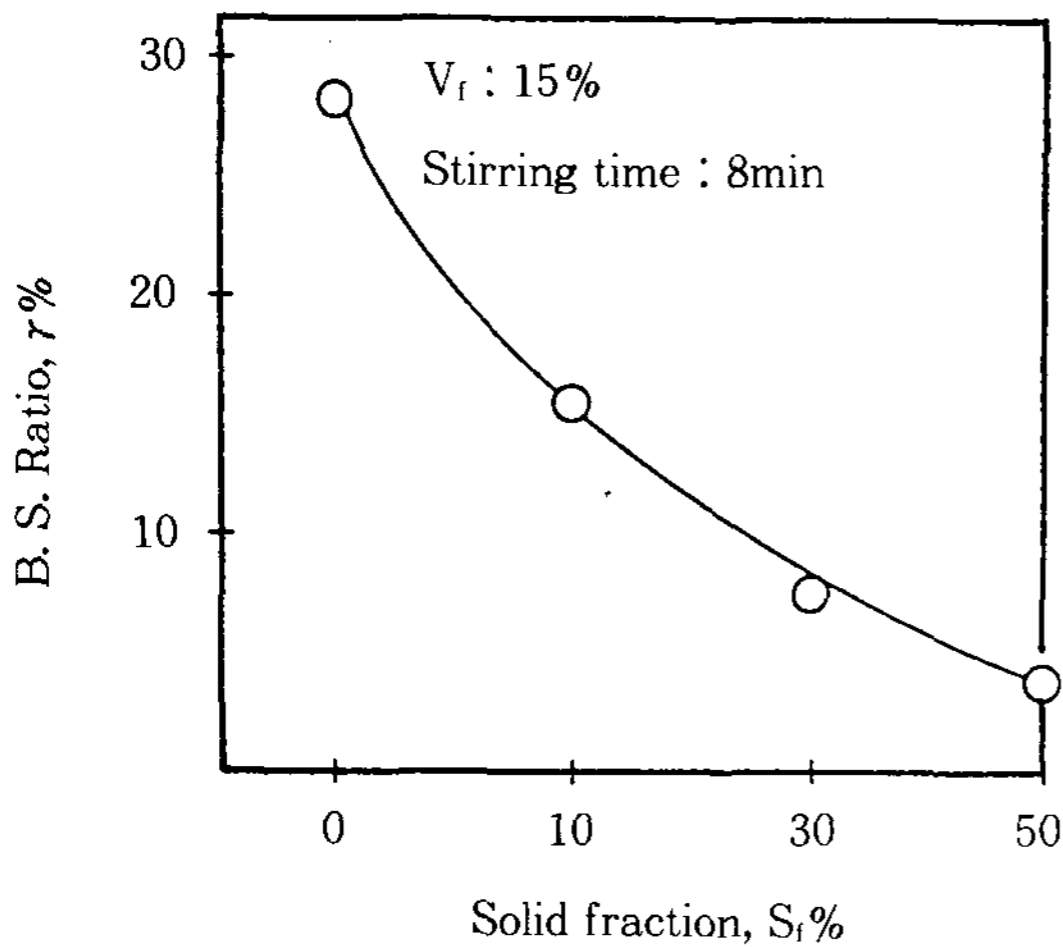


Fig. 3. Buoyancy and settlement ratio of Al_2O_3 short fiber for variation of solid fraction on mixing processes

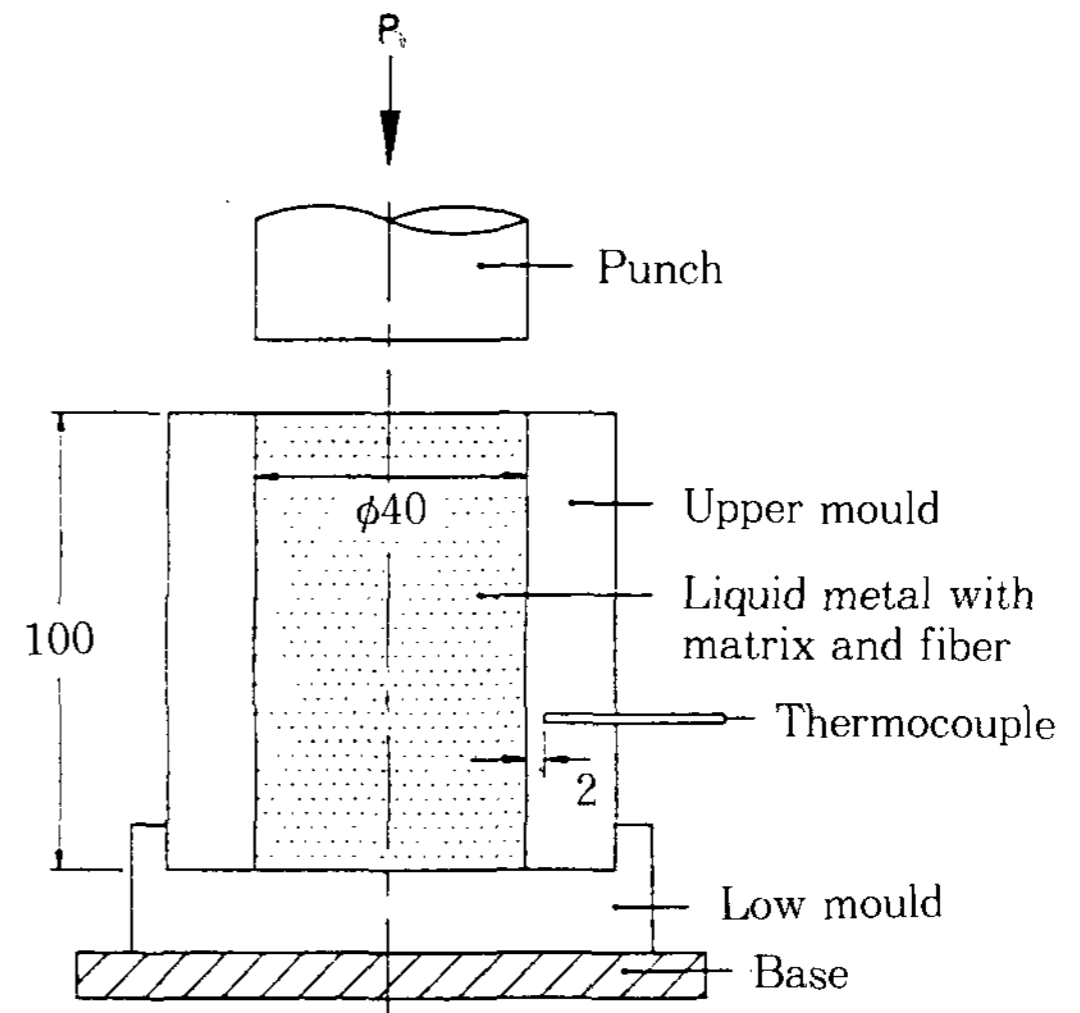


Fig. 4. Schematic diagram of Extrusion billet fabrication mold

접합성이 좋을 것으로 예상되나, 단섬유의 첨가시 점성이 높아 교반이 어려우며, 교반시 임펠라의 손상 및 섬유 파단이 관찰되어졌다. 따라서 적절한 고상률의 선정과 임펠라 재료의 선정이 극히 중요하다는 사실을 알 수 있었다.

따라서 본 연구에서는 섬유의 분산상태, 응집상태, 섬유 파단 및 임펠라의 손상 등을 최소로 하기 위한 제조조건으로 고상률 $S_f=10\%$, 교반시간 약 $t=8\sim 13$ 분 정도로 하여 섬유의 분산상태를 조사하기 위한 빌렛을 제조하였다. 이때 교반한 후 액상선온도 이상으로 재용하여 Fig. 4와 같은 $100^\circ C$ 로 예열된 금형속에 주입하여 $P=7MPa$ 의 압력을 가하여 단섬유강화형 금속복합재료를 제조하여 각 단면에서 단섬유의 분산상태를 조사하였다.

Fig. 5는 섬유의 함유율 $V_f=15\%$, 고상률 $S_f=20\%$, 교반시간 $t=8min$ 인 경우 빌렛의 중앙 종단면의 한부분에 대한 섬유의 분산상태이다. 이것은 교반시간을 13분으로 한 반응용상태의 금속복합재료를 5~6분간 $700^\circ C$ 까지 재용해한 후 $200^\circ C \pm 10^\circ C$ 로 예열된 금형속에 주입하여 $P=7MPa$ 의 압력으로 약 5~6초간 가압하여 직경이 40mm인 빌렛에 있어서 섬유의 분산상태를 조사하였다.

