

# 소성가공

## 5. Extrusion (I)

Bong-Kee Lee

School of Mechanical Systems Engineering  
Chonnam National University

### Overview

- 압출(extrusion)
  - 길이가 길고 단면이 일정한 중실 또는 중공(속이 빈) 제품을 생산
  - 보통 고온에서 작업
  - 제품은 필요한 길이만큼 절단하여 사용
  - 롤성형과 경쟁적인 공정
  - 냉간압출은 냉간단조와 유사한 공정으로 개별제품을 생산
  - 다이와 장비 가격은 중간 내지 높은 편

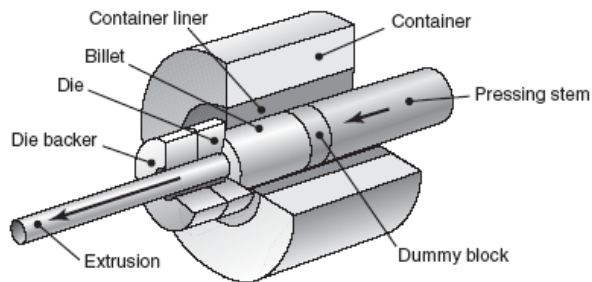


# Extrusion

## ■ 압출

- 둥근 빌렛(billet)을 용기(container) 안에 넣고 램(ram)으로 밀어서 압력을 가하여 다이 사이로 통과시키는 공정

- 주요 특성: 공정 중 소재는 높은 삼축 압축(tri-axial compression) 상태로 소재의 파괴(fracture) 없이 큰 변형이 가능함
- 주요 생산품: 미닫이 문의 레일, 창호, 다양한 단면의 튜브, 알루미늄 사다리, 구조 및 건축용 형상재

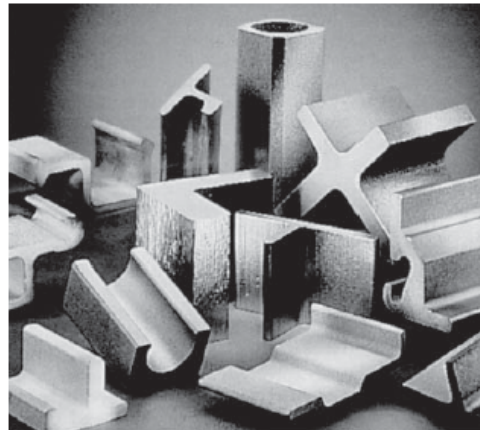
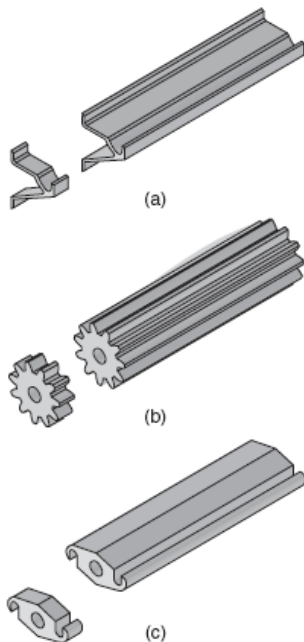


Schematic illustration of direct extrusion



# Extrusion

## ■ 압출



(d)



# Extrusion

## ■ 압출

- 상온에서의 압출 공정은 종종 단조 작업들과 함께 이루어지고, 이 경우를 냉간압출(cold extrusion)이라고 함
- 인발(drawing) 공정은 압출과는 달리, 다이를 통하여 당김으로써 봉재(rod), 선재(wire), 및 관재(tubing)의 단면을 감소시키거나 혹은 줄이는 공정임
- 봉재와 선재의 구분은 모호한 경우가 있으나, 일반적으로 봉재가 선재에 비하여 더 큰 단면을 가짐



