

# 반용융재료의 제조 및 부품성형공정

강 충길

부산대학교 정밀기계공학과

## Fabrication of Semi-solid Materials and Components forming Processes

Chung-Gil Kang

Department of Mechanical and Precision Engineering

Pusan National University

Pusan, 609-735, Korea

### ABSTRACT

The semi-solid metal forming for vigorously agitated semi-solid alloys has been widely studied over the last decade. Metal forming processes are now being developed using alloys in the semi-solid state, among them are rolling, forging, extrusion, and die casting. Some of these are now employed commercially to produce a components and are also used to fabricate metal matrix composites. The semi-solid materials can be processed either directly during solidification and for this purpose mechanical stirring was demonstrated to produce a highly solidification. This paper is concerned with the influence of processing parameters on limitations of semi-solid forming.

Key Words : Semi-solid materials, Extrusion, Rolling, Forging, Die casting,  
Solid fraction

### 1. 서 론

최근, 경량화 및 난가공재를 이용한 부품 성형공정에 있어서 원소재로부터 직접 최종형상에 가장 가까운 부품을 성형하는 반용융가공법은 에너지 절약, 응용범위의 확대 및 공정단축 등의 측면에서 많은 관심의 대상이 되고 있다<sup>(1)~(7)</sup>. 반용융가공법은 용융상태의 금속을 냉각도중 기계적으로 교반을 하여 수지상정을 파괴시킨다음 압연, 압출, 단조, 용탕단조 및 다이캐스팅 등에 의하여 부품 및 판재를 제조하는 공정

으로써 주조와 단조공정이 결합된 복합공정이다.

반용융금속을 이용한 가공공정에 관한 최근의 연구동향으로써 C.Yoshida 등<sup>(8)</sup>은 Al-Cu합금을 이용하여 단조를 행하여 유동현상과 조직을 관찰하였다. 고상을 0.6%의 소재를 이용하여 빠른속도로 단조를 행한 결과 제조된 시편에서 구상 고상입자가 관찰되었으며, 전체적으로 균일한 조직을 갖는다고 보고하였다.

S.B.Brown 등<sup>(9)</sup>은 반용융상태의 재료의 불규칙한 유동은 온도와 고상에 의해 영향을 받으며, 다이에 채워지는 상태는 스러리의 응고현상과 유동이 복합적인 요소로 작용한다고 하였다. P.Kapranos 등<sup>(10)</sup>은 고용점합금을 Thixoforging법으로 실험을 행하였다. 부분적으로 재료를 용융시켜 수지상정이 없는 조직으로 만들어 단조를 함으로써 다른 공정에 의해 제조하는 것에 비해 양호한 제품을 생산할 수 있다고 하였다. A.Tietmann 등<sup>(11)</sup>은 알루미늄합금을 재료로 하여 Thixoforging법에 의하여 단순한 형상과 복잡한 형상의 제품을 제조할때, 응고과정중에 큰 정수압을 작용시킬 수록 더 양호한 재질의 제품을 제조할 수 있었다고 보고하였다. S.D.E.Ramati 등<sup>(12)</sup>은 Al6061 합금과 A356합금을 반용융상태로 제조한 후 단조를 행하여 결합이 없는 등방성 조직을 가진 컵형상의 제품을 제조하였다. 단조공정시 다이의 온도분포를 측정하여 다이의 열전특성을 조사하였고, 다이와 부품 사이의 열전달계수를 측정 하였다. 압연공정에 관한 연구로써 Miyazawa-Szekery<sup>(13)</sup>는 직접압연공정에서 액상과 고상의 유동장과 열전달을 해석하기 위하여 유한차분모델을 제안하였다. Clyne-Garcia<sup>(14)</sup>, Pimputkar-Cabonara<sup>(15)</sup>등은 해석적 방법에 의하여 응고셀의 프로파일을 계산하여 그 결과를 2차원 유한차분법에 의해 해석한 결과보다 실험치에 잘 접근한다고 보고하였다. J.A.Burgo 등<sup>(16)</sup>은 로울과 응고셀사이의 열전도계수 및 로울의 냉각수량에 의한 열전도계수를 일본철강업계의 보고서와 Bethlehem의 주조실험 데이터를 바탕으로 하여 경험식으로 제안하였다.

鹽見誠規 등<sup>(17),(18)</sup>은 용탕의 열전도해석과 압연해석을 행하여 온도분포와 압하력을 계산하였으나 유동장에 의한 대류항을 고려하지는 않았으며, 응력-변형을 속도 관계식의 계수 및 속도민감성지수를 액상, 고액공존상과 고상으로 나누어 적용하여 압하력을 정확히 구하지는 못하였다. 佐成弘毅 등<sup>(19)</sup>은 용탕과 로울을 연계하여 열전도해석과 압연해석을 하였으나, 로울은 용탕과 접촉하는 일부분만을 고려하였다. 또한 용탕의 응고해석에서 유동장에 의한 대류항을 정확히 고려하지 않고 상변환만을 고려하여 해석을 행하고 실험을 통하여 측정된 결과와 비교하였다.