Fig. 6 (a), (b)는 직경이 40mm인 빌렛 중간부분의 각 단면에 대한 섬유의 분산상태를 나타

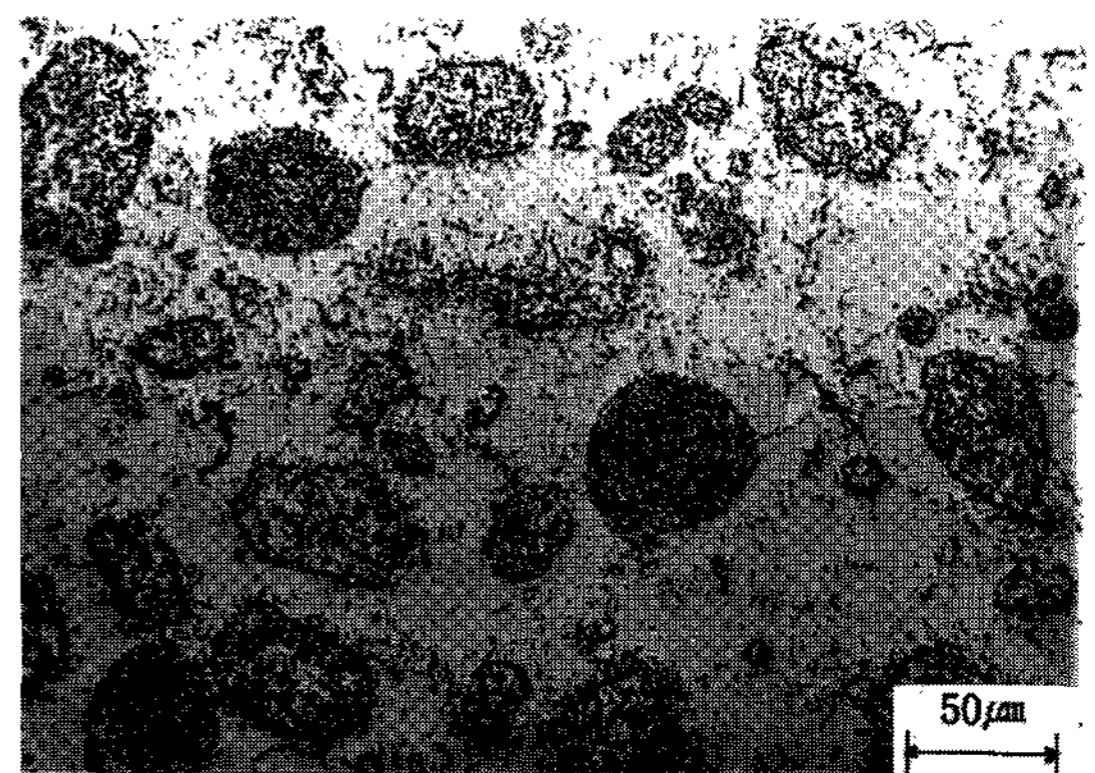


Fig. 5. Optical micrographs of alumina short fiber clustering for lack of stirring time
 $S_f=20\%$, $V_f=15\%$, $t=8min$

낸 것이다. 빌렛의 가장자리 (b)를 제외하고는 전체적으로 비교적 균일하게 혼합되어, 단섬유가 적정하게 분산되어 있었다. 교반시킨후 도가니로에서 서냉시킨 후 관찰되었던 단섬유의 응집현상을 포함한 큰 기공이 관찰되지 않았는데, 이것은 재용해후의 가압에 기인한 것으로 생각된다.

Fig. 7 (a), (b)는 Fig. 6 (a), (b)의 조건에서 제조한 빌렛의 종단면에 대한 단섬유의 분포사항을 나타낸 것이다. 교반시 임펠라의 상하이동에 의하여 단섬유가 균일하게 분포되어 있음을 알

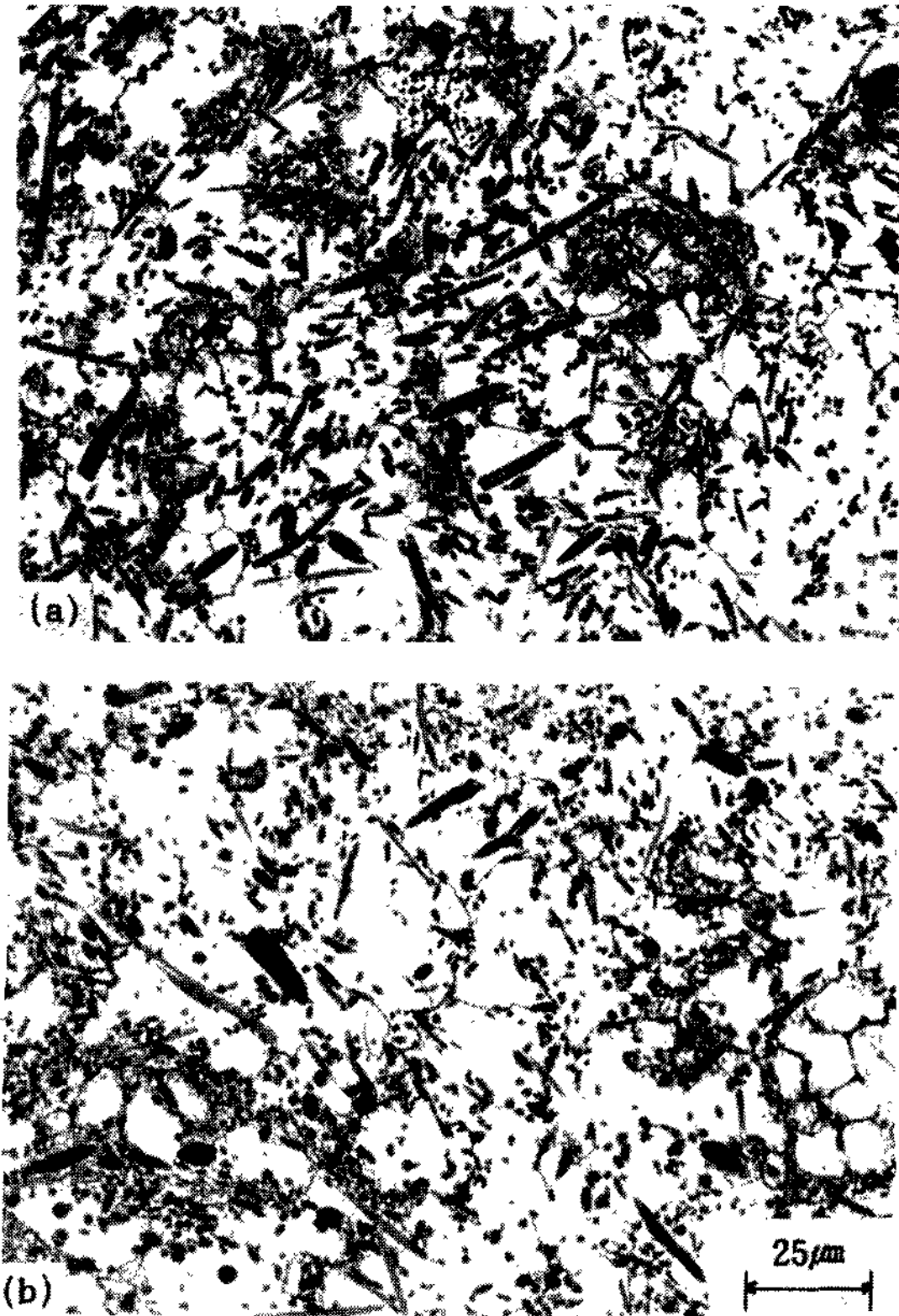
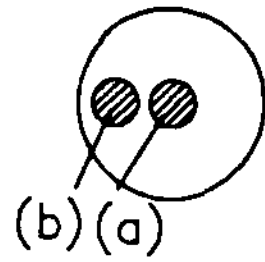


Fig. 6. Optical micrographs for dispersion of short fiber in cross section
 H=30mm $V_f=15\%$, $S_f=10\%$
 (a) Central portion (b) Edge portion

수 있으나 H=20mm에서보다 빌렛 중간부분인 H=30mm에서 조밀하게 분포되어 있다. 그 원인은 본 실험에서 펀치가 용탕표면에 접촉하는 시간은 약 12~15sec 정도이며, 이 시간 동안에 강화재와 기지재의 밀도차이로 인하여 강화재가 침전되었기 때문으로 생각된다.