# Extrusion

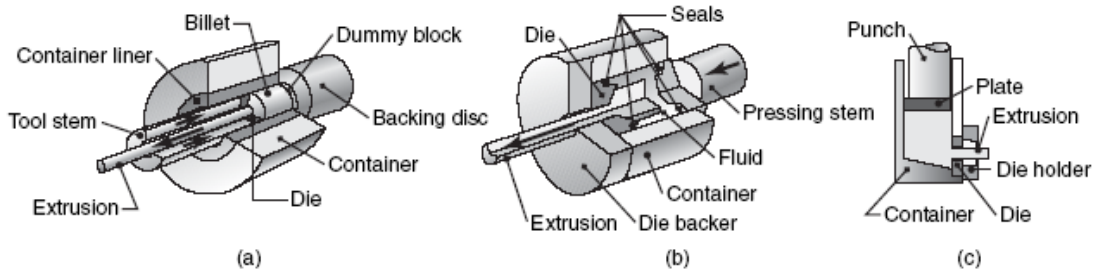
## ■ 압출 공정

- 직접 압출(direct or forward extrusion)
  - 가장 일반적인 압출 공정으로, 용기 내의 빌렛이 유압으로 작동되는 램에 의하여 다이를 통과하게 됨
- 간접 압출(indirect, reverse, inverted or backward extrusion)
  - 다이가 압출되지 않은 빌렛 쪽으로 움직이는 공정
- 정수압 압출(hydrostatic extrusion)
  - 유체가 채워진 챔버보다 작은 빌렛을 이용하며, 유체를 통하여 빌렛에 압력을 전달하여 압출되도록 하는 공정



# Extrusion

## ■ 압출 공정



(a) indirect, (b) hydrostatic, (c) lateral extrusions

### - 측면 압출(lateral or side extrusion)

- 다른 압출 공정들에 비하여 잘 이용되지 않음

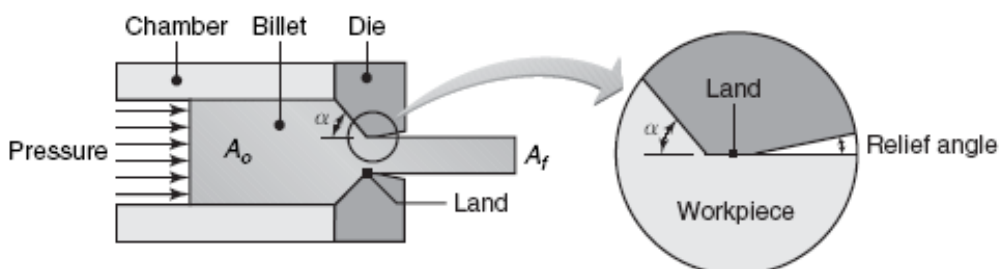


# Extrusion

## ■ 압출 공정

### - 주요 공정 변수

- 다이 각(die angle)
- 압출비(reduction in cross section): 압출 전후의 단면적의 비
- 압출 속도
- 빌렛 온도
- 윤활



Process variables in direct extrusion



# Extrusion

## ■ 압출 공정

### – 압출력(extrusion force)

- 압출력에 영향을 주는 요소들
  - (a) 빌렛 소재의 강도
  - (b) 압출비
  - (c) 빌렛과 용기, 다이 면 사이의 마찰
  - (d) 빌렛의 온도, 압출 속도와 같은 공정 변수

