

# 반응용 압출한 가공 백태

杉山 澄雄<sup>1</sup>

## Examples of Semi-solid Extrusion

S. Sugiyama

### 1. 서론

금속이 양갱과 같이 된다는 것은 반응용 상태에 있는 금속의 경도를 상징적으로 표현한 말이다. 반응용 상태이란 어떠한 것인가? 금속괴를 반응용 상태까지 가열한 후 냉각하면, 고상과 원래의 액상 조직을 만들어 낼 수가 있다. 또 반응용 상태에서, 냉각하면서 교반하는 것에 의하여 금속의 분말을 만들기도 한다. 반응용 처리한 상태를 시험 관찰하는 예로 금속을 반응용 상태로 가열한 후 교반 냉각하여 분말을 만드는 방법이 있다. 여기에서 반응용 상태의 특성은 (a)고상립은 집합한 상태이며 (b)고상립과 고상립의 사이에 액상이 있으며 (c)고상립은 대개 구상이라고 알려져 있다.

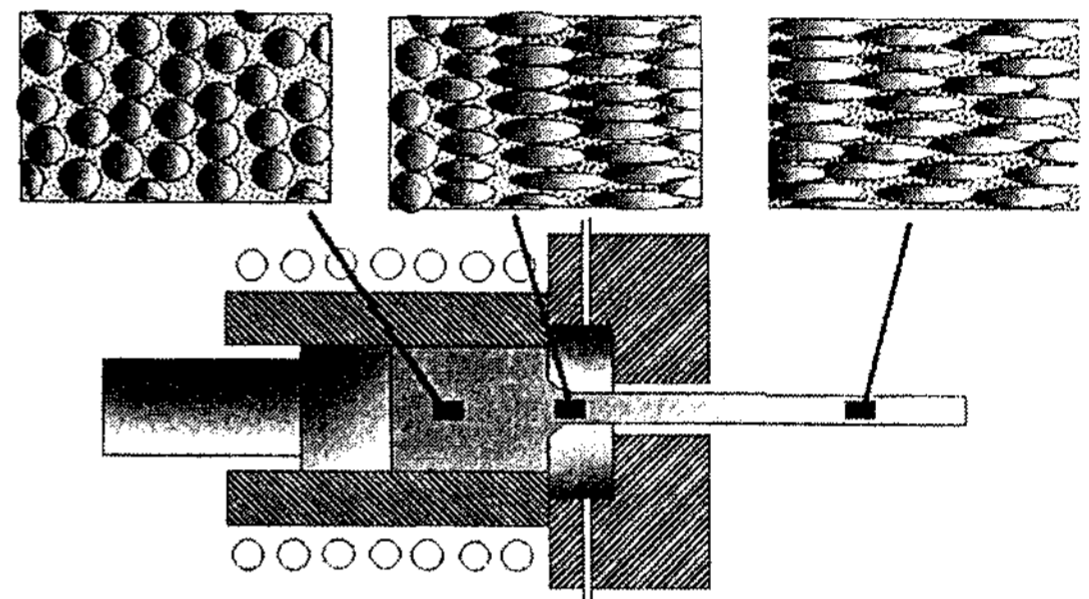


Fig. 2 Microstructure change during semi-solid extrusion

반응용 압출 가공은 반응용 상태에 있는 재료로 온도를 관리할 수 있는 다이스 내를 통과시켜 원하는 칫수 형상의 제품을 가공하는 방법이다. 반응용 압출 가공을 도식적으로 그리면 Fig. 2와 같이 된다. 콘테이너에 압입된 고체 빌렛은 온도의 상승으로 구상의 고상립과 그것을 둘러싼 액상이 혼재한 반응용 상태로 된다. 재료가 다이스를 통과 중에 액상은 재료의 내외에서 윤회제구실을 하는 동시에 가압 응고 한다. 한편 고상립은 다이스 입구 근방에서는 구상으로 유지하지만 다이스 통과 중에 액상의 응고에 영향을 받으면서 늘어난다. 반응용 압출 가공은 고상 상태만의 냉각이나 열간 압출 가공과 다르며 액상이 존재하기 때문에 액상과 고상의 변형, 유동, 확산, 접합, 석출 등의 효과를 강조하여, 여러가지 형태의 압출 가공이 가능 하게 된다.

반응용 압출 가공의 연구는 1970년 초기, 福岡,

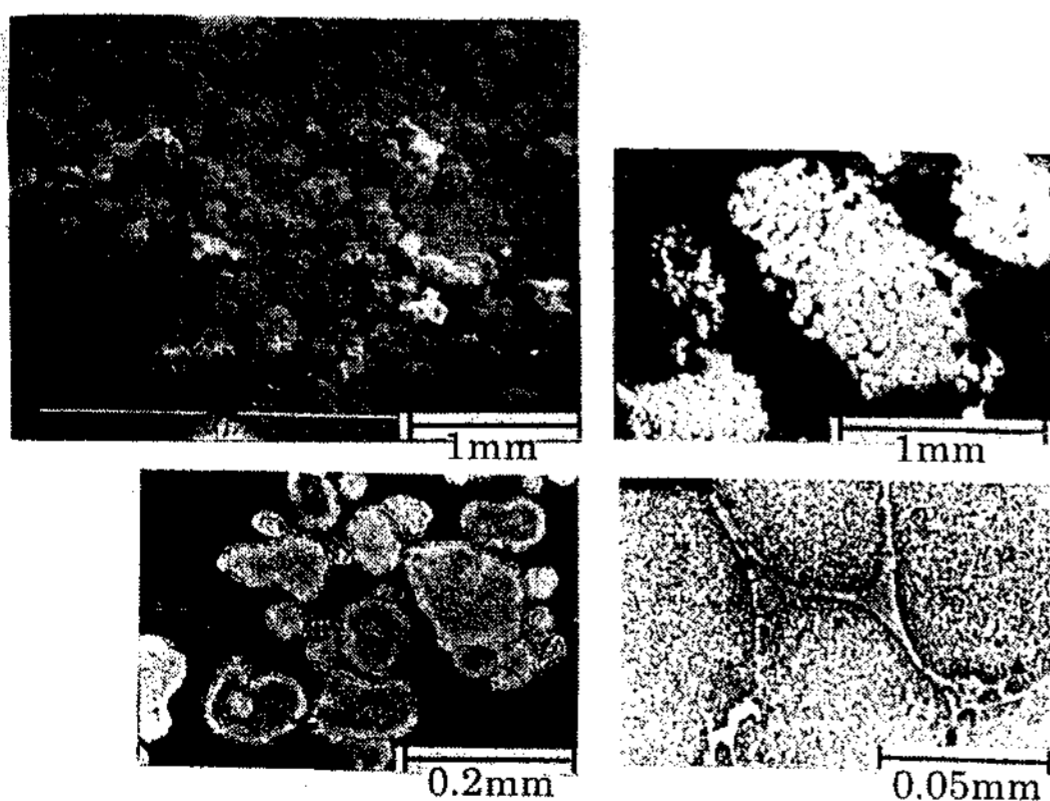


Fig. 1 Example of semi-solid state

1. 東京大學生産技術研究所 (우)153-8505 東京都目黒區駒場 4-6-1, Japan  
 - 技術解説: 塑性の加工(日本 塑性加工 學會誌) 第48卷 第555号 pp. 282-289(2007.4)  
 - 번역자: 박정서(자유번역가), 김인수(금오공과대학교 신소재 시스템공학부, 교수)

木内 등[1, 2, 6]에 의해 시작되었다. 당초 뿔납[11], 알루미늄[3~5]등의 저융점재료나 실험실에서 만들어진 합금을 써서 행해졌으나, 최근에는, 철합금[34, 35, 39~41], 마그네슘합금[23, 37, 42], 금속과 세라믹스 입자와의 복합재료[19, 31]등 고용점재료나 실용합금에 까지 넓혀짐을 보이고 있다. 또 유한요소법을 이용한 반응용 압출 가공의 수치해석의 연구[20~22, 32, 33, 36] 등도 행해지게 되어 있다.

본 연구에서는 주로 알루미늄 합금을 피가공재로 사용한 압출 가공에 있어서 반응용 압출 가공 기술을 몇 가지 소개하였다.

## 2. 난가공 알루미늄 합금의 봉·선·관의 가공 [6~8, 14, 16, 24~26, 30, 38]

냉간, 열간압출 가공에 있어서, 피가공재의 재질로 분류하면 압출 가공하기 쉬운 재료와 그렇지 않는 재료가 있다. 이를테면 알루미늄 합금의 경우에는 JIS규격의 1000번계나 6000번계는 압출 가공 하기 쉬운 재료 이지만, 2000번계나 7000번계의 두랄루민 또는 초초 두랄루민은 가공하기 어려운 재료이다. 이와 같은 난가공재료를 종래에 냉간이나 열간으로 압출가공 하기기 위해서는 작은 압하율로 가공을 되풀이 할 필요가 있다. 따라서 총 공정수가 많아진다. 반응용 압출 가공에서는 이와 같은 난가공재료의 가공에 대하여 유리하다.

여기에는 실험실에서 제작한 Al-5.7% Cu 이원 합금(2000번계의 두랄루민에 가까운 성분) 및 실용합금 A 7075를 써서 반응용 압출 가공을 한 예를 보여 주고 있다. 두 재료 모두 응고 종료점과 응고 개시점까지 이르는 반응용 온도영역이 100℃ 정도로 넓기 때문에, 반응용 상태를 온도에 의해 제어하는 것은 용이하다.