3. 금속복합재료의 열간압출실험

3.1 실험방법

Fig. 8은 최대하중 25ton의 인장시험기

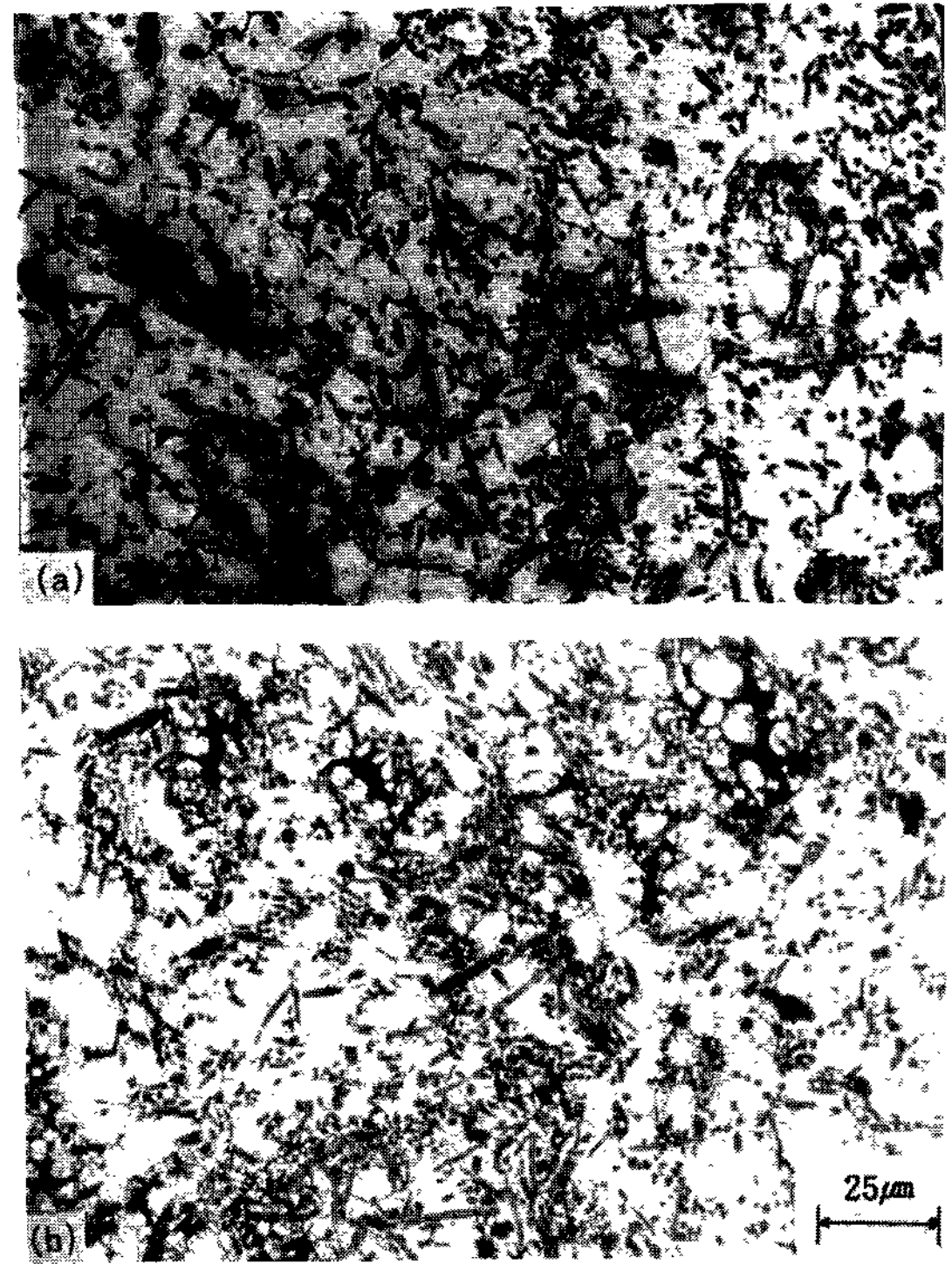
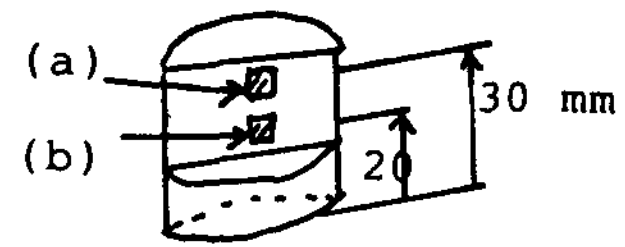
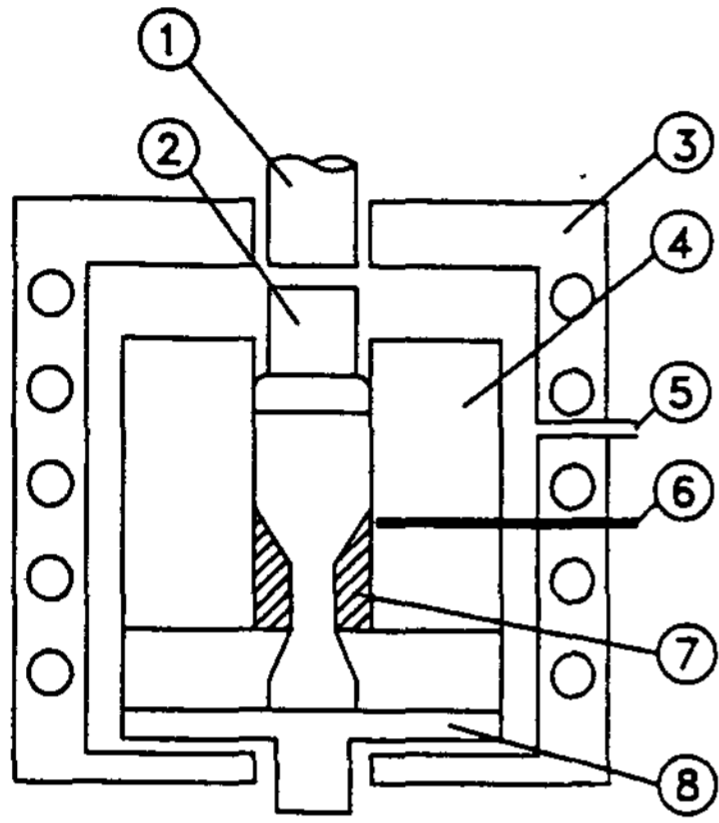


Fig. 7. Optical micrographs for dispersion of short fiber in longitudinal section
 (a) H=30mm (b) H=20mm

(TENSILON)에서 설치한 열간압출용 실험장치이다. 저압응고법에 의하여 제조되어진 빌렛을 $\phi 35 \times 60\text{mm}$ 로 절삭하여 사용하였으며, 컨테이너 속에 직경 1.6mm의 CA 열전대를 내부벽면에서 2mm까지 깊이 심어, 압출종료 때까지 연속적으로 온도를 기록, 제어하였다. 실험 온도에서 20분간 유지한 다음 Ar가스의 주입과 동시에 압출실험을 하였다. 압출온도는 다이반각, 압출속도 및 장치의 최대용량의 측면에서 $400 \pm 30^\circ\text{C}$ 로 일정하게 하였다. 압출속도(램속도)는 압출재료의 표면에 결함이 나타나지 않은 예비실험결과에 의하여 2mm/min로 하였으며, 사용된 윤활재는 crease oil에 흑연분말을 체적비(1:1)로 동일하게 섞어서 사용하였다.

Table 2. Die dimension for hot extrusion of Al₂O₃/Al Metal Matrix Composites

Die No	α (°)	D1 (mm)	D2 (mm)	L (mm)	h (mm)	H (mm)	Extrusion ratio(R)
1	20	35	26.1	15	4	25	1.8
2	30	35	20.2	15	4	25	3.0
3	40	35	10.2	15	4	25	11.9



- ① PUNCH ② DUMMY BLOCK
- ③ FURNACE ④ CONTAINER
- ⑤ Ar GAS GATE ⑥ THERMOCOUPLE
- ⑦ DIE ⑧ DIE HOLDER

Fig. 8. Schematic diagram of the experimental apparatus for hot extrusion

Fig. 9는 압출다이의 외형을 나타내고 있으며, Table 2는 다이의 치수와 압출비를 표시하고 있다. 다이의 경사면과 직선부의 길이를 동일하게 함으로써 압출시 생기는 마찰력을 일정하게 하도록 했다.