$$F = A_0 k \ln \left( \frac{A_0}{A_f} \right)$$

- k: 압출상수(extrusion constant) ; 실험을 통하여 결정
- $A_0, A_f$ : 빌렛과 압출된 제품의 단면적

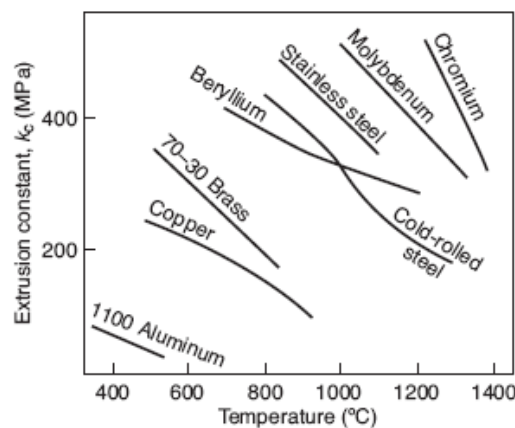


# Extrusion

## ■ 압출 공정

### – 압출력(extrusion force)

- 압출력에 영향을 주는 요소들



Extrusion constant k for various metals at different temperatures

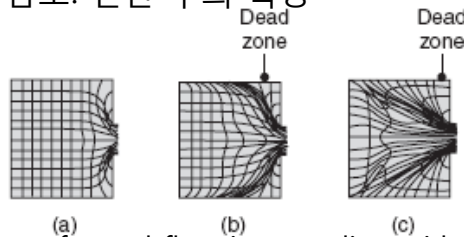


# Extrusion

## ■ 압출 공정

### – 압출 공정에서의 금속유동

- 압출 제품의 품질과 기계적 물성에 영향을 주는 중요한 공정 인자
- 에너지를 최소화하는 방향으로 금속유동의 패턴이 나타남
  - (a) 빌렛-용기-다이 간의 마찰이 없는 경우: 균일한 유동, 효과적인 윤활제의 사용 혹은 간접 압출 시 나타남
  - (b) 접촉면에서 마찰이 큰 경우: 데드 메탈 영역(dead-metal zone) 및 전단을 심하게 받은 부분이 발생, 압출 제품의 결함이 발생 가능
  - (c) 용기 벽면의 마찰에 의한 유동의 지연 혹은 고온으로 인한 재료의 유동 응력 감소: 전단 부의 확장



Typical types of metal flow in extruding with square dies



# Extrusion

## ■ 압출 공정

### – 압출비

- 소재의 소성 변형을 위해서 적어도 4 정도의 압출비가 요구됨
- 일반적인 압출비, R: 10 ~ 100
- 특수 목적의 압출비
  - 높은 압출비: 연한 비철금속의 경우, 400
  - 낮은 압출비: 연성이 떨어지는 소재의 경우

### – 동축 압출(coaxial extrusion) 혹은 클래딩(cladding)

- 강도와 연성이 비슷한 두 금속을 이용하여야 함



# Extrusion

## ■ 열간 압출(hot extrusion)

- 상온에서 충분한 연성을 가지지 않는 금속이나 합금의 성형을 위하여, 높은 온도에서 압출 공정을 수행
- 다른 열간 성형 공정들과 마찬가지로, 높은 작업 온도에 적합한 조건들이 요구됨
  - 높은 온도의 빌렛은 불활성 기체 환경에서 가열되지 않을 경우, 표면에서 산화막이 생성: 마찰 특성의 변화와 이에 따른 유동 양상의 변화, 불량한 표면

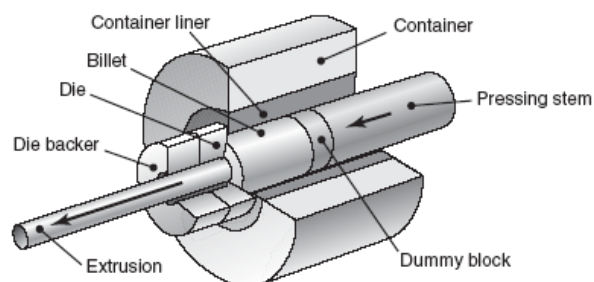
	°C
Lead	200~250
Aluminum and its alloys	375~475
Copper and its alloys	650~975
Steels	875~1300
Refractory alloys	975~2200



# Extrusion

## ■ 열간 압출(hot extrusion)

- 램의 전면에 압출판(dummy block)을 부착하고, 램의 직경을 용기의 직경보다 약간 작게 함
- 빌렛 외측의 산화막으로 이루어진 얇은 막(skull)이 압출 공정 중 용기 내에 남을 수 있도록 함
- 공정 완료 후 용기 내에 남겨진 산화막을 제거함

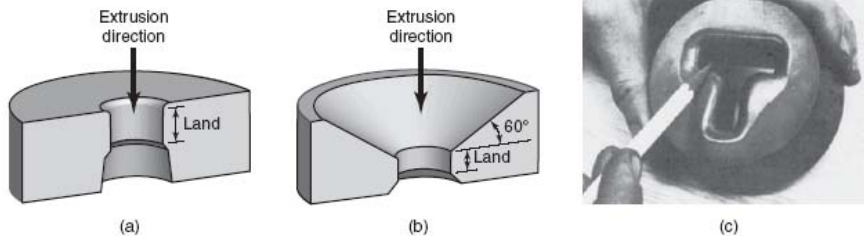


# Extrusion

## ■ 열간 압출(hot extrusion)

### - 다이 설계

- 일반적인 압출 다이



Dies for (a) nonferrous metals, (b) ferrous metals, and (c) a T-shaped extrusion (made of hot-work die steel and used with molten glass as a lubricant)