빌렛 형태, 칫수 및 다이스 형상, 칫수를 Table 1에 제시하였다. 또 Al-5.7%Cu합금은 구조하여 제작한 환형 봉재를 절삭하여 빌렛을 만들 것이며 A 7075는 시판의 압출 봉재를 소정의 칫수로 절삭한 것이다. 여기서 주의해야 할 점은 빌렛으로 쓰이는 재료는, 미리부터 내부 조직이 구상화 처리된 재료가 아니고 덴드라이트 조직이나 열간가공 조직 또는 열간가공 조직이 남은 재료이지만, 필자 등의 연구에서는 이와 같은 재료에서도 반응용 상태를 유지하며 고상이 구상화하는 것을 확인하였다. 반응용 압출 가공을 하는데 고려해야

Table 1 Processing condition of semi-solid extrusion

	Case 1		Case 2	
	Billet Materials	Al-5.7%Cu Alloy		A7075
Processing	Die casting		Hot extrusion	
Dimension (mm)	φ 40-50 φ 40-25		φ 40-25	
Solid ratio φ / %	100~70		89	
Dies temperature	Same time heating about 520°C		Same time heating about 500°C	
Dies shape	Round bar		Pipe	
	Diameter / mm		8 10	
	B.L. / mm		8 10	
	Angle / °		180	
Extrusion ratio	16~140	24~80	16~400	24~80
Speed mm / min	about 45		about 37	

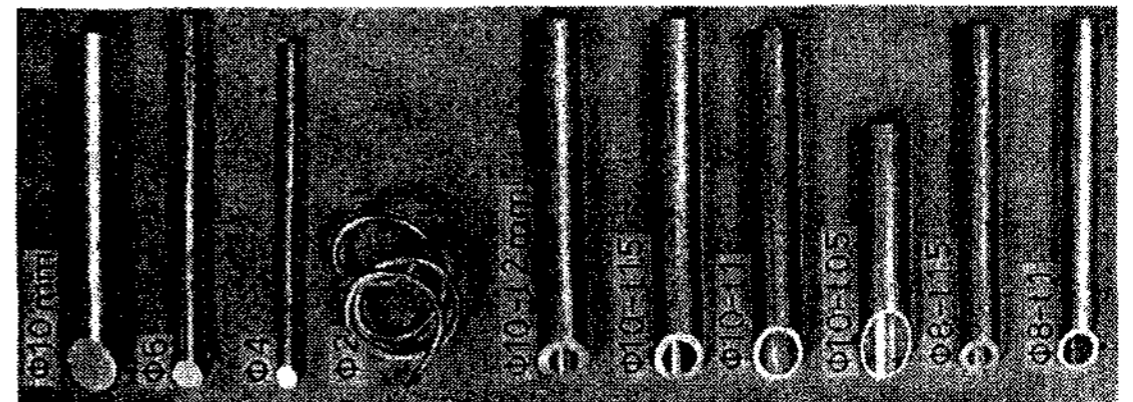


Fig. 3 Examples of semi-solid extruded A 7075

할 것은 (a)액상의 응고가 다이스 내에서 행해지는 것과 다이스면(베어링)부를 열간 압출한 가공에 비해 길게 할 것, (b)다이스의 온도 관리가 중요하여 다이스를 공랭되는 구조로 할 것, (c)빌렛을 콘테이너에 삽입할 때 빌렛의 온도 저하를 막기 위해 미리부터 빌렛을 콘테이너에 삽입해 두고 콘테이너 또한 일체에 가열한 것이다.

### (1) 제품성상

A 7075를 온도 549℃(고상률 약 90%)로 압출할 때, 제품의 예를 Fig. 3에 제시하였다. 직경 40mm의 빌렛에서 직경 2mm(압출비 400)의 선 또는 직경 10mm, 두께 0.5mm(압출비 107)의 얇은 두께가 1회의 반응용 압출 가공에 의해 제조하였다. 어느 쪽의 경우도 외표면은 평활하며 또 제품의 내부에 있어서도 공극들의 결합이 없이 양호한 제품으로 되었다.

### (2) 압출하중

반응용 압출 가공에서 압출 하중과 변위의 관계에 대한 예를 Fig. 4에 나타냈다. 피가공재료는 Al-5.7%Cu 합금이다.

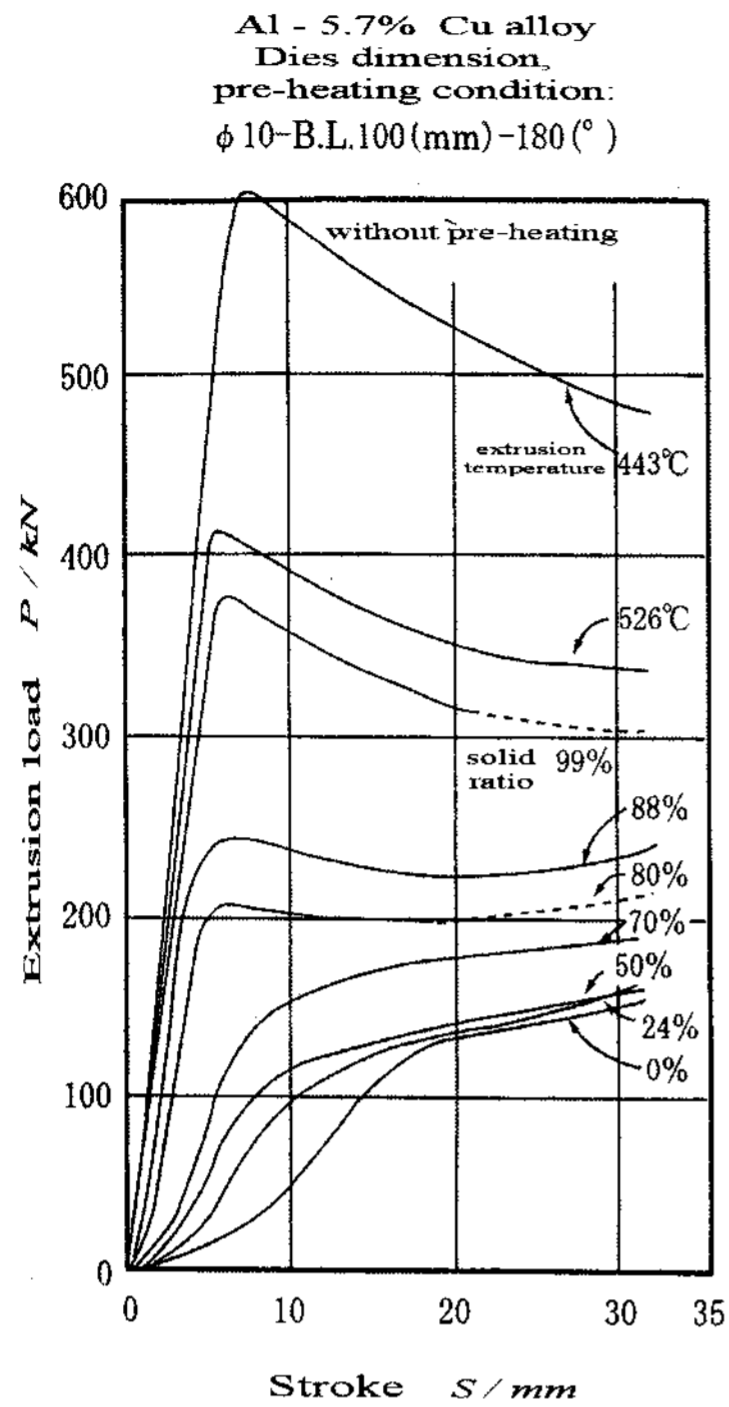


Fig. 4 Load and deformation of extrusion

Fig. 4에서 (a)통상의 열간 압출 가공의 하중에 비해 반응용 압출에서는 절반이하의 하중으로 압출되어진다는 것, (b)반응용 압출 가공으로 빌렛의 고상률이 대략 80% 이하에서 압출될 때 피크하중이 나타나지 않는 것 등을 알 수 있었다. 또, 빌렛 고상률이 50%이하의 압출의 경우에 피크하중의 일어나는 것이 늦어지는 것은 여분인 액상 성분이 먼저 압출되기 때문이며 또 고상률의 저하와 더불어 그 경향이 현저하게 된다. 이 결과는 피가공 재료가 다이스내를 통과 할 때 액상성분이 존재한다는 것을 제시하고 있다.

(3) 제품의 특성

Fig. 5는 압출 일어날 때의 빌렛의 고상률과 인장강도 및 연신율과의 관계를 나타낸 것이다. 피가공재는 Al-5.7% Cu합금이다. Fig. 5에서 (a)고상률이 낮은 압출 제품의 인장강도는 고상률의 높은 압출제품의 그것에 비해 약 3분의 1 정도로 된다.

(b)연신율에 관해서도 고상률의 높고 낮음에 관계 없이 20~30%의 범위이다. (c)단, 강도에 관해서는 다이스 온도의 영향은 둔감하지만 연신율에 관해서는 민감하며 다이스를 컨테이너(빌렛을 포함)에 붙여서 동시에 가열 하는 방법(다이스로의