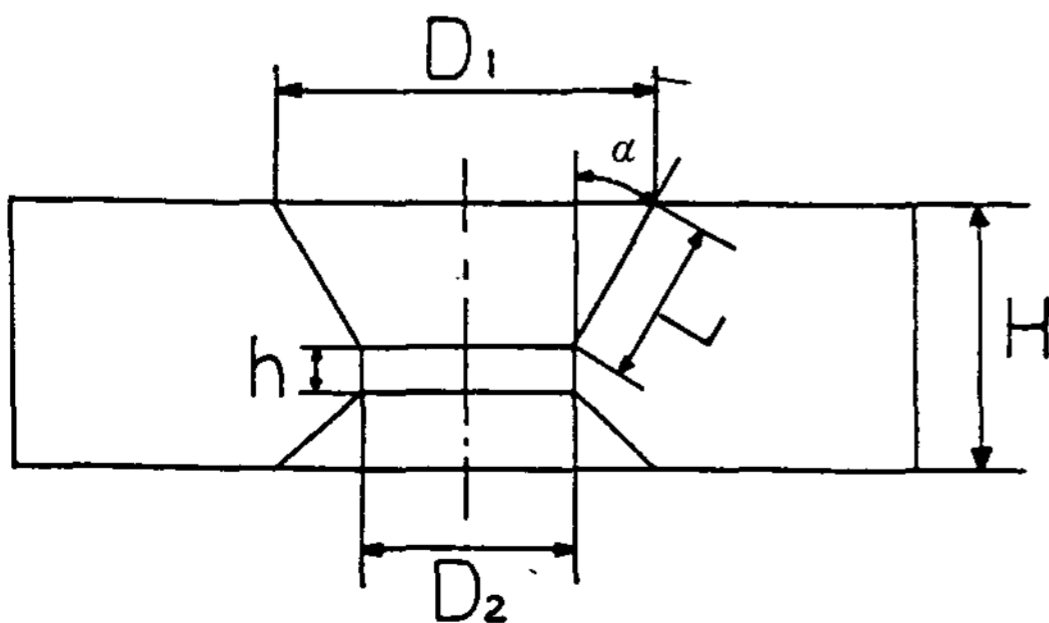


Fig. 9. The die shape and dimension of hot extrusion for metal matrix composites

3.2 실험결과 및 고찰

Fig. 10는 압출온도는 $T_e = 400 \pm 3^\circ\text{C}$, 압출속도 $V = 2\text{mm/min}$, 섬유함유율 $V_f = 15\%$ 일 때 다이반각 α 의 변화에 따른 램의 변위 δ 와 압출력 P 와의 관계를 나타낸 것이다. $\alpha = 40^\circ$ 일때 $V_f = 15\%$, 0%인 경우 P 는 각각 24ton, 10.5ton 정도이다. 섬유함유율의 변화에 의한 압출력의 차이는 Al₂O₃ 단섬유의 분산에 의한 강화효과와 열간압출시 기지재와 단섬유의 열팽창 차이로 인한 전위밀도의 증가에 기인한 강화효과로 생각된다. 압출각이 클수록 최대압출력에 도달하는 램의 변위가 감소됨을 볼 수 있다.

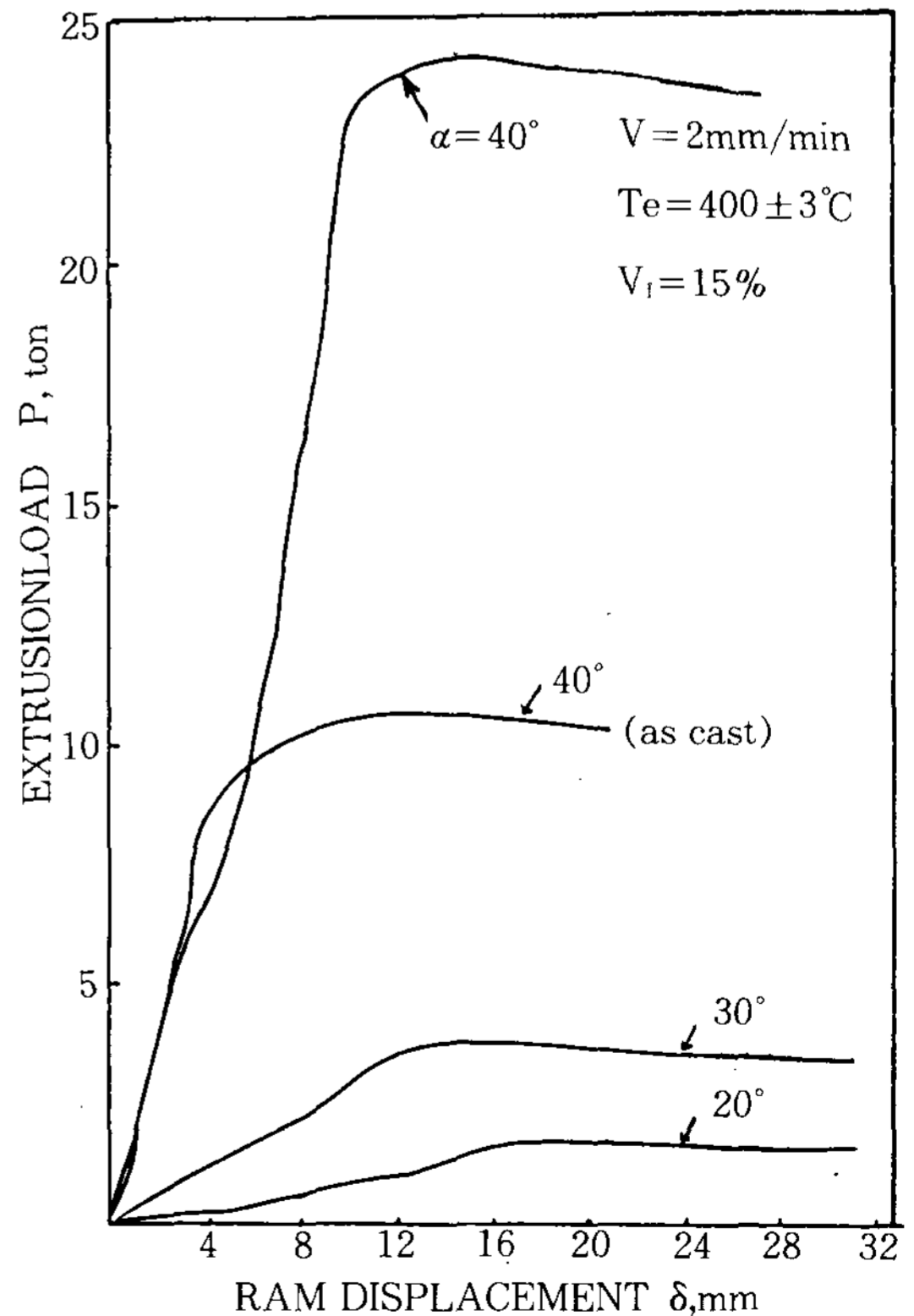


Fig. 10. Relationship between extrusion load and ram displacement

이것은 다이 입구부터 출구까지의 체적의 차이에 의한 것으로 생각된다. Fig. 11 (a), (b)는 $V_f=15\%$, $\alpha=30^\circ$ 인 경우 윤활조건에 따른 압출재료의 표면상태이다. Fig. 11 (a)에서 보여주는 바와 같이 윤활에 의하여 표면 결함을 방지할 수 있었고 최대 압출압력도 무윤활에 비해 20