A.A.Tseng 등<sup>(20)</sup>은 실험과 열전도해석을 통하여 로울의 냉각시스템에 관하여 연구하였다. 로울의 냉각방식에 따른 로울온도제어가 로울의 마모 및 스펙링(spalling)발생에 큰 영향을 미치며, 로울의 회전에 의한 주기적인 열응력 및 파단응력을 완화시키기 위해서는 로울전체를 균일하게 냉각시키는 것이 바람직하다고 보고하였다. 백남주 등<sup>(21)</sup>은 반용융재료의 압연실험과 상계법에 의한 압하력을 예측하였으나, 압연중 로울의 온도분포의 측정 및 고상을 고려한 응고해석은 하지 못하였다. 반용융재료를 이용한 압출공정은 입자강화형 금속복합재료의 연구가 대부분이고, 다이캐스팅법에 적용한 예는 아직 초보단계이다.<sup>(22)-(25)</sup>

이상의 연구동향에서 살펴본 바와 같이 용융금속의 재료로부터 반용융재료자체를 제

조하는 공정이 대부분이고, 제조되어진 반응용재료를 금형에 정량적으로 주입하여 제품을 연속적으로 만드는 단계는 초기단계이다. 특히 국내의 부품 제조회사는 용탕단조법에 의하여 주조용합금의 부품을 일부 제조하고 있지만 구조용 AI재료를 이용한 단조공정은 실용화 단계에 이르지 못하고 있다. 압연공정의 경우 완전용융상태의 금속을 주입하여 실험을 행하거나 이론해석을 한 결과가 대부분이며 반응용금속을 이용한 직접압연공정의 실험 및 이론해석에 대해서는 보고되지 않고 있다. 금형의 형상, 재질, 수명 및 금형의 냉각성능등을 고려한 연구가 향후 수행되어야 할것이다.

## 2. 반응용가공의 특징 및 문제점

용융상태의 금속을 응고시키는 도중 Fig.1에서 보여주는 바와같이 강력한 교반을 가함과 동시에 고상과 액상이 미세하게 공존하는 상태를 만들어 직접 성형을 하면 가능한 최종상태의 제품에 가깝게 부품을 만들수 있기 때문에 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

### (1) 가공공정의 설계, 장치, 제작 및 조업 등에서의 잇점

- 피가공재의 변형저항이 현저하게 적기 때문에 적은 하중으로도 가공율을 증대시킬 수 있으며, 가공기계설비의 소형화가 가능하다.
- 피가공재의 유동성과 성형성이 양호하기 때문에 정밀정형 제품을 제조할 때 기존의 소성가공 공정수보다 적게하여도 가공이 가능하므로 가공공정을 단축시킬 수 있다.
- 다이캐스팅 및 용탕단조법에 사용되어지는 용융상태의 재료보다 온도가 훨씬 낮기 때문에 금형, 공구에 가해지는 열적부하가 적고, 또한 금형, 공구의 수명을 연장시킬 수 있다.
- 용탕에서의 반응용재료를 거쳐 제품이 일괄적으로 생산되어지기 때문에 가공공정이 대폭적으로 감소되어 에너지절약 및 재료의 손실방지에 크게 기여할 수 있다.

### (2) 제품품질의 개선 측면에서의 잇점

- 용탕으로부터 냉각속도를 제어하면서 교반하여 반응용상태의 금속을 제조하기 때문에 결정입이 미세한 주조조직과 기계적성질이 우수한 제품을 제조할 수 있다.
- 단조시 편석이 없는 균질한 제품을 얻을 수 있을뿐만 아니라, 압력 및 냉각속도의 제어에 의하여 결함과 기공이 없는 성형품을 얻을 수 있다.
- 고상과 액상이 공존하는 상태에서 부터 냉각, 응고가 진행되기 때문에 반응용 가공 후 변형저항의 저하와 가공경화가 적은 후가공성이 좋은 제품의 제조가 가능하다.

## (3) 신소재의 부품 성형측면에서의 잇점

- 반응용금속은 이종재료(금속분말, 세라믹분말, 섬유)와의 접합이 용이하기 때문에 여러형태의 분산강화형 복합재료, 적층강화형 복합재료의 제조가 가능하다.
- 반응용재료는 강화재와의 접착성이 우수하기 때문에 단섬유 및 입자강화형 복합재료의 부품성형에 용이하다.
- 반응용금속의 유동성을 이용하면 강화재와 입자의 균일혼합이 용이하기 때문에 신소재 부품(금속복합재료 부품)을 고정도로 제조할 수 있으며, 또한 공정수를 단축시킬 수 있기 때문에 생산원가를 줄일 수 있다.

반응용재료를 이용하여 부품을 연속적으로 제조하기 위해서는 고상율이 제어되어진 재료를 금형에 주입하는 방법이 매우 중요하다. 반응용재료는 점성이 크기때문에 금형에 주입을 할 때 불규칙하게 주입이 되어 모울드내에 완전히 채워지지 못하므로 제조된 부품내에 기공이 존재하는 결함이 발생할 수 있다. 따라서 고상율을 높일 수록 재료의 점성이 커지므로 모울드내에 주입시 균일하게 주입할 수 있는 장치의 고안이 필수적이라 할 수 있다. 또한 재료의 온도를 제어하는 동안 지속적인 교반을 행하여 수지상정을 파괴하고 스러리가 전체적으로 일정한 고상율을 유지하도록 하여야만 한다. 교반을 하는 동안 산화를 방지하여 전체적으로 균일한 교반이 이루어질 수 있는 교반장치를 제작하여야 한다. 주입하는 반응용금속의 고상율, 가압력, 가압속도, 가압시간, 다이온도 등은 제조된 제품의 기계적성질에 영향을 미치므로 양호한 제품을 제조할 수 있는 최적 공정변수를 설정하여야 한다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여는 실험 및 이론적 연구를 수행하여 장치설계에서부터 조업조건의 결정에 이르는 전공정에 걸친 실용적인 해석방법이 필요하다. 반응용가공기술에 의하여 부품을 제조하기 위해서는 다음과 같은 3가지 문제점이 해결되어야 한다.