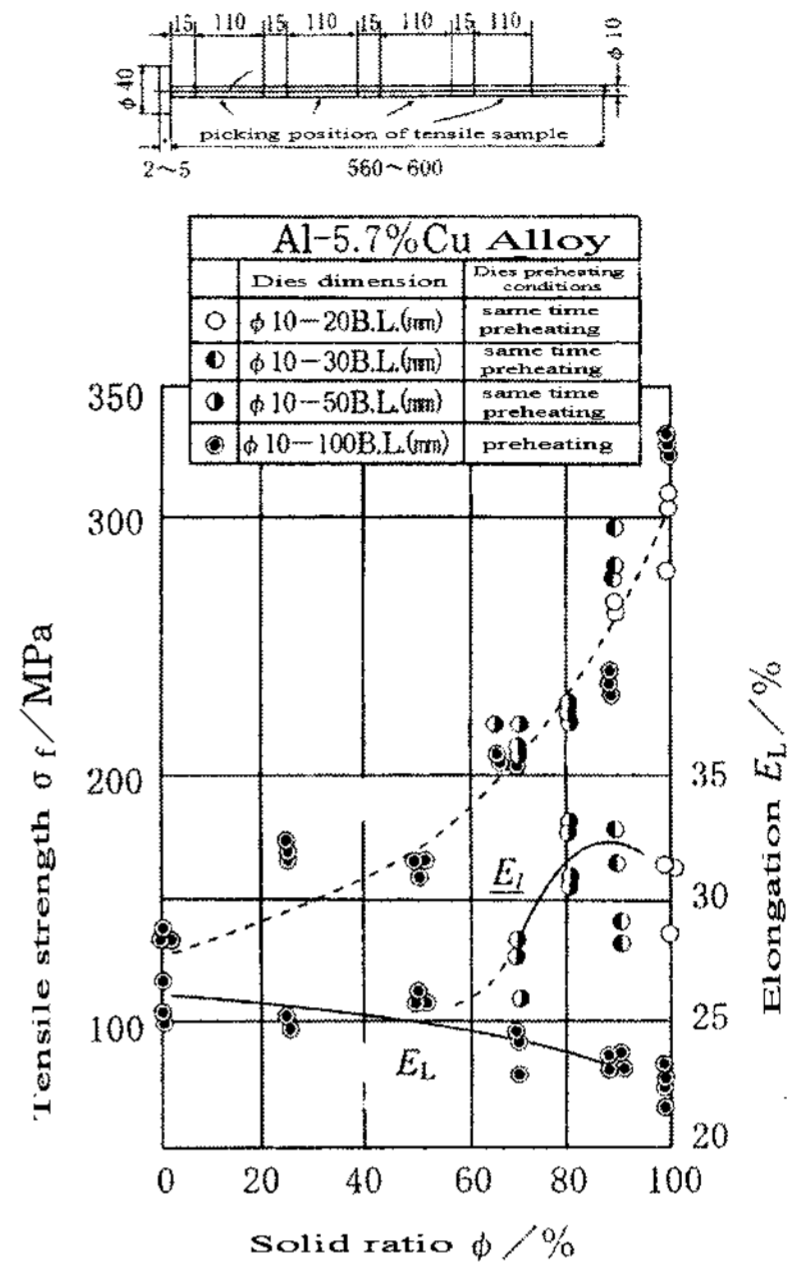


Fig. 5 Solid ratio, tensile strength and elongation

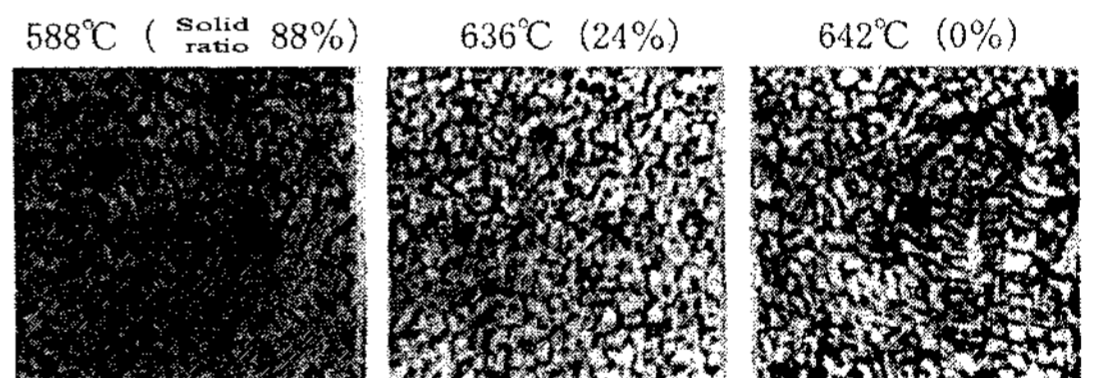


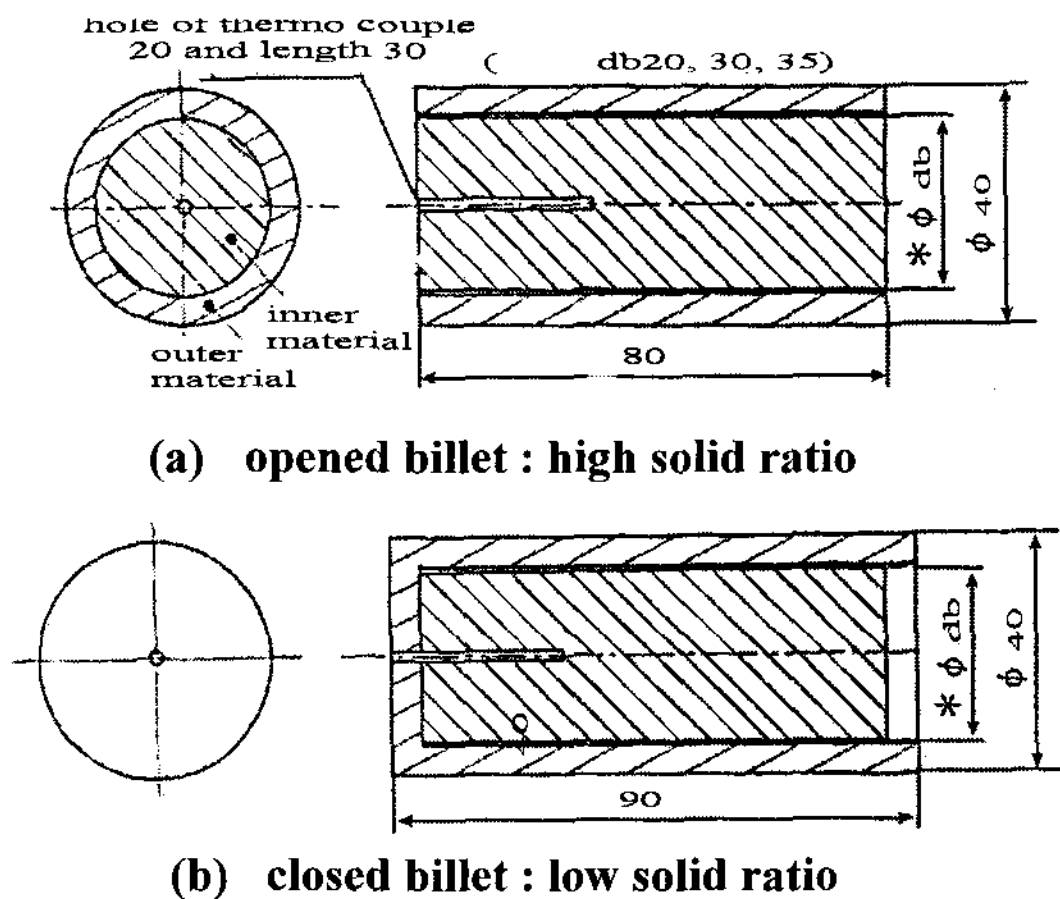
Fig. 6 Semi-solid extruded samples

재료의 냉각속도가 늦은)으로는 고상률의 저하와 더불어 연신율이 감소하는 경향을 보인다. 가열 중에 다이스는 컨테이너에서 떨어지게 되고, 컨테이너만을 가열하는 방법(다이스로의 재료의 냉각속도가 빠른)으로는, 고상률의 저하와 더불어 연신율은 오히려 기운 것이 약간 상승하는 경향을 나타낸다.

Fig. 6은 Al-5.7%Cu합금을 반응용 압출 가공한 제품의 횡단 중심부의 내부조직을 나타냈다. 반응용 압출가공에서는 결정립이 압출 방향으로 약간 늘어나는 이방성을 띠고 있으며 유사 결정립의 판별은 가능하고 냉간, 열간 압출 가공에 있어서 일반적으로 관찰 되는 정도의 섬유상조직의 발달은 보이지 않는다. 고상률이 0%의 압출에서는 중심부에 주조조직이 잔류하고 있다.

**Table 2 Condition of semi-solid extrusion of multi-layer Al rod**

Billet materials /	Outer material: A1050 Inner material: A7075, A5056, A2011
Dimension (outer diameter - inner diameter length / mm)	$\phi 40 - \phi 20 - 80$ , $\phi 40 - \phi 30 - 80$ , $\phi 40 - \phi 35 - 80$ 0.74, 0.44, 0.23
Solid ratio of inner materials at extrusion time $\phi / \%$	80~20 (A7075), 48~58 (A5056), 87~90 (A2011)
Dies dimension and temperature	$\phi 10$ -B.L. 100(mm)- $^{\circ}$ C, Preheating
Extrusion ratio $\lambda$	16, 25, 44
Speed mm/min	41.7~48.8 average 45.6