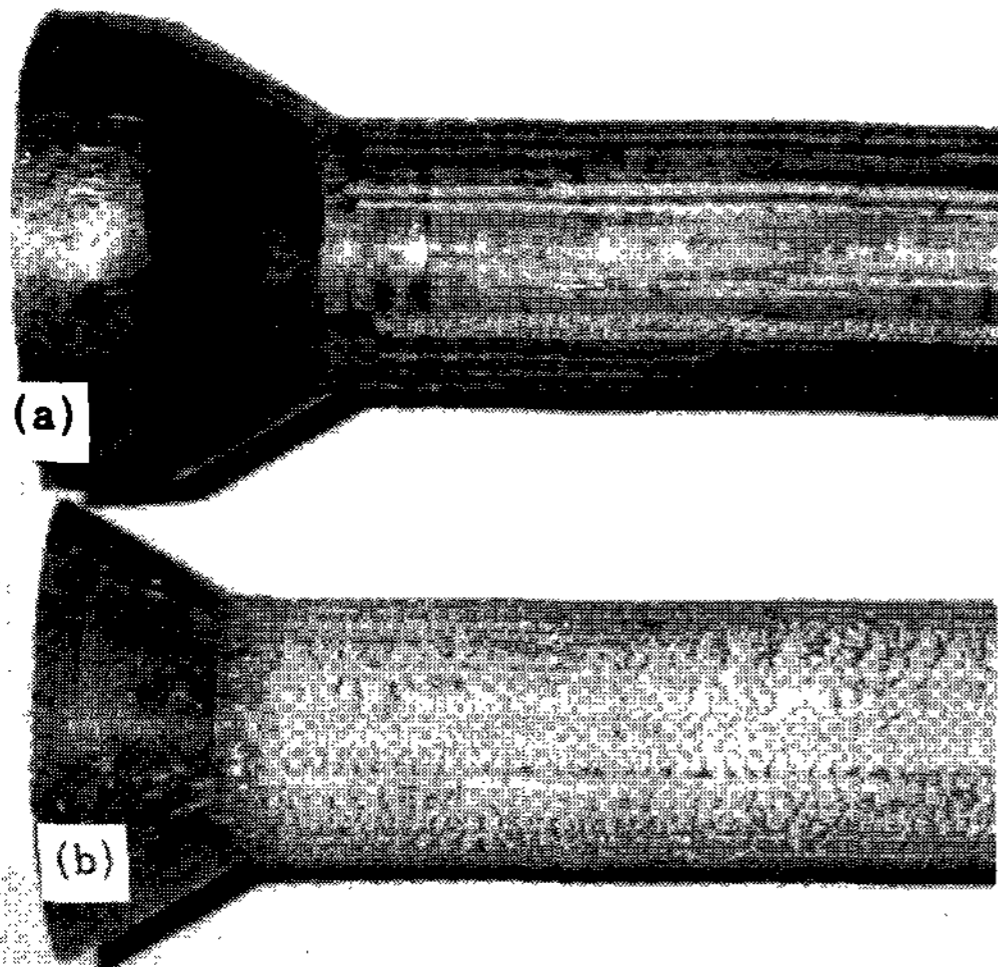


Fig. 11. The Appearance of extruded billets of metal matrix composite $V_f=15\%$, $V=2\text{mm/min}$

% 정도 낮은 $P=3.8\text{ton}$ 정도로 측정되었다. 압출재료의 Fig. 11 (b)의 표면결함은 변형영역 출구부분에서의 압출재료내부의 잔류응력분포, 다이와 압출재료사이의 마찰력 및 압출재료의 중앙부와 표면부에서의 속도차이 등으로 생기는 인장응력 때문인 것으로 생각된다.

Fig. 12 (a), (b), (c)는 $T_e=400\pm 3^\circ\text{C}$, $V=2\text{mm/min}$, $\alpha=40^\circ$, $V_f=15\%$ 의 경우 입구 (a), 중간 (b), 출구 (c)의 단면중앙부분에서의 섬유배향성을 나타낸 것이다. 압출이 진행됨에 따라서 섬유배향이 압출방향으로 배열되어 단일 방향성(uniaxial alignment)이 나타남을 알 수 있었으며, 최종 출구부분에서는 섬유의 길이가 파단되어 매우 작아졌다.

Fig. 13 (a), (b), (c)는 $T_e=400\pm 3^\circ\text{C}$, $V=2\text{mm/min}$, $V_f=15\%$ 인 경우 압출각 α 의 변화에 따른 섬유배향성을 나타내고 있다. 압출비가 클수록 섬유배향성이 양호하며, 섬유의 파괴 및 손상정도가 더 크다.

Fig. 14 (a), (b)는 $T_e=400\pm 3^\circ\text{C}$, $V=2\text{mm/min}$, $V_f=15\%$ 및 $\alpha=40^\circ$ 의 경우 출구부근 가장자리의 종단면 (a) 및 횡단면 (b)에서의 섬유배향성과 분포상태를 나타낸 것이다. 압출전 2

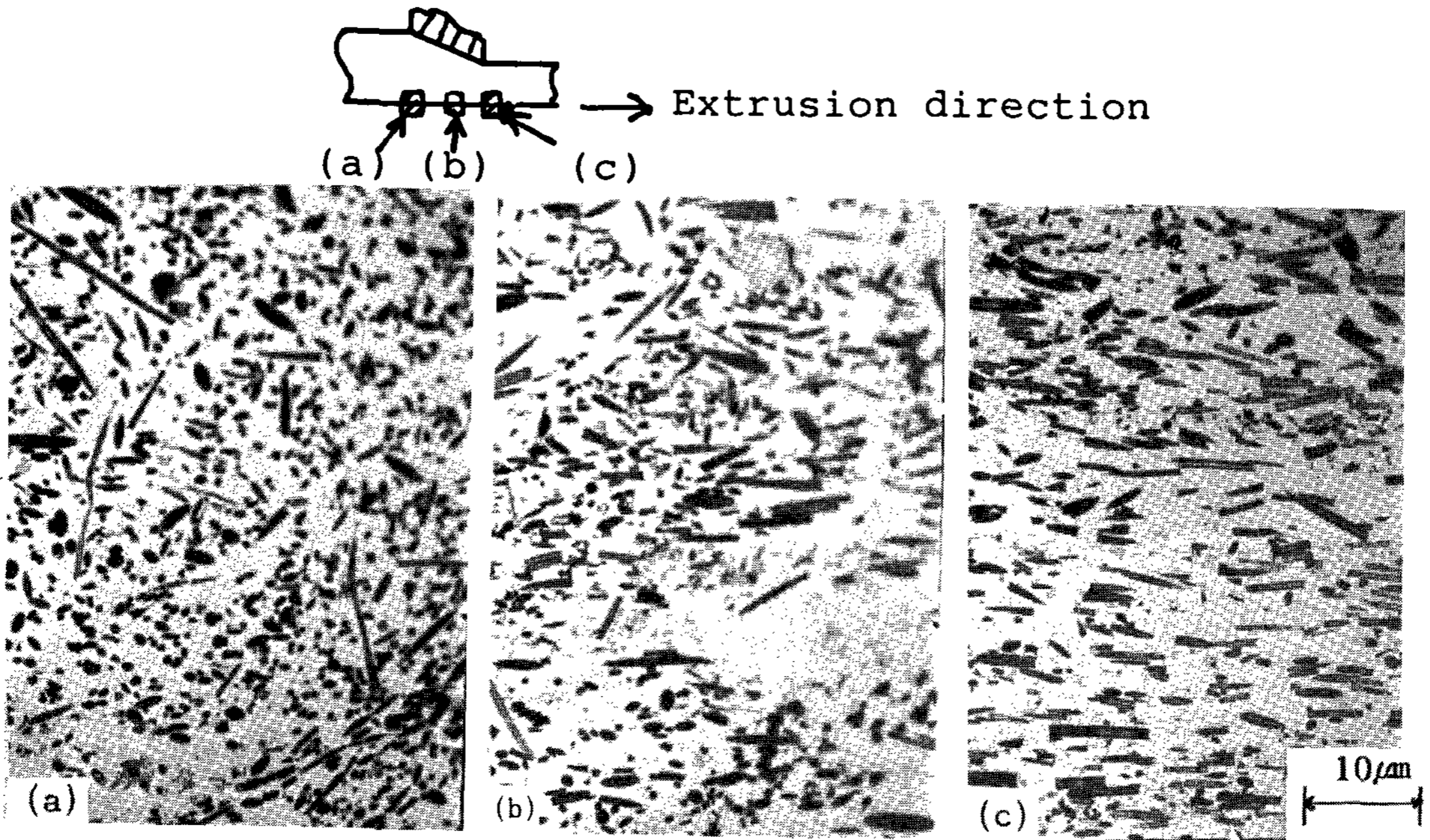


Fig. 12. Microstructure of fiber orientation during hot extrusion processes
(a) Entry of die (b) Middle (c) Exit of die