- (1) 반응용금속의 연속적 제조기술
- (2) 반응용금속을 금형에 일정한 양으로 주입하는 이송기술
- (3) 반응용금속의 성형공정(압연, 단조, 압출, 용탕 단조, 다이캐스팅)의 최적화

위의 3가지 문제점 중 반응용금속의 연속적 제조기술은 기계적 및 전자기적 교반과 냉각속도의 적절한 제어에 의하여 실험실 규모로 제조하고 있지만, 실험장치에 사용되어지는 재료의 선정, 고상율(Solid fraction)의 연속적인 제어등에 관한 문제점은 앞으로 꼭 해결되어야 실용화가 가능하다. 부품을 대량으로 제조하기 위하여 반응용재료를 금형에 일정하게 주입하는 이송기술에 대한 연구결과는 아직 발표되고 있지 않기 때문에 필히 연구되어야 할 분야이다.

또한 반응용가공기술은 압연, 압출, 단조, 용탕단조 및 다이캐스팅 등과 같은 기존의 가공방법을 이용하여 부품제조를 시도하려고 하고 있지만 액상과 고상이 동시에 공존하는 상태이기 때문에 기존의 소성가공법과 차이가 있으며, 구성방정식의 도출에서부

터 실험까지 많은 기초적 연구가 필요하다.

### 3. 반용용 재료의 제조 및 가공기술

용탕으로부터 원하는 고상율을 가진 반용용 금속을 일정한 속도로 연속적으로 제조하기 위하여 일반적으로 다음의 방법등이

- (1) 기계적 교반법 + 제어 냉각법
- (2) 전자기적 교반법 + 제어 냉각법
- (3) 기계, 초음파 진동법 + 제어 냉각법

이용되어지고 있지만 그 중 일반적으로 많이 연구되고 있는 기계적 교반 기술에 대하여 서술하고자 한다.

교반장치를 설계할 때 토오크( $N_T$ )의 예측은 일반적으로 다음식에 의하여 구한다.<sup>(26)</sup>

$$N_T = \eta_a \cdot 4\pi r^2 L \Omega / \{ \alpha (1 - \beta^2) \} \quad (1)$$

$\eta_a$  : 점도                       $\alpha$ : 계수(1.1)  
 $r$  : 교반봉의 반경,         $L$ : 교반봉이 반용용재료에 잠기는 길이  
 $\Omega$  : 회전수                     $\beta$ : 교반봉반경/교반용기의 반경

교반장치를 설계할때 반용용금속의 점도 및 유동변형 특성을 정량적으로 측정하여야 한다. 액상금속은 일반적으로 뉴우튼 유체로 가정하지만, 반용용 영역에서는 비뉴우튼 유체로서 취급해야 하기 때문에 전단응력( $\tau$ )을 다음과 같이 표기할 수 있다.<sup>(27)</sup>

$$\tau = B \left( \frac{du}{dy} \right)^n \quad (2)$$

$du / dy$  : 전단속도,  $B, n$  : 재료특성

이 경우 레이놀즈의 수  $Re$ 는

$$Re = \frac{d^2 N^{2-n} \rho}{B} \quad (3)$$

교반날개와 교반용기를 고려한 수정레이놀즈 수 ( $Re'$ )는

$$Re' = \frac{d^2 N^{2-n}}{B} \left( \frac{H}{h} \right)^n \cdot \left( \frac{d_s}{d_s + D} \right) \quad (4)$$

$H$  : 반용용금속의 깊이,  $h$  : 교반날개의 깊이,  $D$  : 교반용기의 직경,  
 $d_s$  : 교반날개의 크기,  $N$  : 회전수,  $\rho$  : 밀도,  $d$  : 교반봉의 외경

각종 모델실험에 의하여 교반에 필요한 동력(P)은 다음과 같이 주어진다.

$$P = \frac{1}{g_c} \cdot 160(R_e') A^{n-1} \rho d^5 N^3 \quad (5)$$

$g_c$  : 계수,  $A$  : 실험정수 ( $\approx 50$ )

AISI 440C재에 대한 B, n 의 값을 구하기 위하여 실험결과에서 고상율이 0.4~0.56의 범위에서 냉각온도가 0.35, 0.55 °C/S 의 2종류에 대하여 B, n을 위에서 설명하는 식을 이용하여 구한 결과 다음을 얻었다. <sup>(28), (29)</sup>

고상율 (fs)	냉각속도 C · R (°C/S)	B	n	Re'	P(kW)
0.4	0.35	85.781	0.7102	6569	43.8
	0.55	82.941	0.7852	6231	61.9

용융금속을 전자유도에 의하여 교반하는 기술은 철강산업의 연속주조 공정에 널리 이용되고 있다. 그 사용목적은 조직의 동축정화, 최종응고영역에서의 편석방지, 주형 내의 응고벽 두께의 불균일방지, 표층부의 비금속개재불저감, 주형으로부터의 방열량 향상 등을 열거할 수 있으나, 용융금속의 중앙부에서의 교반효과가 현저하게 떨어지기 때문에 고상율이 일정한 반응용금속을 제조하기 위해서는 전단력을 충분히 크게 해야 한다. 자계를 발생할 수 있는 전자교반장치는 대형이어야 하기 때문에 설비비가 많이 소요된다. 이와같은 유도전자교반의 결점을 보완하기 위하여 Winter<sup>(30)</sup> 등은 회전자계와 같은 장치를 제안하고 있다. 이와 같은 장치는 이미 연속주조한 방법에는 응용이 되고 있지만, 반응용상의 금속을 제조하여 공업적으로 활용하기에는 아직까지 그 기술이 확립되어 있지 않다.

#### 4. 반응용금속의 성형공정

##### 4-1 압연공정

압연공정은 현재 연구가 활발히 진행되고 있는 strip casting<sup>(31)-(36)</sup>의 성형법과 유사하며, Fig.2에서 보여주는 바와 같이 반응용금속으로부터 열연강판 및 냉연강판을 직접 제조하는 공정으로써 로울 사이에 주입하는 금속의 주입온도를 낮춤으로써 로울에 발생하는 열응력 및 열피로현상을 감소시킬 수 있기 때문에 열피로 및 열응력의 완화에 의해 로울의 수명을 연장시킬 수 있다.