- 튜브 압출을 위한 다이

- 중실 혹은 중공 빌렛의 압출 공정으로 튜브 형상의 제조가 가능



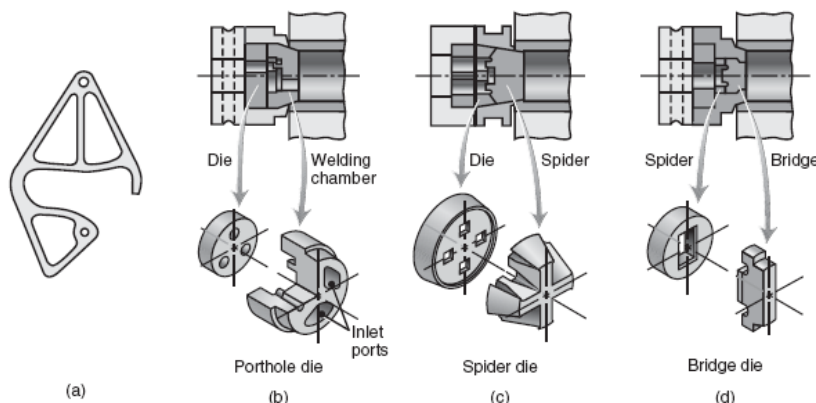
# Extrusion

## ■ 열간 압출(hot extrusion)

### - 다이 설계

- 중실 혹은 중공 빌렛의 압출 공정으로 튜브 형상의 제조가 가능

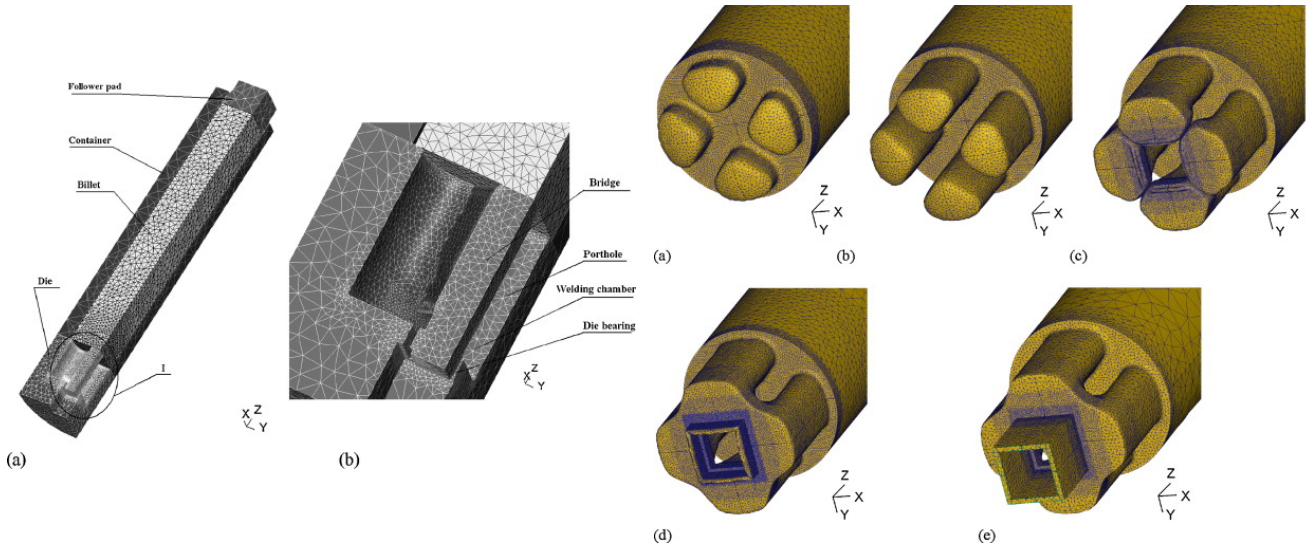
- 접합실(welding-chamber)을 이용한 튜브 다이의 제작: 스파이더 다이, 포트홀 다이, 브릿지 다이와 같은 특수 다이를 사용 → 내부 지지대 주위를 가르며 발생하는 금속 유동은 다이를 통과하여 접합실에서 고압을 받아 다시 접합됨