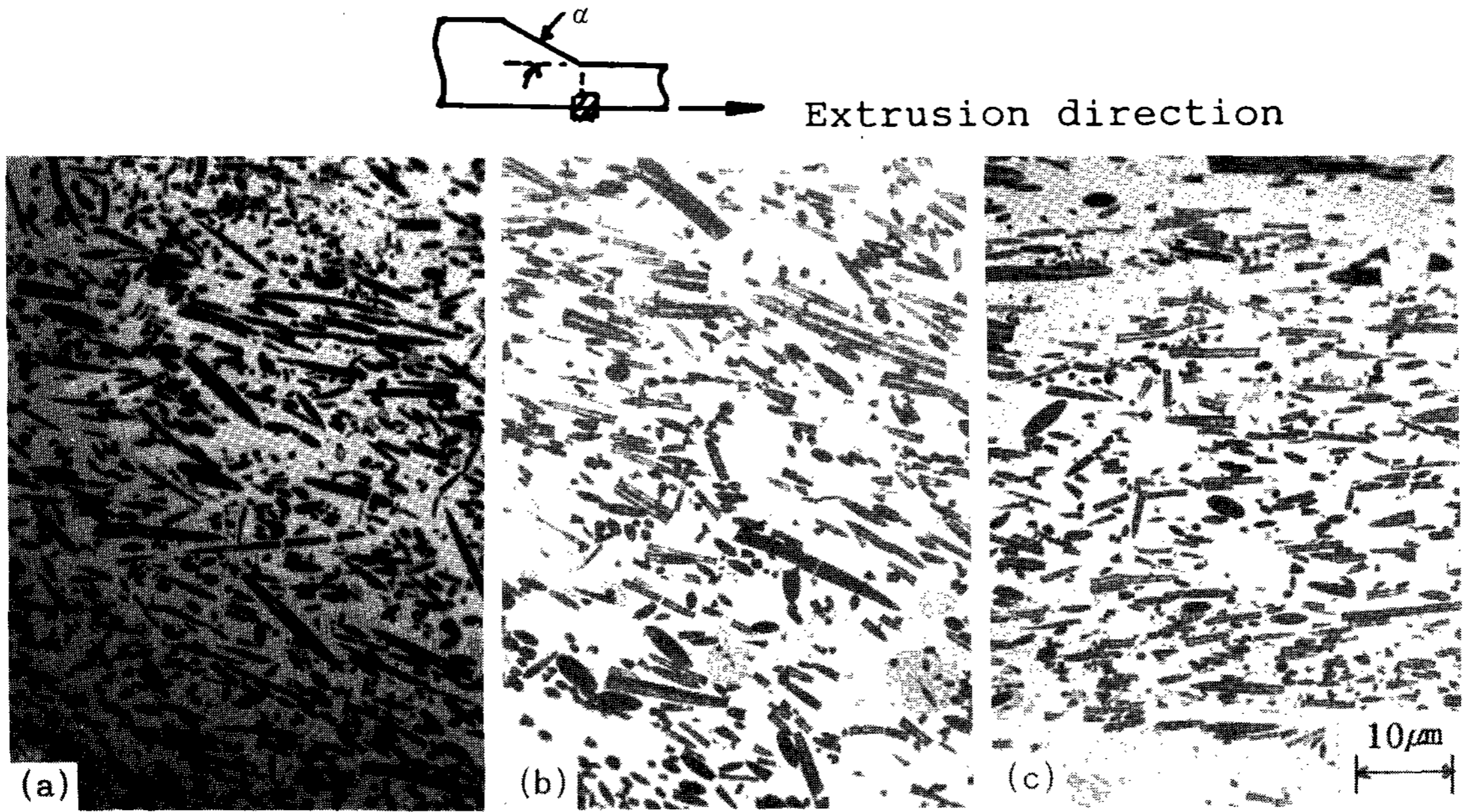


Fig. 13. Microstructure of fiber orientation after hot extrusion for varioys extrusion ratios
 (a) $\alpha=20^\circ$ (b) $\alpha=30^\circ$ (c) $\alpha=40^\circ$

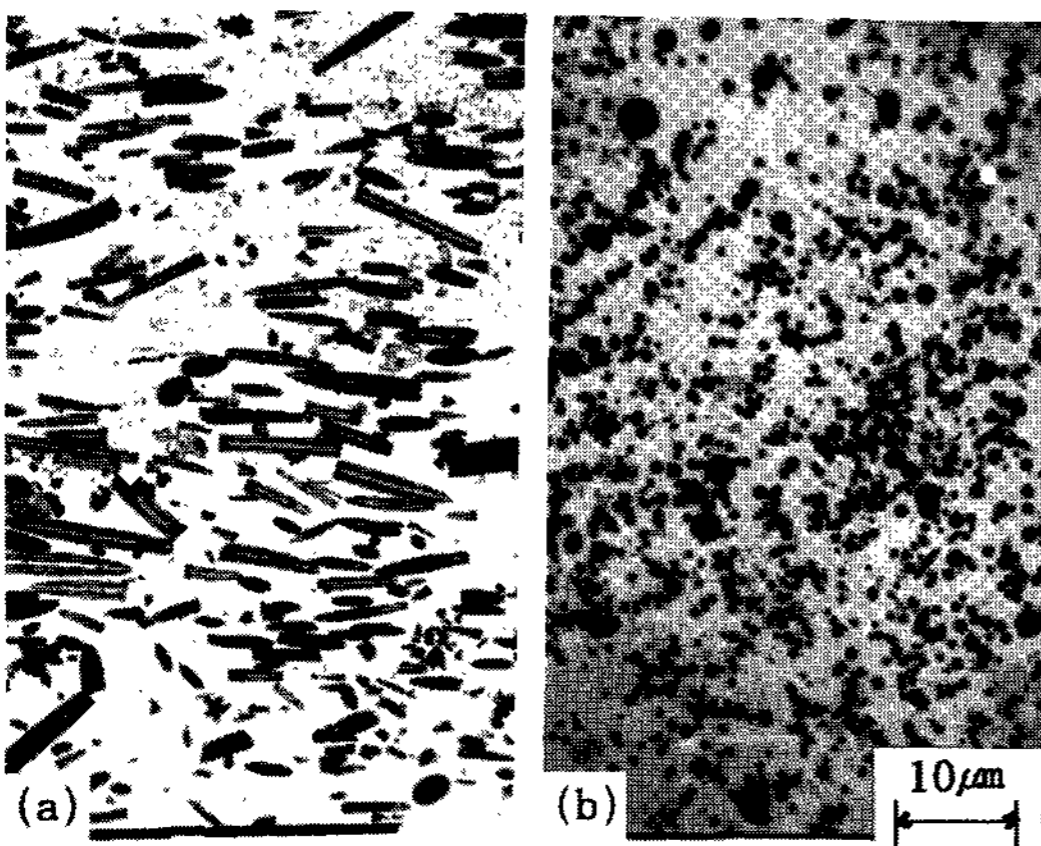


Fig. 14. Microstructure of fiber orientation after hot extrusion in
 (a) Longitudinal section (b) Cross section

차원적으로 무질서하게 분포된 섬유 방향이 Fig. 14 (b)를 통해 볼 때 섬유의 방향은 거의 1 차원배열을 하고 있음을 알 수 있다. Fig. 13 (c)의 경우와 비교하면, 표면부분이 중앙부분에 비해 섬유길이가 길다.

이와같은 현상은 다이내에서 섬유 및 기지재가 다이로부터 받은 응력에 의하여 설명할 수 있다. 즉 표면부분에서는 중간부분에 비해 다이벽면에서 받은 응력이 크지만 Fig. 14 (a)에서 보여주는 바와 같이 섬유배향이 압출방향과 거의 평행하기 때문에 섬유는 기지재의 급속으로부터 굽힘응력을 받기가 어렵다. 또한 압출재료의 중심부에서는 응력이 최소로 되어 기지재가 섬유에 가하는 응력은 적으나 섬유의 배향성이 표면보다 좋지 않아 섬유가 굽힘응력을 받기가 쉽기 때문에 섬유가 파단되어 중앙부분보다 표면부분이 길게되어 있다고 생각된다.

압출시 평균변형률속도

$$\dot{\epsilon}_m = [(6V \ln R / D_1)] \tan \alpha \dots\dots\dots(1)$$

라고 할 때 평균 압출압력 P_{ave} 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{ave} = \sigma_m \dot{\epsilon}_m A = \sigma_m(a \ln R + b) A \dots\dots\dots(2)$$

여기서 V : 압출속도, R : 압출비, D : 빌렛의

직경, a : 다이반각, A : 빌렛의 단면적, μ : 마찰계수, $a=1+\mu\cot\alpha$, $b : 4\alpha/3\sqrt{3}$

식 (2)에서 평균변형률속도 $\dot{\epsilon}_m = P_{ave}/\sigma_m$ 을 구한 결과를 Fig. 15에서 실선으로 표시하였다. 이때 σ_m 은 평균변형저항의 값으로 기지재와 복합재료의 응력과 변형률 사이의 관계를 다음과 같이 각각 가정하여 σ_m 을 구하였다.

$$\sigma_m = C \dot{\epsilon}_m^m \dots\dots\dots(3)$$

400°C에서 C 와 m 의 값을 각각 7.03, 0.09로 하여⁽²⁴⁾ 압축비의 변화에 따른 $\dot{\epsilon}_m$ 을 구하여 σ_m 을 계산하였다. $R=11.9$ 일 때, $V_f=0.15\%$ 의 경우, 실험결과로부터 얻은 $\dot{\epsilon}_m$ 은 각각 2.2, 5.3 정도이고, $\mu=0.05$ 인 경우 Al7075의 이론치는 3.1 정도이다.