두 개의 회전하는 로울에 의하여 판재를 제조하는 경우 로울내의 응고상태는 Fig.3(a)에 표시한 바와 같이 응고완료점의 위치  $\alpha$ 에 따라 판재의 제조가능성이 결정되어지기 때문에 로울의 온도 및 속도 변화에 따른 로울간격내의 응고제어 등이 극히 중요하다.

반응용금속을 로울 폭 방향으로 균일하게 분산시키기 위한 Fig.3(b)의 분산장치 및 노즐모양은 제품의 재질 측면에서 해결되어야 할 기술이다. 또한, 작업 중 로울 끝단

부와 측면 가이드 사이에 재료의 액상부분이 유출되지 않도록 하기 위한 side flow cover의 설계는 극히 중요하다.

반용용상태의 금속으로부터 연속적으로 양호한 판재를 제조할 수 있는 공정인자들 (고상율, 로울의 회전수, 로울의 간격, 탕면높이, 재료의 주입방법, 로울의 냉각 방법) 사이의 관계가 정량적으로 규명되어야 자동화가 가능하다. 조업이 계속되어짐에 따라 로울의 온도가 상승하기 때문에 두개의 회전하는 로울사이에 채워지는 반용용재료의 응고양상이 변화한다. 따라서 일정한 재질을 갖는 판재를 제조하기 위해서는 공정인자를 변화시켜 응고속도를 일정하게 유지하도록 제어하여야 한다. 반용용재료의 응고해석과 동시에 로울의 회전을 고려한 로울의 열전도해석을 통하여 로울의 냉각특성을 파악하여야 한다. 로울의 냉각방식에 따른 냉각특성을 조사하여야만 로울에 작용하는 열응력 및 열피로를 줄일 수 있는 로울재질의 선정 및 로울형상 설계가 가능하며, 냉각수 주입량 등을 결정할 수 있다. 연속적인 압연공정중 로울에는 열하중과 함께 압연력에 의한 로울변형이 복합적으로 일어난다. 이 때, 과도한 압하력의 작용은 전공정의 정지를 야기시키고 또한 로울에 심한 변형을 일으키는 요인이 된다. 따라서 압연특성에 영향을 미치는 응고거동을 정량적으로 예측하여야만 열하중과 압력에 견딜 수 있는 로울설계가 가능하다.

판재성형시 제어대상으로써는 로울입구에서 소재의 고상율, 로울간격내에서의 재료의 고상율, 로울출구에서의 두께측정 및 제어 등이며, 이들 인자에 영향을 치는 요소는 반용용금속의 온도, 탕면에서 부터 로울 출구까지의 높이, 로울 속도 및 표면온도 등이다.

#### 4-2 단조공정

용탕단조법과 같이 단조공정은 일부 실용화되고 있고, 고합금강같은 난가공성 재료를 반용용금속으로 제조하는 정밀정형 기술은 아직까지 확립되어 있지 않다. 실용화의 확대를 위하여 금형내에 반용용 금속을 정량적으로 공급하기 위한 노즐설계기술과 성형시 재료가 균일하게 금형내에 충전 되게 하도록 다이온도관리가 중요한 과제이다. 반용용금속을 이용한 단조가공을 수행하기 위하여 Fig.4 에서 보여주는 바와 같이 금속의 온도를 제어하면서 교반을 행하는 교반부와 밀폐형다이 내로 주입하기 위한 주입부, 그리고 밀폐형다이와 다이내에 충전된 반용용금속을 가압하는 가압부로 구성되어야 한다. 알루미늄합금을 사용하여 교반중 산화를 방지하며 정확히 온도를 제어하여 교반하므로써 균일한 반용용금속을 제조할 수 있는 교반장치 및 온도제어장치가 중요하다. 또한 제조된 반용용금속을 다이내에 완전하게 충전시킬 수 있는 주입 장치의 모양을 결정하여야 한다. 반용용금속은 점성이 크기때문에 반용용금속의 자중에 의한 완전한 충전은 곤란하므로 교반모터의 구동력에 의한 강제적인 충진이 이루어지도록 장치를 설계하여야 한다.

또한 Upper Die 및 Low Die를 전체적으로 균일한 온도로 예열할 수 있는 가열장치의 설계제작, 모델재료의 실험을 통하여 다이내로의 반용용금속이 충분히 충전될 수 있도록 다이의 주입관을 제작하여야 하며, 이때 주입관은 온도가 임의로 제어할 수 있도록 하여야 한다.

반용용상과 고상의 경계를 시간에 따라 추정하여 완전히 응고가 되어지는 시간을

예측하며, 또한 시간의 변화에 따른 응고특성을 조사하여 가압력이 전체적으로 영향을 미칠 수 있는지를 고찰하여야 한다. 또한 다이에 충전되는 반응용금속에 의한 다이의 온도분포를 파악하여 과도한 온도상승이 일어나지 않도록 예열온도를 예측하여야 한다. 가공하중을 예측하기 위하여 고온변형저항에 대한 실험데이터를 축적하여야 하며, 최적단조조건을 확립하기 위하여 다음사항등이 고려되어야 한다.