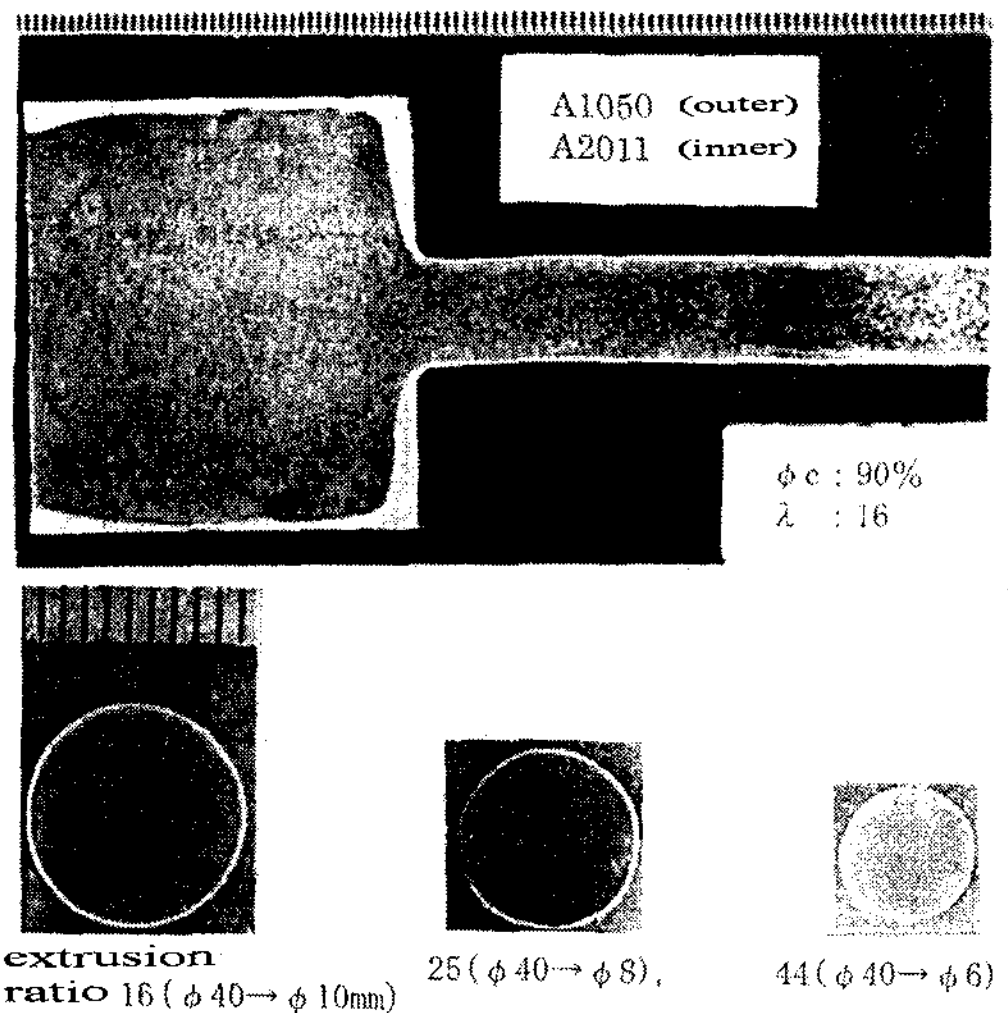


**Fig. 7 Dimension and shape of multi-layer and extrusion billet**

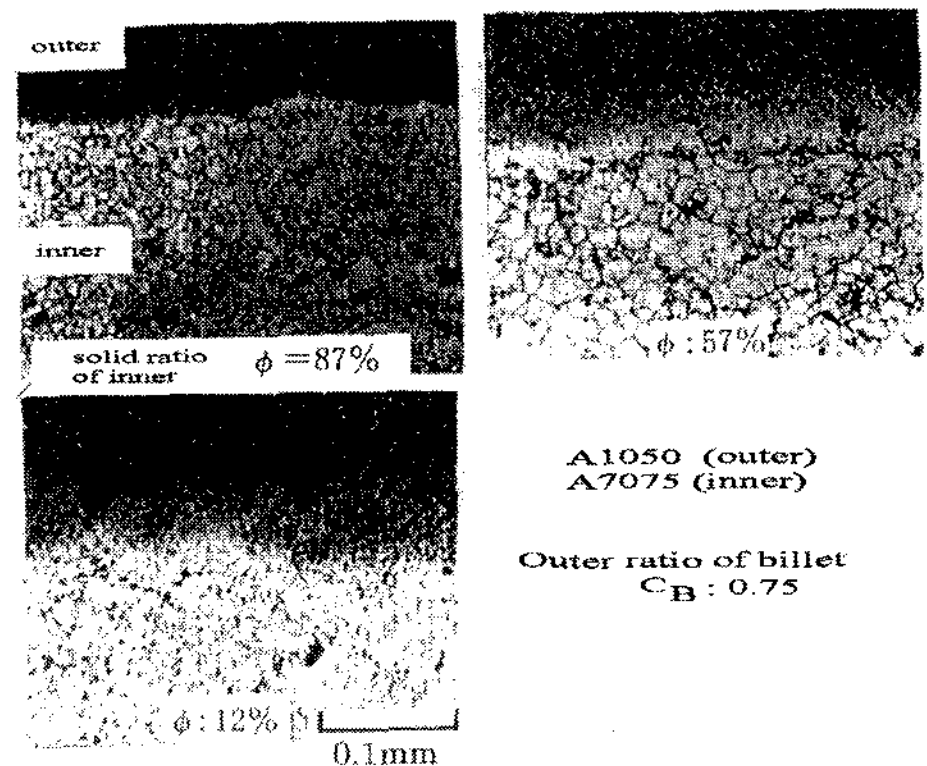
**3. 적층형 복합 봉·선재의 제조 [8~9]**

재질이 다른 알루미늄 합금끼리 동심원상에 적층시키는 복합봉재의 제조는 냉간, 열간 압출 가공으로 행해지고 있지만 재질을 조합하기에는 제한이 있으며 극단적으로 재질이 다들 조합의 경우에는 가공이 되지 않는다. 본 절에서는 피복재에 순 알루미늄, 심재에는 고강도 알루미늄합금을 써서 심재가 반응용상태로 되는 온도로 압출 가공을 한다. 여기서 적층형 복합 봉재의 제조에 대해서 소개하였다. 구체적으로 A 1050를 피복재로 쓰고, A 7075, A 5056, A 2011를 심재로 썼다. 재료의 조합은 내식성이 뒤떨어지는 A 7075, A 5056 및 A 2011에 대해서 A 1050를 피복하는 것으로 표층부의 내식성의 개선을 목적으로 하였다.

빌렛은 (a)피복재로 되는 원통상의 A 1050에 심재가 되는 중실환봉의 알루미늄 합금을 단순하게 끼워 넣어 제작한 것과, (b)피복재가 되는 A 1050의 용탕에 소정의 칫수로 사상한 심재의 알루미



**Fig. 8 Section of composite rod**



**Fig. 9 Interface microstructure of composite rod**

늄 합금을 침적하여 그것을 선반가공으로 완성하여 제작한 것을 쓴다. 어떤 경우도 빌렛 상태에서는 심재와 적층재를 간단하게 벗길 수 있는 가벼운 접합이 된다. 박육의 피복재 빌렛을 제작하는 경우에는 (b)를 이용했다. 또 심재의 고상률을 낮게한 압출의 경우에는 피복재와 같은 재질로 된 밑의 빌렛을 썼다. 빌렛의 형상, 칫수를 Fig. 7에 그리고 실험조건을 Table 2에 제시하였다.

빌렛의 피복을 또는 제품의 피복을 정의를 피복재 단면적을 전단면적으로 나눈 값으로 나타냈다. 또 피복재로 쓴 A 1050은 심재로 쓴 각 알루미늄합금 보다 용점(용융개시온도)이 높기 때문에 금번의 실험에서는 항상 고상상태로 되었다. 재료의 조합 방법으로 피복재가 반응용 상태, 심재가 고상상태로 또는 피복재가 반응용 상태이고 심재



가 고상상태 또는 피복재도 심재도 양재료 다같이 반응용 상태라고 해도 좋다.

Fig. 8은 피복재가 A 1050, 심재가 A 2011, 빌렛의 압출비가 각각 16( $\Phi 40 \rightarrow \Phi 10\text{mm}$ ), 25( $\Phi 40 \rightarrow \Phi 8\text{mm}$ ), 44( $\Phi 40 \rightarrow \Phi 6\text{mm}$ ), 반응용 압출 가공한 제품의 단면을 제시하였다. 원주 방향으로 균일한 두께로 피복된 것을 알 수 있다.

Fig. 9는 피복재 A 1050, 심재 A 7075, 빌렛의 피복율이 0.75, 압출 때의 심재의 고상률에 각각 87%(약 563°C), 57%(약 620°C), 12%(약 632°C), 반응용 압출 가공한 제품의 피복재와 심재의 계면근방에서의 조직 표시한 것이다. 고상률의 저하의 효과와 같이 경계가 확연하게 구분되어 있지 않는다. 이는 계면을 통하여 심재와 피복재의 재료사이에서의 상의 확산이 활발하여 계면에 있어서의 양자의 접합이 양호 하게 되어 있다는 것을 표시하고 있다.

적층형 복합봉재의 제조에 있어서 안정한 압출가공을 하기 위해서는 빌렛의 피복률과 제품의 피복률 등이 같아 지게 되는 것이 중요한 조건이 된다. 그 때문에, 심재와 피복재와의 변형저항을 같은 정도로 합칠 필요가 있으나, 금속의 반응용 상태는 온도에 의해서 재료의 변형저항을 크게 변화 시킬 수 있어서, 심재와 피복재의 변형저항을 같은 정도로 합치기 쉬운 특징이 있다.

#### 4. 입자강화복합봉재(PRM)의 제조[8, 10, 12, 27]

금속재료나 세라믹스 재료 등의 단일재만으로는 기능과 가격에 제약이 있으며 가지가지인 사용형태에 적합하지 않는 경우가 나오게 된다. 예를 들면 자동차의 강도와 경량화의 문제 등은 상반되는 특성으로서 단일재로 보충한다는 것은 곤란하다.

이러한 문제를 해결 하기 위해서 다른 기능을 갖는 재료끼리 복합화가 시도되고 있으나, 모두 다른 재료를 복합화하는 것은 주조법에서도 용이하지 않다. 또 가령 제조 되었다 하여도, 금속과 세라믹스가 복합되었을 때 재료를 필요한 형상, 치수로 가공 하는 것은 곤란하다. 반응용 압출 가공은 입자강화 복합재료의 제조와 그 가공에 극히 유력한 수단이 될 수 있다.