이의 원인은 변형률속도에 의하여 결정되는 식 (3)의 C, m 값은 $\dot{\epsilon}_m$ 가 $0.4-311\text{sec}^{-1}$ 인 경우의 값이다. 그러나 식 (1)에서 구한 $\dot{\epsilon}_m$ 은 $1.2 \times 10^{-2} \text{sec}^{-1}$ 이기 때문에 압출조건에 따른 C, m 의 값의 차이로 인한 오차로 생각되어진다. $V_f=15\%$ 일 때 $R=3.0, 1.8$ 인 경우는 이론치의

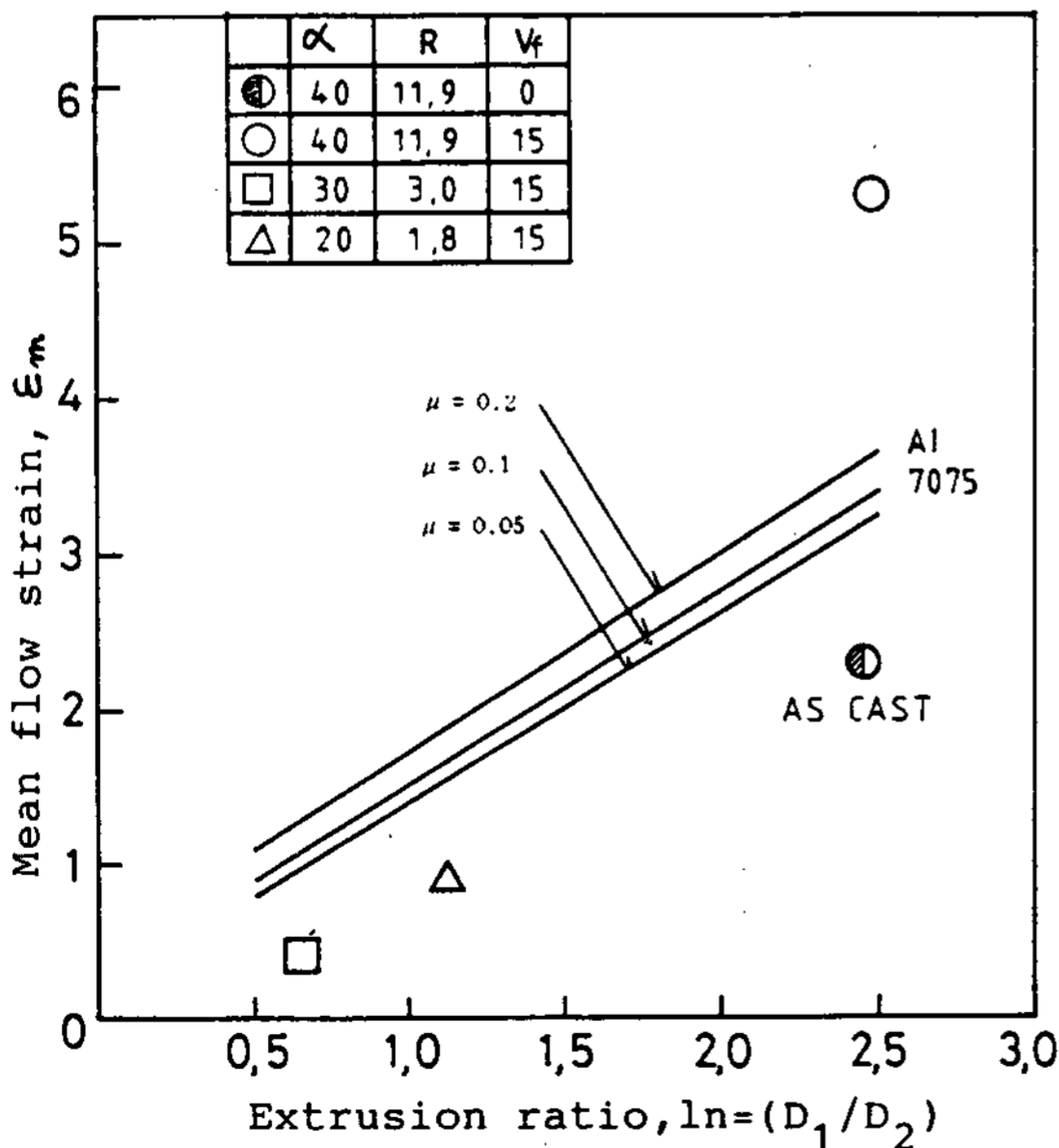


Fig. 15. Relationship between mean flow strain and extrusion ratios for variation extrusion ratios

Al7075보다 $\dot{\epsilon}_m$ 이 적게 되어 있다. 선정이 극히 중요하다고 생각된다.

Fig. 16 (a), (b)은 $V_f=15\%$ 인 경우 압출전 (a)와 압출후 (b)의 빌렛 단면중앙부분에서의 SEM 사진이다. 압출전 (a)의 경우는 결정경계를 따라 섬유가 응집된 상태로 관찰되었으며, 기공이 매우 많았다. 그러나 압출후 기공은 다소 존재하나 섬유가 비교적 균일하게 분포되어 있었다. Fig. 16에서 기지재에 나타난 미세한 균열현상은 압출전 기포가 축소되어 나타난 것으로 생각된다. 이러한 미세균열현상을 방지하기 위하여는 빌렛제조시 재료내부에 있는 기포 및 가스가 충분히 제거되어야 할 것으로 사료된다.

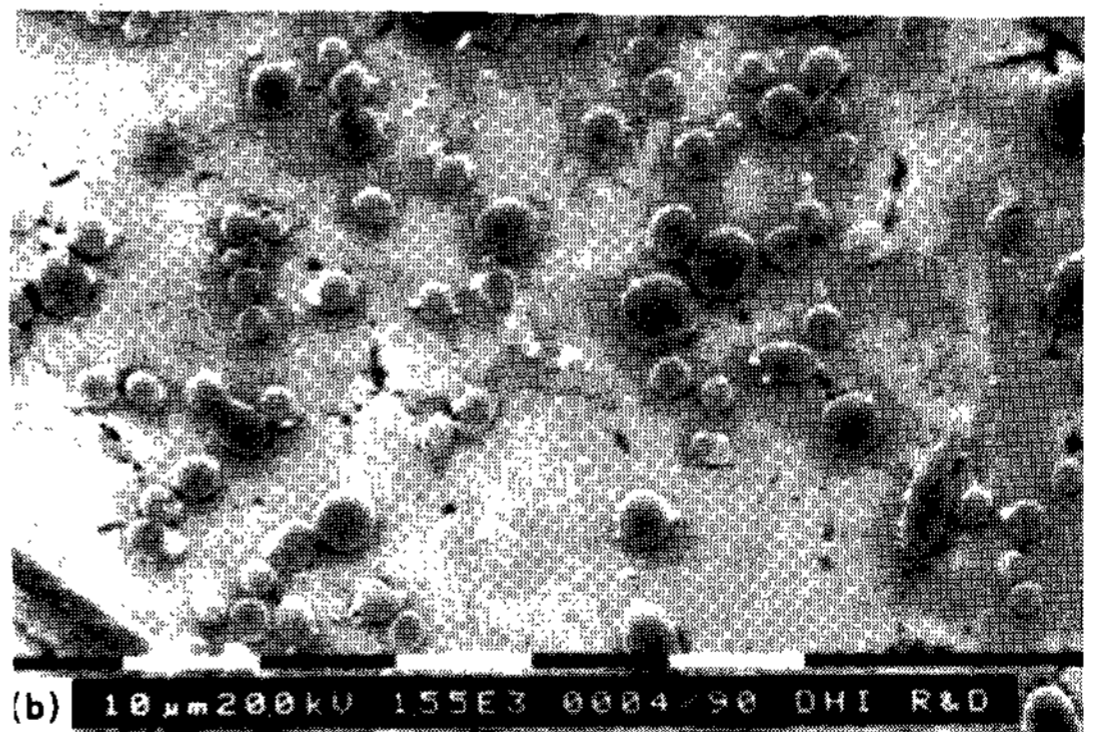


Fig. 16. SEM micrograph in central portion of metal matrix composites with $V_f=15\%$
 (a) Cross section of billet before extrusion
 (b) Cross section of billet after extrusion

Fig. 17은 무게 100g에서 측정 한 압축비에 따른 경도 분포를 나타낸 것이다. 알루미늄 강

화 금속재료는 AS-Cast Al7075와 비교할 때 모두 증가를 했으나, 가장자리 부분을 제외하고는 압출각이 클수록 경도가 증가함을 알 수 있다. 위의 원인은 알루미늄의 강화효과와 압출비의 증가에 따른 가공경화 그리고 기공의 감소 등 조직의 치밀화 효과에 기인한 것으로 생각한다.