- 성형가능한 고상온 범위와 금형온도사이의 관계,
- 단조조건(단조압력, 단조속도, 단조시간),
- 금형온도가 품질에 미치는 영향,
- 성형조건변화에 따른 재료의 흐름 특성파악,
- 공구의 최적유효재 선정,
- 단조조건이 부품의 이방성에 미치는 영향,

#### 4-3 압출공정

Fig.5에서 보여주는 바와 같이 압출공정은 비철 및 동합금의 봉재, 관재 등의 성형에 이용되고 있다. 종래의 빌레트 대신에 반응용금속을 호퍼를 통하여 컨테이너내에 공급하고, 스템의 가압과 동시에 다이를 통하여 원하는 부품을 성형하는 방법이다. 압출 공정에서는 고상온의 제어 때문에 컨테이너내에서의 온도제어가 무엇보다도 중요하며 다이의 온도제어는 결정입이 균일한 재질을 얻는데 특히 중요하다. 금속복합재료의 압출시 섬유 및 입자의 배열을 제어하기 위하여 반응용상태에서 제조되어진 압출용 소재를 고상선과 액상선 사이에서 가공할때 강화재의 파단을 방지하기 위한 다이설계가 중요하며, 기지재의 소성 유동과 강화재의 배향사이의 관계가 실용화의 측면에서 해결되어야 할 것으로 사료된다.

#### 4-4 다이캐스팅 공정

다이캐스팅공정은 이미 잘 알려져 있는 공정으로서 주조용 알루미늄 재료를 이용하여 부품을 제조하고 있다. 그러나, 기존의 업체들이 보유하고 있는 다이캐스팅기를 이

Table. 1 반응용금속을 이용한 가공공정에서 검토되어야 할 사항

압 연	단 조	압 출	다이캐스팅
반응용금속의 제조장치	반응용금속의 제조 및 주입장치	반응용금속의 제조장치	반응고금속의 제조장치
Nozzle 형태	금형입구의 형태	Hopper 설계	Hopper 설계
압연로울	프레스 사양	Main cylinder	사출실린더
로울가열장치	상·하금형 형상, 재질	stem 설계	슬리브
로울냉각장치	Nockout공정	컨테이너및라이너 온도	다이체결용 실린더
모터의 마력	금형가열장치	금형	금형
	금형냉각장치	금형가열장치	금형가열장치
	실린더의 사양	금형냉각장치	금형냉각장치



용하여 구리합금 및 구조용 알루미늄재료의 부품제조를 시도하고 있다.<sup>(37)</sup> 그 방법으로 Fig.6에서 보여주는 바와 같이 용융상태의 재료를 액상과 고상이 동시에 공존하는 상태로 제조하여 성형하는 방법등을 구상중이다. 이 때 슬리브 내의 온도제어와 금형의 온도제어 등이 가장 중요한 요소이다.

반용용금속을 이용하여 부품을 성형하고자 할때 가공설비의 사양은 제품의 모양과 생산량 등을 결정하는데 중요한 변수가 되므로 일반적으로 각 공정에 대하여 다음 사항을 반드시 고려하여야 한다.

## 5. 용 용

반용용금속재료를 이용하여 부품을 제조한 예는 국내에서는 찾아볼 수 없으나, Table.2 에서 제시한 잇점때문에 미국, 일본 및 유럽에서는 유압브레이크 벨브, 자동차용 wheel, 브레이크 master cylinder Electrical connectors, 자동차, 항공기 및 냉동기 등에 사용되어지는 valve bodies, copper alloy로 제조한 각종 plumbing parts 및 금속복합재료의 압출봉재 등이 실용화단계이며, 그 이외에 자동차 steering 및 suspension 시스템 부품, 각종 유압기기 및 연료분사부품 등이 개발되어 실용화되어 질 것으로 사료된다.

Table.2 반용용금속을 이용한 단조공정에서 Master Brake Cylinder의 제조에 대한 잇점<sup>(2)</sup>

Process	Aluminum Alloy	Mass as Formed, g	Finished Part Mass, g	Machining Loss, Pct	Production Rate Pieces per Mold per Hour
Semi-solid forming	357-T5	450	390	13	150
Permanent mold cast	356-T6	760	450	40	24

## 6. 결 론

반용용금속을 이용한 복합가공공정의 연구를 통하여 다음과 같은 기대효과와 제반 기술을 확립할 수 있을 것으로 사료된다.

(1) 반용용금속의 가공공정에 산재하고 있는 문제점을 파악하고 해결방안을 제시함으로써 난가공재료의 부품성형공정에 응용이 확대되어 질것으로 기대되어지며, 본 공정의 실용화에 의하여 소성가공이 어려운 부품성형의 측면에서 원가절감, 생산성의 향상 및 제품질의 개선 등과 같은 효과를 거둘 수 있을 것이다.

(2) 용탕법(다이캐스팅 및 용탕단조법)에 의하여 얻을수 없는 구조용 알루미늄계의 부품을 직접 성형할 수 있기 때문에 수송기계 부품의 경량화에 크게 기여하리라 예

상된다.

- (3) 초소성재, 금속간 화합물 기능재료(Ni<sub>3</sub>Al 내열재, NiAl 내열재, Ti-Ni 형상기억재, FeCo 자성재)의 Near Net Shape 부품 성형에 응용이 가능하다.
- (4) 반응용금속을 균일하게 제조하여 일정량을 금형에 주입할수 있는 장치를 개발 하므로써 직접압연, 압출, 단조 및 다이캐스팅등과 같은 가공법에 응용할 수 있기때 문에 금속복합재료의 부품제조공정에 널리 이용되어 질 것이다.
- (5) 항공기용 Al-C 섬유 복합재 부품, 가스터어빈 Ni-세라믹 복합재 부품의 성형 이 가능하며, 또한 향후 철강재료를 이용한 용탕단조공정에 응용이 가능할 것이다.
- (6) 재료의 교반 및 전단기술, 재료의 반송기술, 공구재료, 교반재료, 온도제어 및 발열제어기술 및 계측기술 등은 세라믹, 유리, 화학프란트 및 산업폐기물의 처리 등 많은 산업분야에 이용되어질 것으로 사료된다.