본 절에서는, 세라믹스 입자가 금속(합금) 매트릭스 안에 균일 그리고 고농도(수십 %)로 함유하

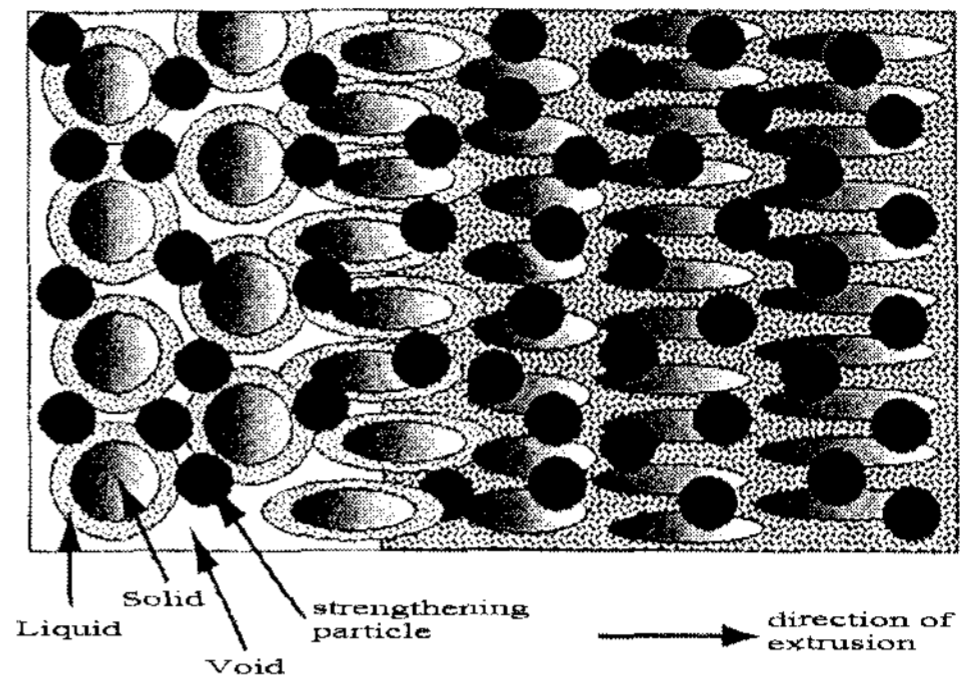


Fig.10 Deformation and flow of particle strengthening composite rod in dies

는 봉, 선재의 제조 예를 소개하였다. 금속 소재(매트릭스재)로 하여 A 7075, A 5056, A 2011 분말을 쓰고 강화입자에는 입경이 #60~ #1500의 알루미나 분말을 썼다. 제조법은 (a)실온에서 금속분말과 알루미나입자를 혼합하여 (b)빌렛 형상으로 압출 성형하고 (c)컨테이너에 삽입하여 (d)금속을 반응용 온도에 까지 가열하여 압출하는 방법이다. 소재는 금속분말을 사용하기 때문에 통상의 냉간, 열간가공에서는 소결과정이 필요하게 되지만 본 방법으로는 금속의 반응용 상태를 이용하여 가공하기 때문에 소결이 불필요하다. Fig. 10은 반응용 압출가공에 있어서 다이스내에서의 재료를 복합화한 모양을 모식적으로 제시한 것이다. 즉 (a) 다이스 입구 근방에 있어서는 강도입자와 액상을 동반한 금속 분말이 있으며 아직 가공초기의 단계를 위해서 공극도 존재한다. (b)액상은 가공의 진행과 더불어 공극에 진입하여 다이스에서 냉각을 받아 가압 응고 된다. (c)동시에 고상도 가공되어 전신되며, (d) 다이스 출구에서는 공극은 없고 강화입자, 고상, 원래의 액상이 일체로 되어 압출하게 된다는 것을 제시하고 있다. 이하, 반응용 압출가공에 의해 제조된 입자강화복합체의 특성에 대하여 제시하였다.

Fig. 11은 본 제조법에 의해 얻어진 입자강화복합 선재의 하나의 예이다. Fig. 11과 같이 표면 광택이 있는 건전한 복합선재가 1회의 반응용 압출가공에 의해 용이하게 제조된다.

Fig. 12는 샬피 충격시험 후의 파면의 SEM관찰 결과를 제시한다. Fig. 12는 [A 5056+알루미나 입자(#60, Vp 20%)] 복합 봉재의 예로, 강화입자가 매트릭스 금속 중에 묻혀 있는 모양과 연성파괴 특유의 매트릭스 금속의 덩플 파면이 관찰 된다.

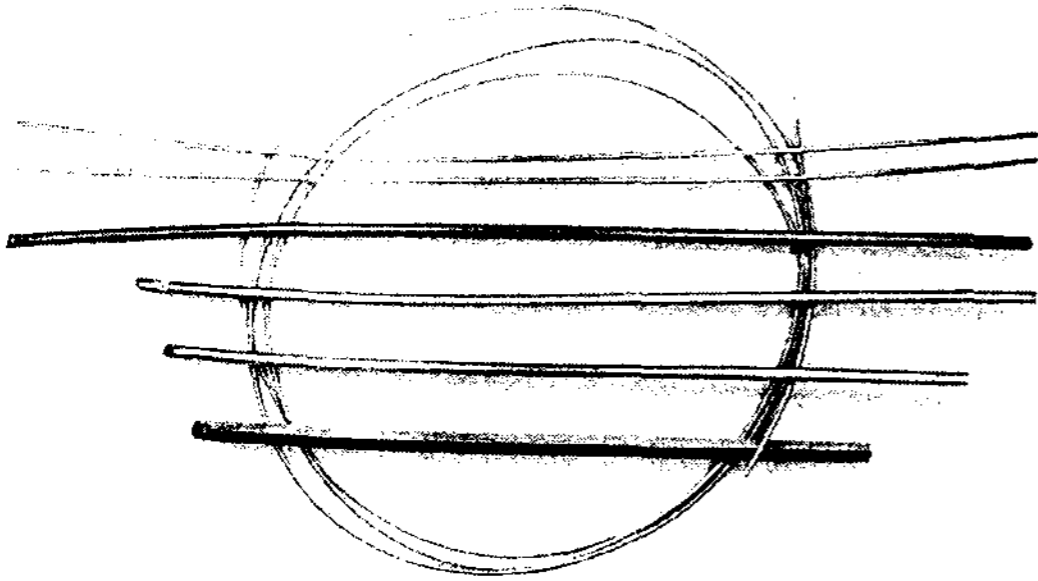


Fig.11 Examples of particle strengthening composite bar

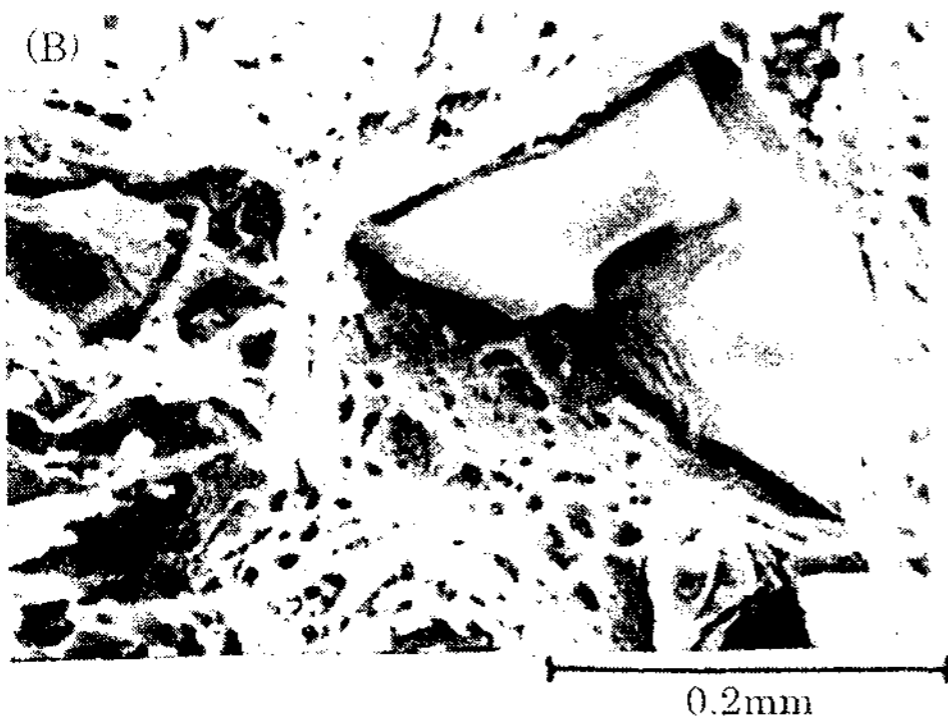


Fig.12 Fractograph of particle strengthening composite bar

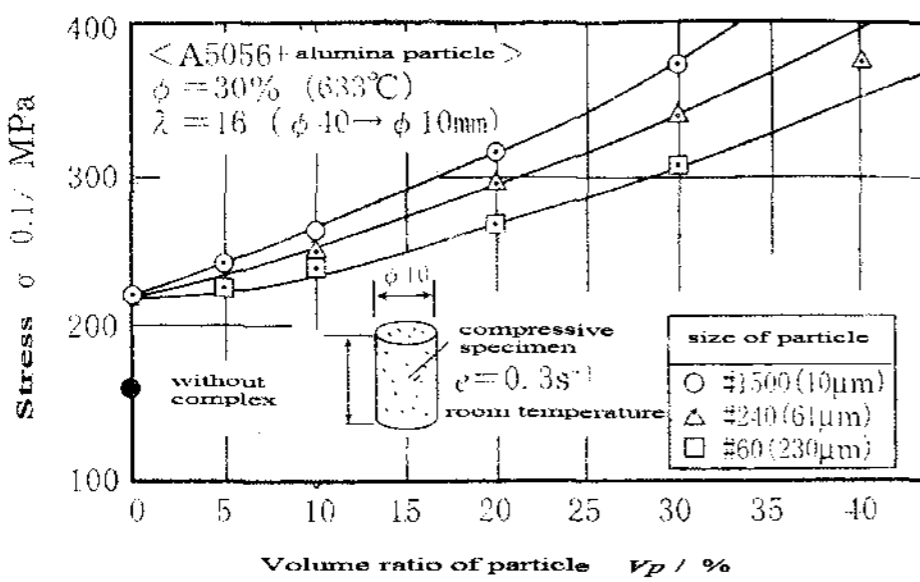


Fig.13 Stress and particle volume ratio of particle strengthening composite bar

Fig.13은 압출한 제품을 고온에서 압출변형 저항(10%진변형률시의 진응력)과 강화입자의 함유율과의 관계를 제시하였다. 강화입자의 함유량이 증가하는데 따라서 변형저항도 높아진다. 작은 강화입자가 함유된 복합재료 일수록, 동일한 함유에 있어서 높은 변형저항을 나타내고 있다.