# Extrusion

- 열간 압출(hot extrusion)
  - 다이 설계

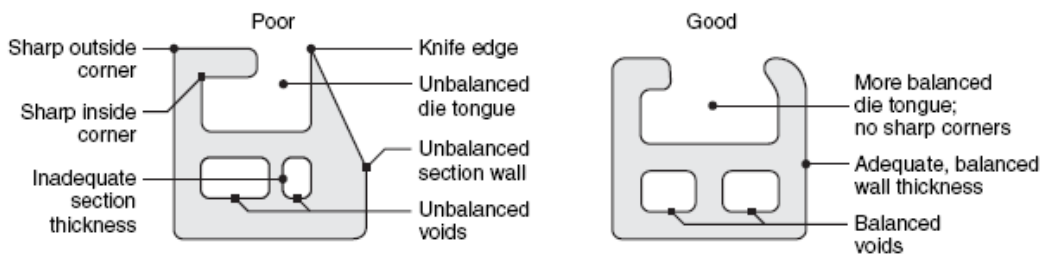


Liu et al, J. of Mater. Proc. Technol. 200 (2008) 185-198



# Extrusion

- 열간 압출(hot extrusion)
  - 다이 설계
    - 기본적으로 고려해야 할 사항들
      - 단면의 대칭성
      - 날카로운 모서리 부분의 제거
      - 다이 단면부의 급격한 치수 변화를 피하는 설계: 단면 형상에서 일정한 두께를 유지하는 것이 중요



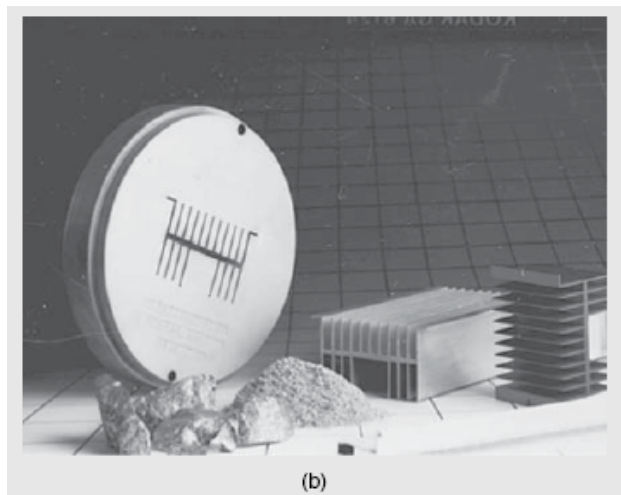
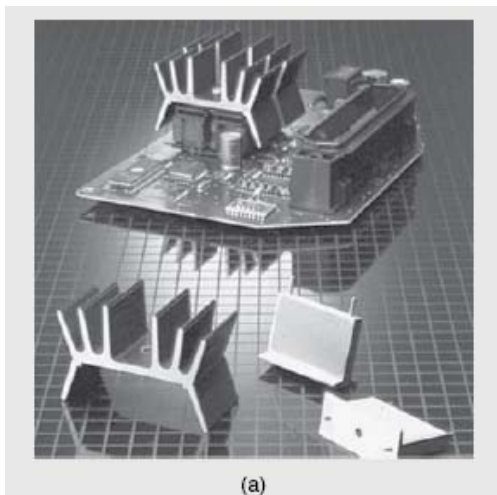
# Extrusion

- 열간 압출(hot extrusion)
  - 열간 압출 용 다이 재료
    - 일반적으로 열간가공 다이강(hot-worked die steel)을 이용함
    - 표면 코팅
      - 목적: 다이 수명의 연장
      - 일부 안정화된 지르코니아 등을 이용
  - 윤활
    - (a) 압출 중 소재의 유동, (b) 제품의 표면 특성, (c) 제품 품질, (d) 압출력 등에 영향을 주는 중요한 요소
    - 유리: 강, 스테인리스 강, 고온 금속과 합금 등의 압출에 뛰어난 윤활제



# Extrusion

- 열간 압출(hot extrusion)
  - 예: aluminum heat sink

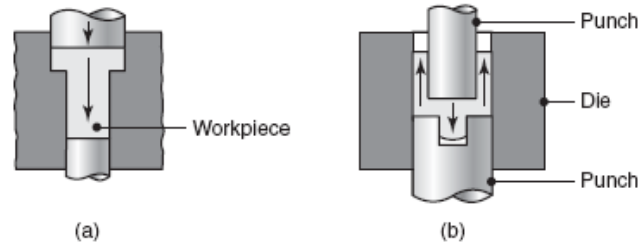


# Extrusion

## ■ 냉간 압출(cold extrusion)

– 직접 압출, 간접 압출, 단조 등의 조합을 일컫는 일반적인 용어

- 냉간 압출의 예 (이 공정으로 제조되는 제품을 단조품이라고도 함)