## 7. 참고 문헌

- (1)K.P.Young, Nature and Properties of Semi-solid Materials, pp.245-266, 1992, Pro. of Symp. Sponsored by the TMS Solidification Committee of Materials Design and Manufacturing Division, 1992 Annual Meeting, Ed. J.A.Sekhar and J.A.Dantzig
- (2)M.C.Flemings, Metall. Trans., 27A, pp.957-981, 1991
- (3)T.Z.Kattamis and T.J.Piccone, Nature and Properties of Semi-Solid Materials, Pulication of TMS, pp.69-89, 1992
- (4)S.D.E.Wakil, Advanced Technology of Plasticity, vol 1, pp.45-48, 1984
- (5)M.P.Kenny, J.A.Courtois, Metal Handbook, Ninth Ed., vol 15, pp.327-338
- (6)P.O.Charaeyron and M.C.Flemings, Int. J. Mech. Sci., vol 27, pp.781-791, 1985
- (7)M.Hirai, K.Takebayashi and Y.Yoshikawa, ISIJ, vol.78-10, pp.1538-1545, 1992
- (8)C.Yoshida, M.Moritaka, S.Shinya, S.Yahata, K.Takebayashi and A.Nanba, Int'l Conf. on the Processing of Semi-Solid Alloys and Composites, MIT, pp.95-102, 1992
- (9)S.B.Brown, P.Kumar and C.L.Martin, Int'l Conf. on the Processing of Semi-Solid Alloys and Composites, MIT, pp.183-192, 1992
- (10)P.Kapranos, D.H. Kirkwood and C.M. Sellars, Int'l Conf. on the Processing of Semi-Solid Alloys and Composites, MIT, pp.119-129, 1992
- (11)A.Tietmann, T.Bremer, G.Hirt and R.Kopp, Int'l Conf. on the Processing of Semi-Solid Alloys and Composites, MIT, pp.170-179, 1992
- (12)S.D.Ramati, G.J.Abbaschian, D.G.Backman and R.Mehrabian, Metallurgical Transactions B, Vol.9B, pp.279-285, 1978
- (13)K.Miyazawa and J.Szekely, Metallurgical Transaction A, Vol.12, pp.1047-1057, 1981
- (14)T.W.Clyne and A.Garcia, J. of Material Science, Vol.16, P.1643, 1981

- (15) S.M.Pimputkar, K.S.Cabonara, J.J.Pasment, L.Mecall and A.H.Claucer, Proc. 5th Int. Rapidly Quenched Metals Conf., P.95
- (16) Jonathan A. Burgo, Thomas J. Conarty and Joseph W. Hlinka, Iron and Steel Eng., pp.51-55, July 1990
- (17) 鹽見誠規, 森謙一郎, 小坂田宏造, 第42回塑性加工聯合講演會, pp.631-634, 1991
- (18) 鹽見誠規, 森謙一郎, 小坂田宏造, 平成43年度回塑性加工春季講演會, pp.631-634, 1991
- (19) 佐成弘毅, 井上達雄, 日本機械學會論文集(A編), 56卷 524號, P.310, 1990
- (20) A.A.Tseng, F.H.Lin, A.S.Gunderia and D.S.Ni, Metallurgical transactions A, Vol.20A, P.2305, 1989
- (21) 백남주, 강충길, 김영도, 대한기계학회 논문집 제15권 제2호, P.584, 1991
- (22) P.W.Jeffery and S.Holcomb, Proc. of Inf. Conf. on Fabrication of Particulate Reinforced Metal Matrix Composites, Montreal 17-19, Sept., ASM Inf. pp.181-186, 1990
- (23) M.Kiuchi, S.Sugiyama, Workshop for Mushy-state/Semi-Solid Metal Forming Technology The 3rd. ICTP July 2-4, 1990, Kyoto, Japan
- (24) R.M.Schini, Pro. Second Inf. Conf. Semi-Solid Alloys and Composites. Ed. S.B.Brown and M.C.Flemings, pp.336-345, 1992
- (25) F.A.Girot, L. Albingre, J.M.Quenisset and R.Naslain, Journal of Metals, Nov., pp.18-21, 1987
- (26) 添谷明彦, 鐵と鋼, 66-10, pp1550, 1980
- (27) 化學裝置設計資料 II, 別冊化學工業 1-6, 化學工業者
- (28) Spencer, P.B.Mehrabian, M.C.Flemings, Metall. Trans., 3, pp.1925, 1972
- (29) Young, K.P., M.C. Flemings, Solidification and casting of metals, 510, The metals Society
- (30) J.Winter, D.E. Tyler, M.J. Pryoz, U.S. Patent NO4229210(1980)
- (31) J.C.Yoon, D.G.Choo, T.Kang and Y.K.Shin, Int. Conf. on New Smelting Reduction and Near Net Shape Casting technology for Steel 14-19, PP.604-616, Oct. 1990, RIST, Pohang/Korea
- (32) S.D.Lee, C.G.Kang and Y.D.Kim, Advanced Technology, Vol.2, pp.829-834, 1990
- (33) T.Saitoh, H.Hojo, H.Yaguchi and C.G.Kang, Metall. Trans. B, 20B, pp.381-190, 1989
- (34) M.Cygler and M.Wolf, I&SM, pp.27-33, August 1986
- (35) Lee L. Teoh, Iron and Steel Engineering, pp.34-40, December 1988
- (36) Alan W.Cramb, I&SM, pp.45-60, July 1988
- (37) S.P.Casting, K.K.Wang and L.S.Turng, Proc. Second Inf. Conf. Semi-Solid Alloys and Composites. Ed. S.B.Brown and M.C.Flemings, pp.336-345, 1992