압축 시험온도가 300℃, 450℃의 온도에도 강화입자가 함유되어 있는 복합재료는 함유하지 않는 경우와 비교하여 상응하게 높이 증가되는 것을

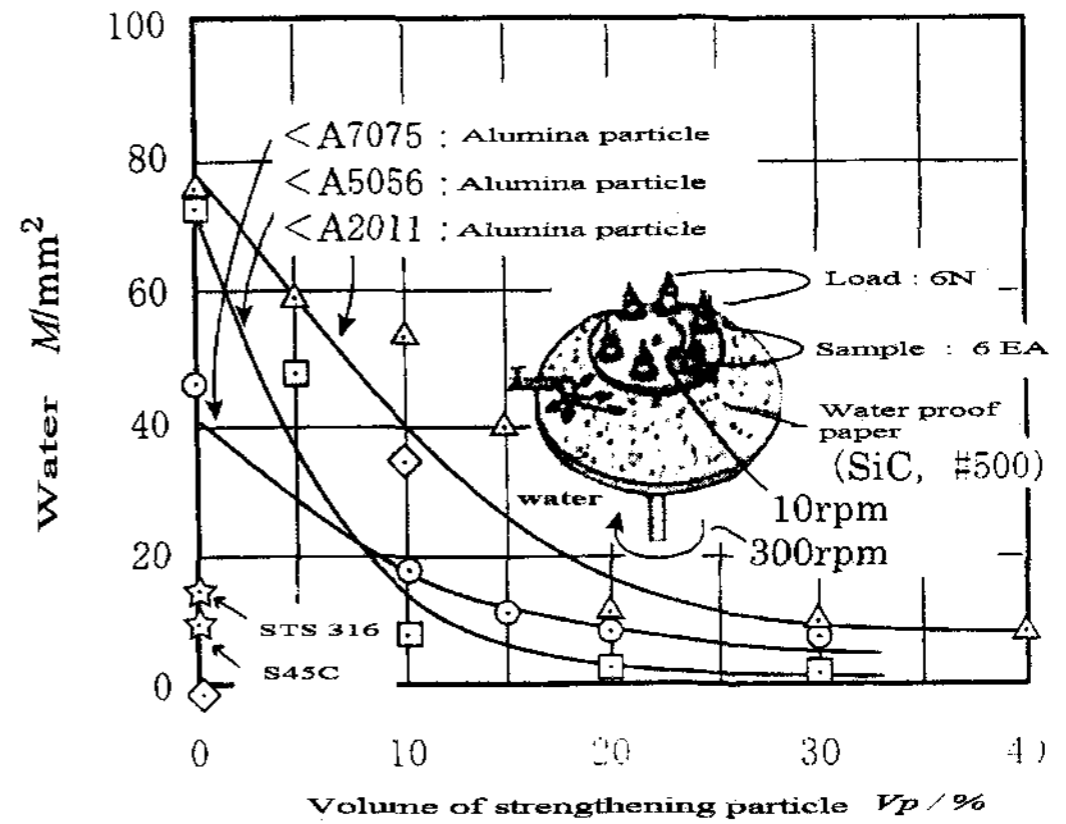


Fig.14 Wear and volume of strengthening particle composite bar

	A5056 (single) $\phi = 50\%$ (626℃) $\lambda = 16$ ( $\phi 10 \rightarrow \phi 10$ )
	< A5056 + alumina particle #1500 > $V_p = 0\%$
	5 %
	10 %
	20 %
	30 %
	A5056 + alumina particle #145 40 %

Fig.15 Bending and particle volume ratio of particle strengthening composite.

확인하였다.

Fig. 14는 알루미늄기 입자강화 복합 봉재의 마모량과 강화입자의 함유량과의 관계를 나타낸 것이다. 강화입자의 함유량이 10%정도의 복합재료는 철계합금인 S45C와 STS 304로서 거의 같은 내마모성을 나타내고 있다. 이것은 입자강화 복합재료가 Fig. 13의 특성결과 결합하여 내열강도부품 또는 내마모성부품으로서 이용할 수 있다는 것을 보인 것으로 이용이 크게 기대된다.

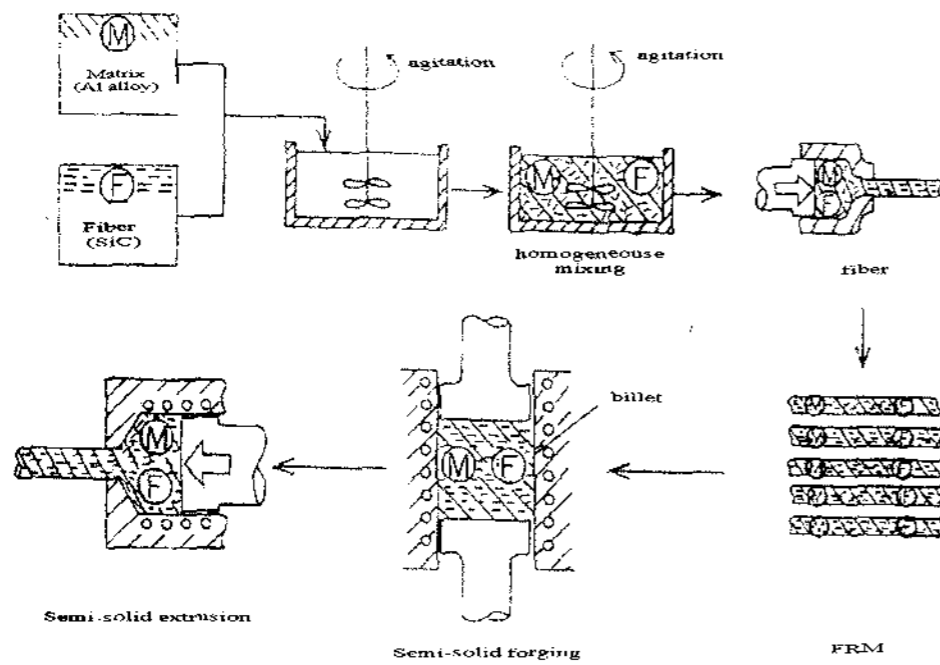


Fig.16 Processing flow chart of SiC fiber reinforced strengthening composite bar

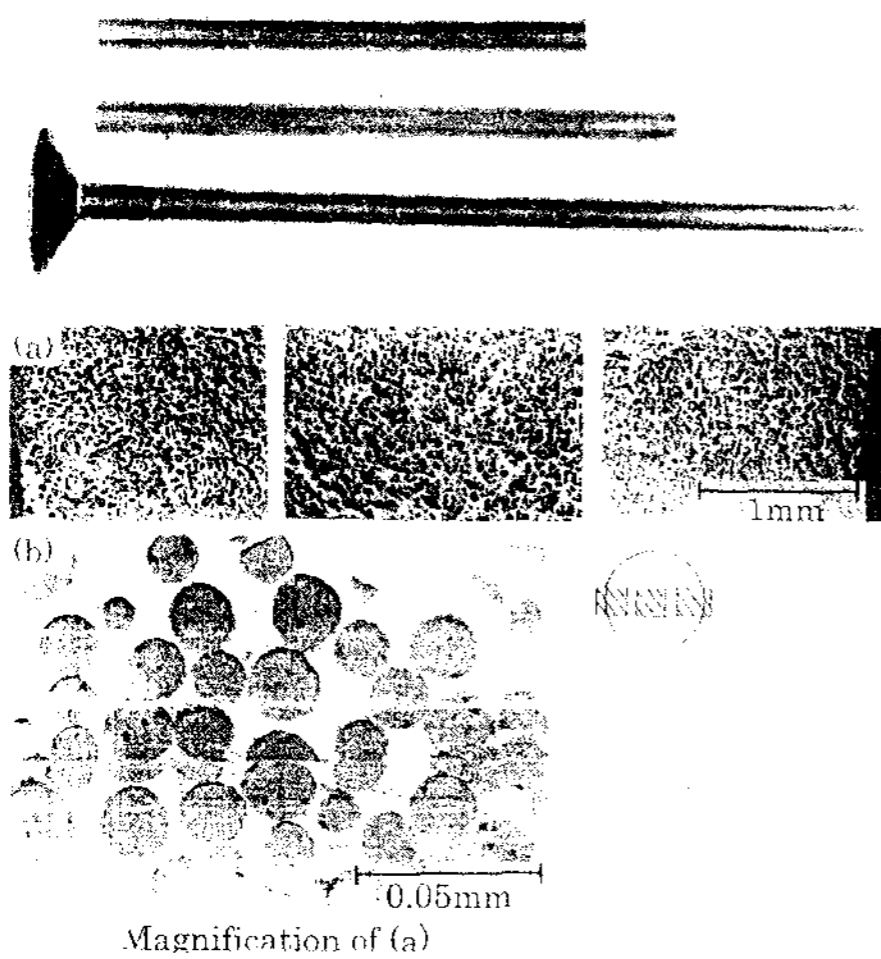


Fig.17 Examples of SiC fiber reinforced strengthening composite bar and microstructure

Fig. 15는 샐피 시험결과를 강화입자의 함유율과 굽힘상태와 대비하여 본 것이다. 강화입자의 함유율의 증가에 비례하여 복합재료의 굽힘, 파단강도가 좋은 대응관계가 있음을 보이고 있다.

위의 서술한 일련의 특성시험의 결과는 예상대로이며, 따라서 반응용 압출 가공에 의한 입자 강화복합재료의 제조가 안정적으로 이루어진 것을 보여주고 있다.

### 5. 세라믹스 섬유강화복합봉재(CFRM)의 제조[15, 17, 18, 29]

탄소단섬유를 섬유재로 하여 알루미늄 합금을 매트릭스재로 한 섬유강화복합재료의 반응용 가공에 의한 제조법에 대하여 이하에 알아 보았다.