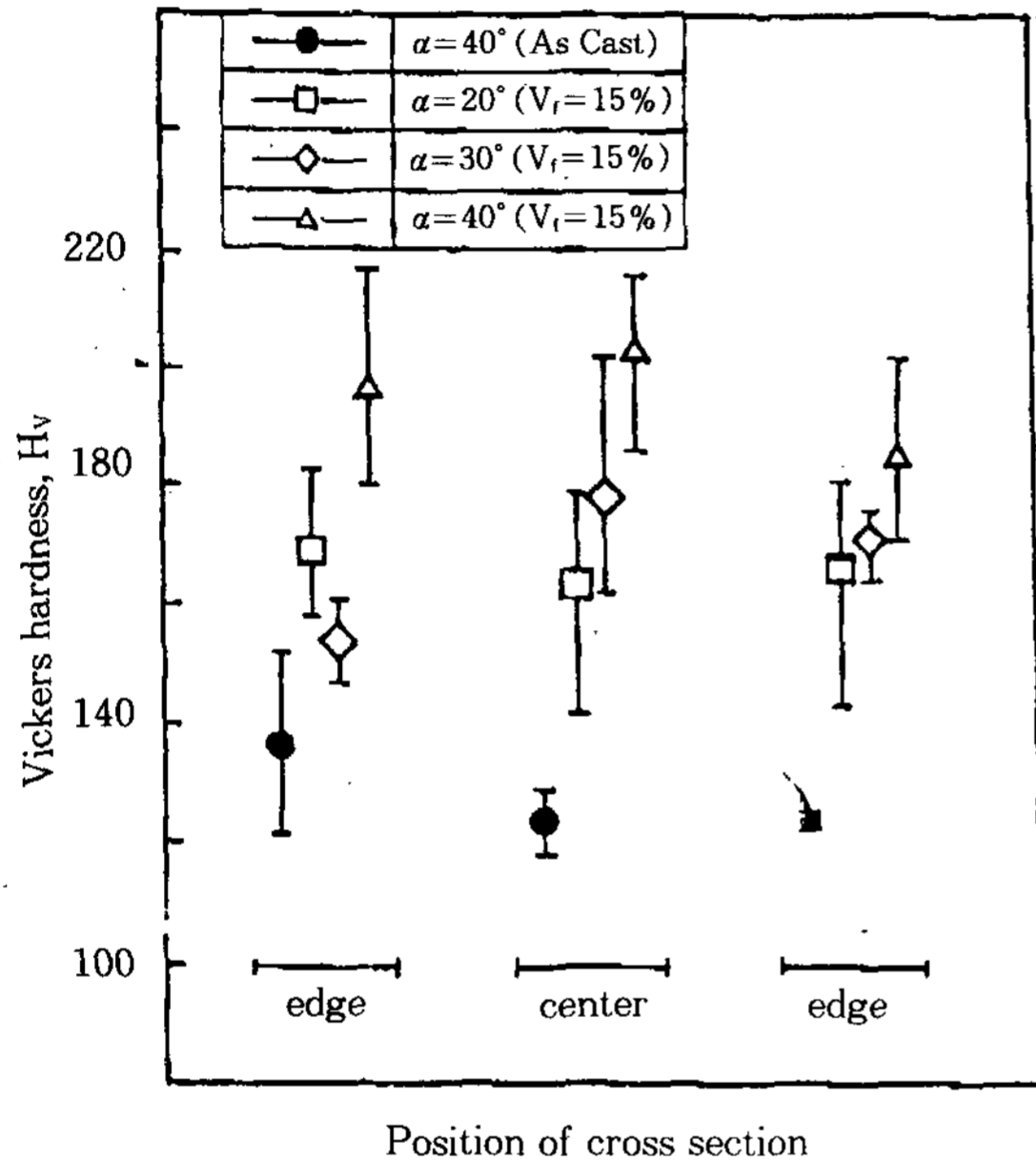


Fig. 17. Hardness distribution in cross section position after hot extrusion for various of extrusion ratios.

4. 결 론

반응고법에 의하여 제조되어진 알루미늄 복합재료의 제조공정 및 압출가공에서 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 섬유의 균일분산을 위해서는 교반기의 상하이동이 필요하며, 교반시간 $t=13\text{min}$ 교반회전수 $N=400\text{rpm}$ 및 고상률 $S_f=10\%$ 의 조건에서 균일분산이 가능한 반응용 금속복합재료의 제조가 가능하였다.

2) 반응용상태의 금속복합재료를 약 200°C 로 예열한 금형속에 주입하여 5~6초간 가압하여 빌렛을 제조한 결과 기공이 현격히 감소

했으며, 섬유의 분산상태가 비교적 균일한 빌렛을 얻을 수 있었다.

3) 고온압출시 표면균열방지는 압출속도의 선정, 컨테이너면과 재료의 양호한 윤활이 필요하다.

4) 압출재료에 있어서 중심부분과 표면부분의 섬유길이를 광학현미경으로 관찰한 결과 표면부분이 중심부분보다 섬유의 길이가 길게 되어있다.

5) 압출비가 증가할수록 섬유의 배향은 향상하였으나 섬유의 파손이 증가됨을 알 수 있었다.

5. 후 기

본 연구는 1990년도 한국과학재단의 기초연구비(과제번호 901-0907-029-2)의 지원에 의한 결과의 일부분으로서 이에 감사의 뜻을 표하는 바이다.

참 고 문 헌

1. T. T. Long and T. Aisaka : J. of Jap. Metals 51 (1987) 864
2. D. L., Mcdanels : Metall. Trans., 16A (1985) 4077
3. H. Monimoto : CAMP-ISIT, 2 (1989) 348
4. M. Hirohashi, H. Asanuma amd O. Hayama : J. of Japan Inst. of Light Metals, 38-10 (1988) 640
5. D. F. Hasson S. M. Hoover and C. R. Crowe : J. of Metal Sci., 20 (1985) 4147
6. K. Goda, H. Fukunaga and M. Itonaga : Trans. of Japan Soc. Mech. Eng., 53-486 (1987) 180
7. A. Mortensen and J. A. Cornie : Metall. Trans., 18A (1987) 1160
8. Y. Nishida, T. Imai, H. Yagada, H. Matsubara and I. Shirayangi : J. of Japan Inst. of Light Metals 38-9 (1988) 515
9. 福永秀春 : 機械の研究, 39-6 (1987) 25
10. T. W., Clyne and J. F. Mason : Metall. Trans., 18A (1987) 1519

11. E. Nakata : ISTP, 22-247 (1981) 799
12. M. Kiuchi : J. N. of Japan Soc. Mech. Eng., 88-804 (1985) 12
13. F. A. Girod, L. Albingre J. N. Quenisset and R. Naslain : J. of Metals November, (1987) 18
14. P. K., Ghosh and S. Ray : J. of Met. Science, (1987) 4077
15. 이학주, 홍준표 : 한국주조공학회지 12-4 (1992), 335
16. 이학주, 이상목, 홍준표 : 대한금속학회 춘계학술강연대회, 18 (1988)
17. M. Kiuchi : Annals of the CIRP, 36-1 (1987) 173
18. 參木貞彦, 參宅保彦 : 第97回 塑性加工 Sympo., (1985) 41
19. 大内 : 神鋼技報 37-3 (1987) 31
20. H. Watanabe, K. Ohori and Y. Takeuchi : J. of Japan Inst. Light Metals, 38-10 (1988) 633
21. Y. Kagawa, Y. Oishi, S. Yoshida and E. Nakata : J. of Japan Composites Metals, 7-4 (1981) 140
22. M. Salkind, F. G. George and W. Tice : Trans. Metall. Soc. AIME, 245 (1969) 2339
23. 大中逸雄 : コンピュータ傳熱凝固解析入門, 九善, (1985) 200
24. T. Altan, OH S. I. and H. Gegel : Metal Forming, America Society for Metals, (1983) 72