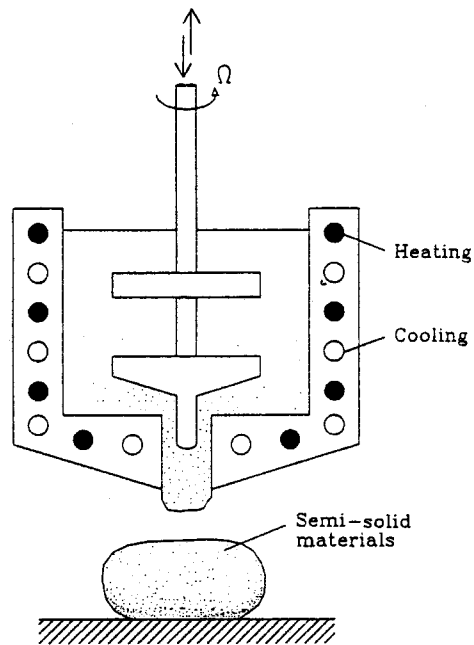


Fig.1 Schematic drawing of semi-solid materials fabrication equipment.

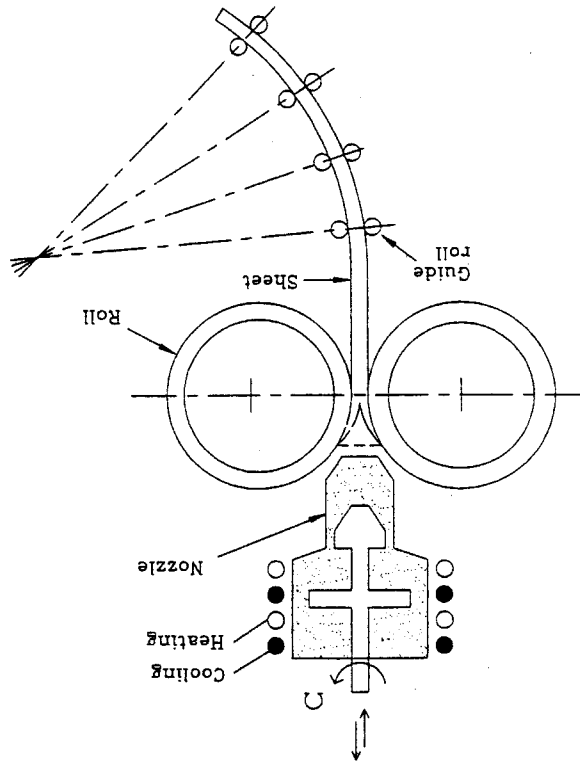


Fig.2 Schematic diagram of semi-solid rolling process

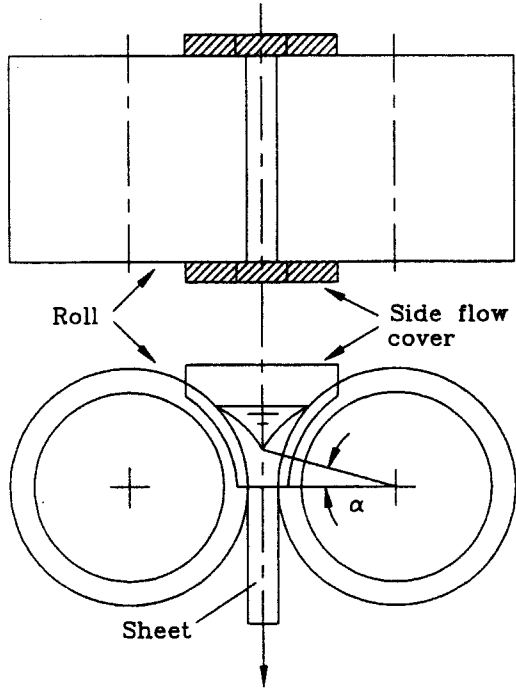


Fig.3(a) Side flow cover for flow prevention of liquid metal and position of solidification final point.

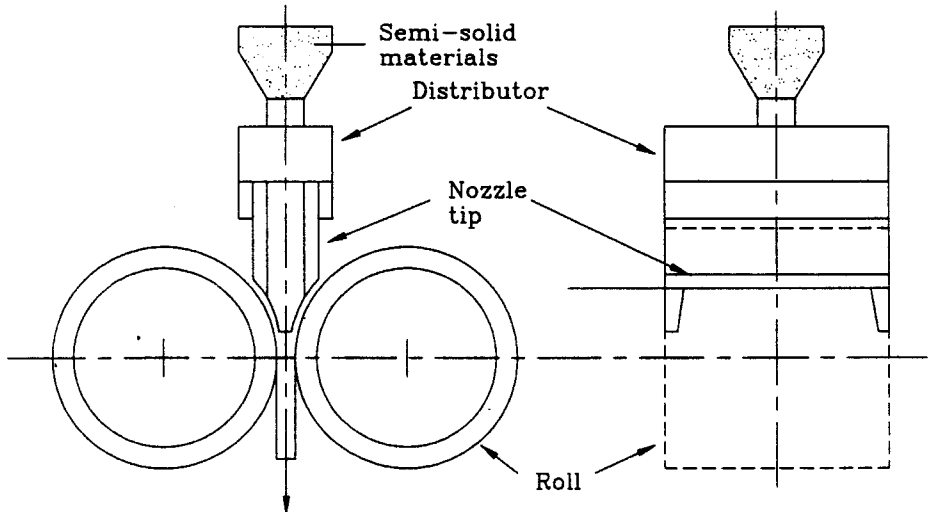


Fig.3(b) Nozzle tip position and distributor for homogeneous pouring of width direction.