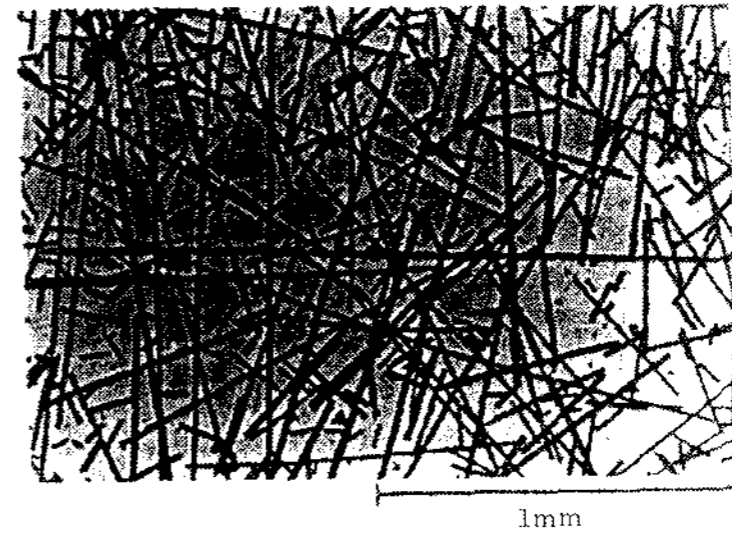


Fig.18 Microstructure of SiC fiber reinforced strengthening composite bar

본 제조법은 (a)CFRM의 제작, (b)CFRM 소재(빌렛드)제조 (c)CFRM의 가공의 3행정에서 구성된다 (Fig. 16). 구체적으로는 매트릭스 금속 A 5056 분말(#200)을 쓰고 강화섬유에는 탄화규소(SiC) 단섬유(직경 약 $\phi$  0.015mm 길이 약 3mm)로 썼다. 일반적으로 어스펙트비가 60~70 이상의 단섬유는 섬유상(모옥상)으로 되어 있으며, 그 대로의 상태에서는 매트릭스 금속분말과 섬유가 균일하게 분산한 혼합체를 얻는 것이 불가능하다. 그래서 본 실험에서는 330cSt 정도의 점도 용매 중에 이 탄화규소 단섬유를 침적하여 섬유가 손상 안될 정도로 가볍게 교반하는 것에 의하여 먼저 섬유상을 풀어 넣었다. 다음에 이것에 매트릭스 금속분말을 소량 혼입교반하여 혼합물로 제작하여 연신법에 의해 단섬유를 한방향으로 정렬하면서 봉상으로 성형한 CFRM을 제작했다. 다음에 얻어진 봉상 CFRM을 가열하고 용매 제거 후에 소량을 밀폐 단조금형내에 정렬 충전하여 반응용 단조를 하고 원주상의 조밀한 CFRM 소재(빌렛)를 제조했다. 다음에 상술한 원주상CFRM 소재(빌렛)를 다시 매트릭스 금속재의 반응용 온도까지 가열하여 반응용 압출 가공을 하고 봉, 선, 판상의 CFRM 제품을 제조했다.

Fig. 17은 제조된 봉재의 외관 및 제품횡단면에 있어서의 섬유의 분포상태를 보인 것이다. 섬유간에는 매트릭스 금속이 사이(간격)를 만드는 일 없이 침입하여 섬유는 단면전체에 고밀도로 또 균일하게 분포하며, 뿐만 아니라 압출방향으로 정렬 배열되어 있었다.

Fig. 18은 동제품의 중앙부 부근을 잘라내어 매트릭스 금속을 약품으로 녹여내고 세라믹스 섬유만을 밀어낸 결과를 보인 것이다. Fig. 18에서 100전 후의 분율비를 갖는 섬유가 많이 관찰되지만 이것은 당초 예상한 대로 빌렛의 상태에서 일방

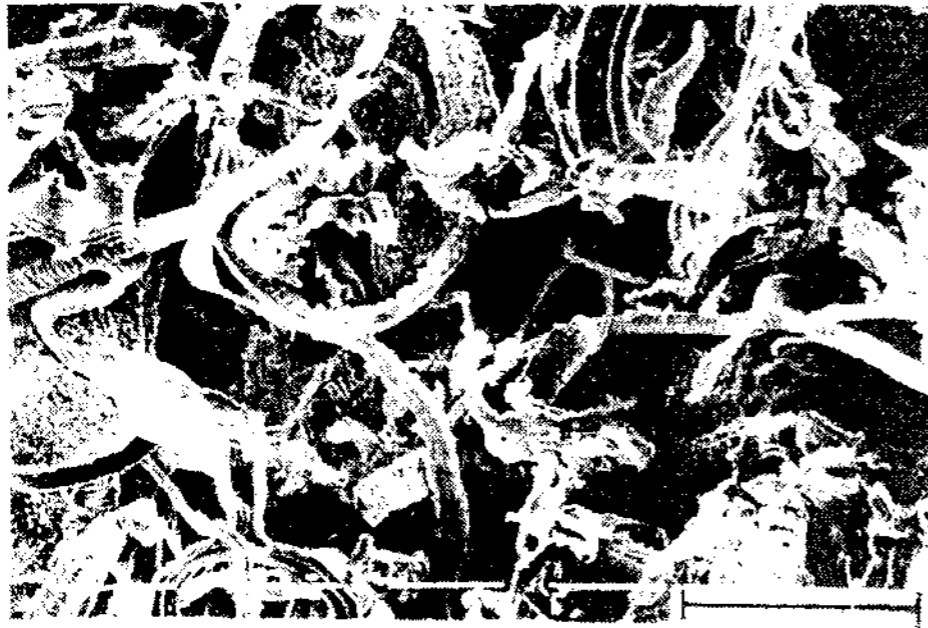


Fig.19 Shape of Ti fiber

향으로 정렬한 섬유가 매트릭스 금속의 유선에 따라 밀려 나왔기 때문에 손상이 비교적 경미했다는 것을 나타내고 있다. 이 100 전후의 분율비는 단순모델에 의해 산출한 섬유강화를 유효하게 하는 한계분율비의 수십배 큰 값으로 되고 섬유의 분율비만으로 CFRM 재의 강도가 결정된다면 충분히 좋은 결과이다.

## 6. 금속섬유강화 복합봉재(MFRM)의 제조[13, 20]

본 절에서는 반응용 압출법에 의한 금속섬유강화 복합재료(MFRM)의 제조의 가능성을 찾을 목적으로 알루미늄합금 중에 Ti단섬유를 분산시킨 Ti단섬유강화 복합봉재의 제조에 대하여 서술하였다.

매트릭스재에는 2, 3의 알루미늄 합금분말을 쓰고 섬유재에는 Ti단섬유를 사용했다. 이 Ti단섬유는 Ti원판을 절삭가공할 때의 절삭분으로 얻어진 것으로 길이방향으로 구부러 초승달모양으로 단면형상을 갖고 있다(Fig. 19참조). 또 매트릭스에 쓴 각 금속분말 및 Ti단섬유를 사용하는데 있어서 표면처리를 행하지 않았다.

제조법은 (a)실온에서 금속분말과 Ti단섬유를 혼합하여 (b)빌렛형상으로 압분성형하고 (c)콘테이너에 삽입하여 알루미늄합금의 반응용 온도에서 압출한 방법이다.

얻어진 MFRM 제품의 일례를 Fig. 20에 보였다. 압출비가 100(φ40→φ4mm)의 환봉, 압출비 약 13의 두께 5mm, 폭 20mm의 구형 단면봉, 또는 압출비 약44의 외경지름 10mm, 안 두께 1mm의 관 등 표면 광택이 있는 건전한 봉, 선, 관을 용이하게 제조할 수 있었다.

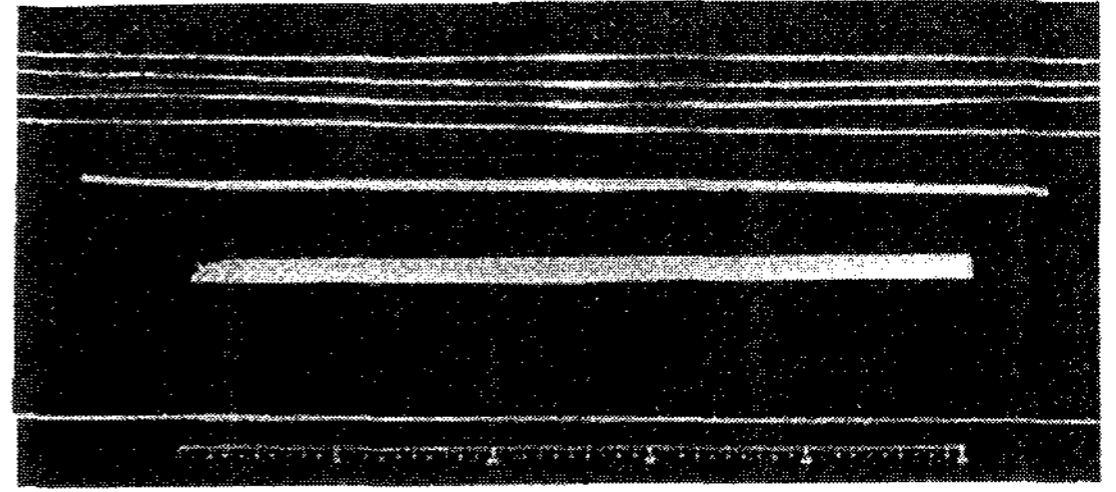


Fig.20 Examples of Ti fiber strengthening composite

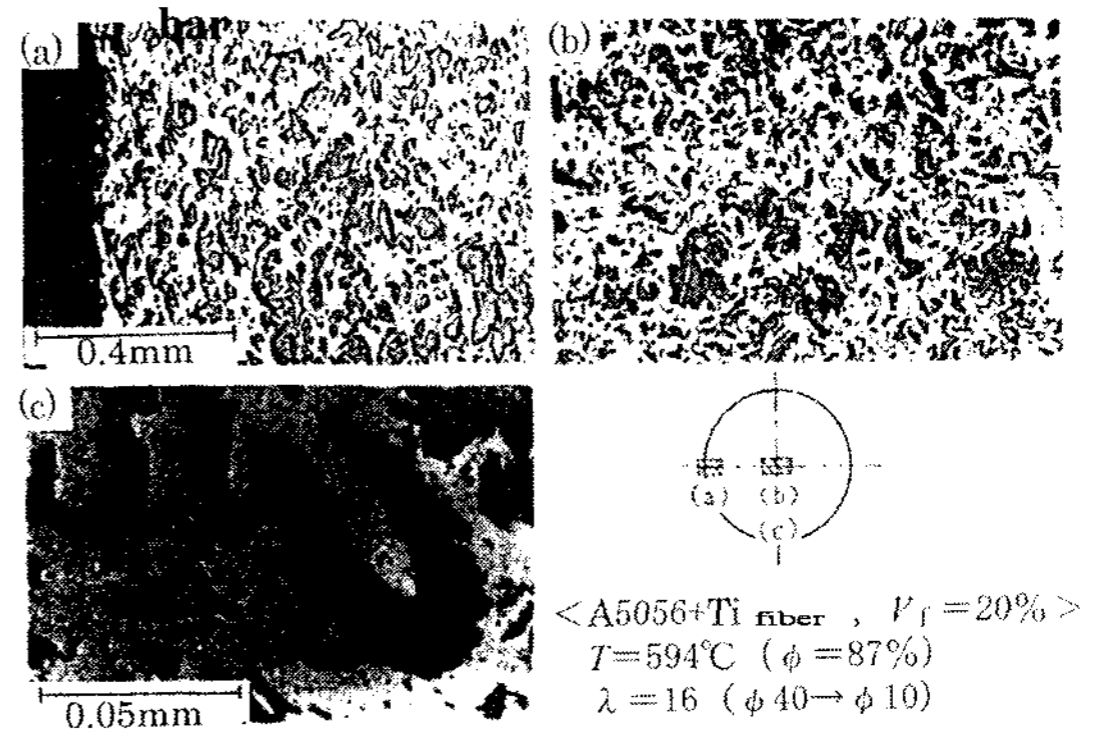


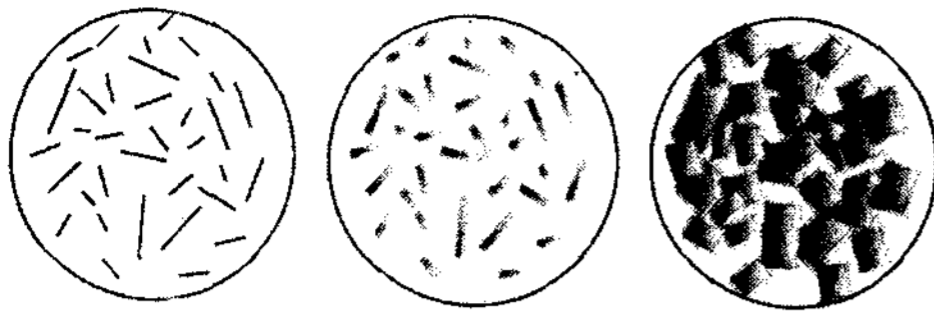
Fig.21 Microstructure of Ti fiber strengthening composite bar

A 5056+Ti 단섬유복합봉재의 Ti 단섬유의 함유율이 20% 제품의 내부조직을 Fig. 21에 표시하였다. Fig. 21에서 단면전체를 Ti섬유가 분포하고 있는 모양을 알 수 있다. Fig. 21(c)는 매트릭스재와 Ti섬유의 모양을 확대하여 표시한 것이다. 요철이 있는 복잡한 형상을 갖는 Ti단섬유임에도 관계없이 매트릭스 금속재가 구석구석까지 충만하고 있는 모양이 관찰된다.

A 5056+Ti단섬유복합봉재의 기계적특성(신율, 종탄성계수, 경도, 마모량)은 Ti섬유의 함유율의 증가에 비례하여 경도나 탄성계수는 높아지고, 마모량이나 연신율은 낮아지고 복합층에 따라 Ti의 특성에 가까워지는 것을 확인했다.

또 본 예에 표시한 바와 같이 알루미늄 합금과 Ti는 내열성, 내마모, 고강성, 저열팽창성 등의 기계적 특성에 뛰어난 복합재료로 되지만, 그 밖에도 Ti를 조합하여 재료에 의해 Ti/Nb합금의 초전도성, 철/Ti 합금의 수소흡장성, Ti/Ni 합금의 형성기억이라고 하는 특수기능 복합재료의 모재로 쓰여지고 있는 것이 알려지고 있다. Fig. 22는 (a)되풀이하는 반응용 가공, 또는 (b)반응용 가공과 열처리의 조합에 의해 첨가금속과 매트릭스 금속과





**Fig.22 Shape of added metal and matrix metal after repeated semi-solid extrusion process**

점점 합금화해 가는 모양을 모식적으로 표시한 것이다. 이와 같이 확산을 이용한 합금화에 의한 특수기능 복합재료의 제조에 관해서도 반응용 가공의 적용이 크게 기대된다.

## 7. 결 론

본 강의에서는 반응용이기 때문에 달성 가능한 주조알루미늄 합금을 사용한 압출가공에 의한 제조의 몇 가지를 소개했다.

반응용 압출 가공의 장점으로서 (a)가공기계, 설비의 소형화 (b)난가공재료에 적용 (c)금속 용탕에서 연속 일관제조의 가능성, (d)각종 복합재료의 제조의 가능성을 얻을 수가 있다. 그것에 대하여 결점은 (a)가공중의 액상과 고상의 흐름의 억제곤란, (b)공구 등 온도관리의 곤란을 지적할 수 있다.

금속의 반응용 상태는 고상과 액상의 두 상이 있기 때문에 제어의 곤란함을 동반하지만 연구 노력에 따라 반응용 압출의 백태는 꿈이 아니다.

## 참 고 문 헌

[1] 福岡新五郎, 木内學 : 昭 48 塑加春講論, (1973), 249-252.  
 [2] 福岡新五郎 : 24回 塑加連講論, (1973), 433-436.  
 [3] 浅技敏夫, 吉川昌範, 津田英明 : 機講論, 42-360(1976), 2632-2642.  
 [4] 浅技敏夫, 吉川昌範, 大藤俊洋 : 上同, 42-363(1976), 3662-3668.  
 [5] 吉川昌範, 大藤俊洋, 浅技敏夫: 上同, 44-381(1978), 1763-1769.  
 [6] 木内學, 福岡新五郎, 新井樽男 : 塑性の加工, 18-199 (1977), 633-640.  
 [7] 木内學, 彭山僂雄, 新井樽男 : 塑性の加工, 上同, 20-224(1979), 826-833.  
 [8] (財)綜合鑄物 center, 先端金屬材料調査委員會 (調査部會) : 先端金屬材料開發調査報告書(IV)

半熔融加工, (1982), 1-122.  
 [9] 木内學, 彭山僂雄 : 塑性の加工, 23-248(1982), 700-707.  
 [10] 木内學, 彭山僂雄 : 上同, 23-260(1982), 915-923.  
 [11] Tara, M.A.& El-Mahallawy, N.A. : Advanced Technology of Plasticity, (1984), 50-55.  
 [12] 木内學 : アマタ技術, 15-6(1986), 1-20.  
 [13] 木内學, 彭山僂雄 : 塑性の加工, 29-326(1988), 279-285  
 [14] 関口秀夫, 彭山僂雄, 木内學, : 昭63塑加春講論 (1988), 171-174.  
 [15] 木内學, 彭山僂雄, 楸崎尚濊, 星野佑作 : 塑性の加工, 30-346(1989), 1524-1531.  
 [16] 木内學 : 生産研究, 42-6(1990), 19-326.  
 [17] 木内學 : 上同, 42-8(1990), 32-40.  
 [18] 木内學 : 材料技術, 9-6(1991), 211-216.  
 [19] Sherif, D.&El-Wakil : The Int. J. Powder Metall, 28-2(192), 175-182.  
 [20] 豊島史郎 : 44回 塑加連講論, (1993), 663-665.  
 [21] 豊島史郎 : 平6塑加春講論, (1994), 451-454.  
 [22] 木内學, 柳本潤, 福島傑浩 : 上同, (1994), 447-450.  
 [23] 三輪謙治, 小林慶三, 西尾敏幸, 金益洙 : 165回 塑性ンポテキスト, (1995), 81-90.  
 [24] 森本英樹, 上谷保裕 : 47回塑加連講論, (1996), 45-46.  
 [25] 森本英樹, 上谷保裕 : 平9塑加連講論, (1997), 403-404.  
 [26] 森本英樹, 上谷保裕 : 48回塑加連講論, (1997), 403-404.  
 [27] Kiuchi, M.& Sugiyama, S. : Proc.1st Int'l Conf. On the Processing of Semi-Solid Alloys and Composites, (1990).  
 [28] Secordel, P., Valette, E. & Leroy, f. : Proc. 2nd Int'l Conf. On the Processing of Semi-Solid Alloys and Composites, (1992), 306-315.  
 [29] Kiuchi, M. & Sugiyama, S.: ibid.,(1992), 382-389.  
 [30] Kiuchi, M. & Sugiyama, S.:Proc. 3rd Int'l Conf. On the Processing of Semi-Solid Alloys and Composites, (1994), 245-257.  
 [31] Laplante, S., Legros, N., Ajersch, F., Clement, B. & Turenne, S. : Proc. 4<sup>th</sup> Int'l Conf. on the Processing of Semi-Solid Alloys and Composites, (1996), 301-305.  
 [32] Chastel, Y., Barlier, J., Bay, F., Lovato, G. & Bobadilla, M.:Proc. 5<sup>th</sup> Int'l Conf. on the Processing

- of Semi-Solid Alloys and Composites, (1998), 257-264.
- [33] Hwang, J. H., Ko, D. C., Kim B. M., Choi, J. C. & Min, G. S.: *ibid.*, (1998), 291-298.
- [34] Abdelfattah, S., Robelet, M., Rassili, A. & Bobadilla, M. : Proc. 6<sup>th</sup> Int'l Conf. on the Processing of Semi-Solid Alloys and Composites, (2000), 283-288.
- [35] Miwa, K. & Kawamura, S. : *ibid.*, (2000), 279-281.
- [36] Kiuchi, M., Uanagimoto, J. & Yokobayashi, H.: *ibid.*, (2000), 507-513.
- [37] Doi, Y., Uetani, Y., Yamazaki, T. & Himi, K. : Proc. 7<sup>th</sup> int'l Conf. on the processing of Semi-Solid Alloys and Composites, (2002), 771-776.
- [38] Sueda, H., Uetani, Y., Takagi, H., Matsuda, K. & Ikeno, S.: *ibid.*, (2002), 777-782.
- [39] Rouff, C., Bigot, R., Favier, V. & Robelet, M.: *ibid.*, (2002), 355-360.
- [40] Sugiyama, S., Li, J. & Yanagimoto, J.: Proc. 8th Int'l Conf. On the Processing of Semi-Solid Alloys and Composites, (2004), Session 07.
- [41] Robelet, M., Demurger, J., Rassili, A., Fischer, D., Klemm, H., Walkin, B., Karlsson, M. & Cucatto, A.: *ibid.*, (2004), Session03.
- [42] 杉山 澄雄, 柳本潤, 郭哲朗, 向四海: 機講論(1), (205), 727-728.