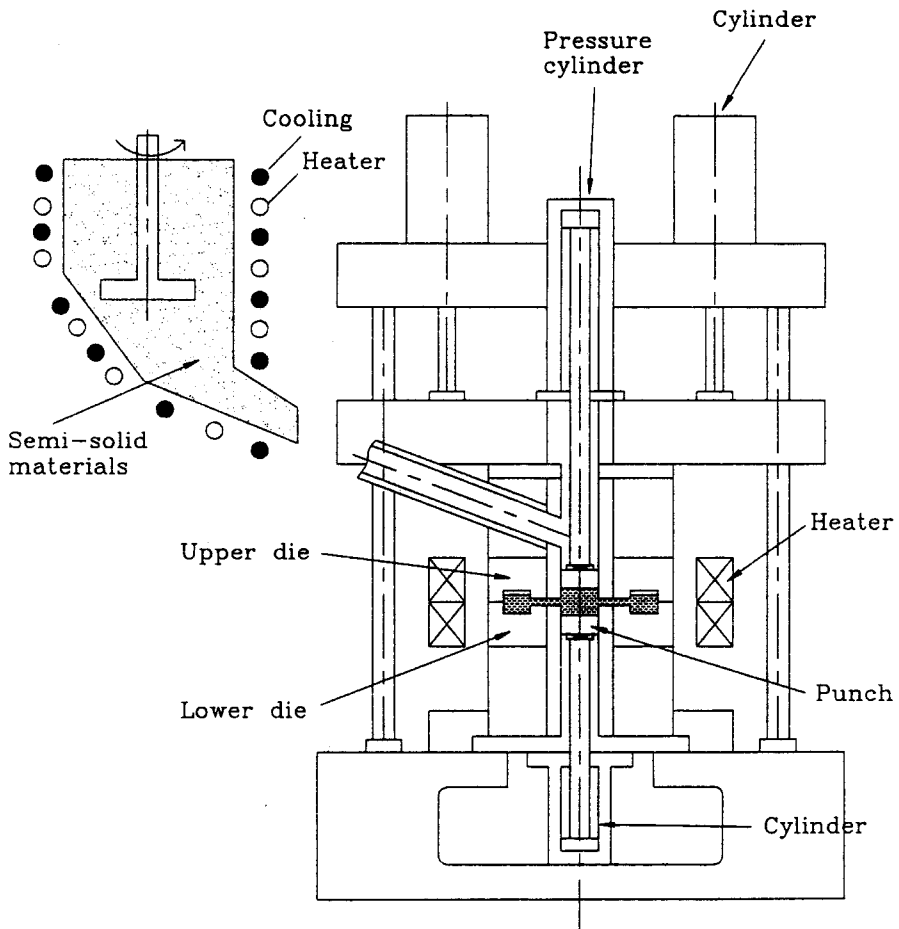


Fig.4 Schematic diagram of semi-solid forging process

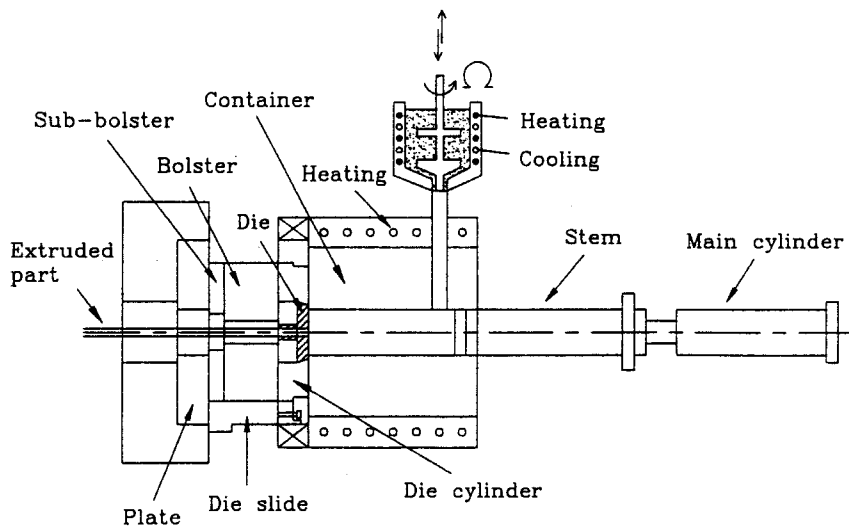


Fig.5 Schematic diagram of semi-solid extrusion process

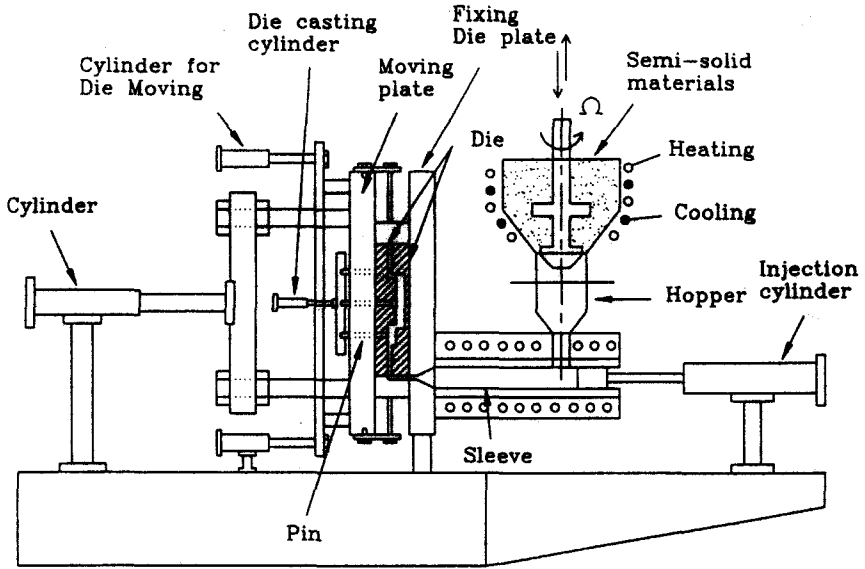


Fig.6 Schematic diagram of semi-solid extrusion process.