- 압출력

$$F = 1100A_0Y_{avg}\epsilon$$

- $A_0$ : 블랭크의 단면적,  $Y_{avg}$ : 평균 유동 응력,  $\epsilon$ : 공정 중 소재의 진변형률



# Extrusion

## ■ 냉간 압출(cold extrusion)

– 냉간 압출의 장점(열간 압출에 대한)

- 가공 경화에 따른 기계적 물성의 개선 (단, 소성 변형 및 마찰로 발생한 열에 의한 재결정이 일어나지 않은 경우)
- 치수 공차의 정밀한 제어: 추가적인 가공 및 마무리 작업의 최소화
- 효과적인 마찰이 이루어진 경우, 산화막의 생성이 적어 표면 특성의 개선
- 생산 속도 및 가격이 절삭 가공 등에 경쟁력을 가짐 (일부 냉간 압출 기계의 경우 시간 당 2000개 이상의 제품을 생산)



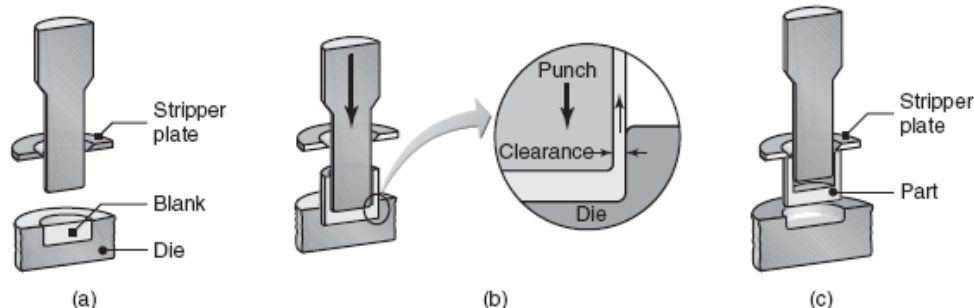
# Extrusion

- 냉간 압출(cold extrusion)
  - 예: metal component of an automotive spark plug



# Extrusion

- 냉간 압출(cold extrusion)
  - 충격 압출(impact extrusion)
    - 간접 압출과 유사하며, 일반적으로 냉간 압출로 분류됨
    - 직경에 대한 벽 두께의 비가 최소 0.005에 이르는 얇은 두께의 용기 제조가 가능
    - 펀치(punch)가 빠른 속도로 소재(blank, slug)를 압축하게 되며, 따라서 소재는 후방으로 압출됨
    - 제품은 스트리퍼 판(stripper plate)을 이용하여 펀치에서 분리

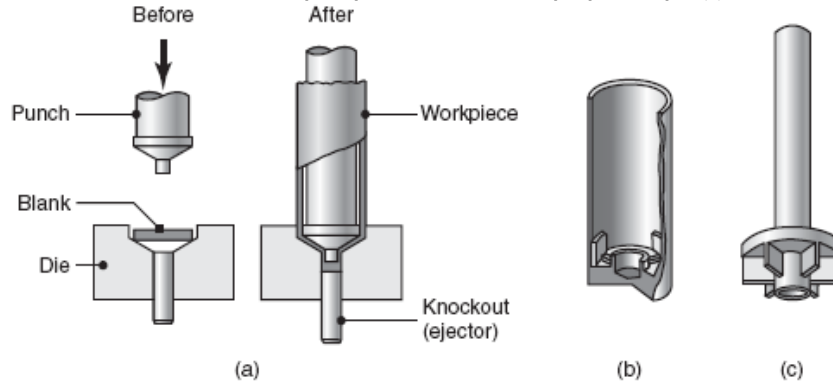


# Extrusion

## ■ 냉간 압출(cold extrusion)

### – 충격 압출(impact extrusion)

- 후커 공정(Hooker process): 접거나 짤 수 있는 튜브 용기의 제조 (주조, 단조 또는 절삭 가공으로도 제작할 수 있음)



- 재료, 제품 형상, 벽면 두께, 제품의 특성 및 경제성을 고려하여 공정을 결정

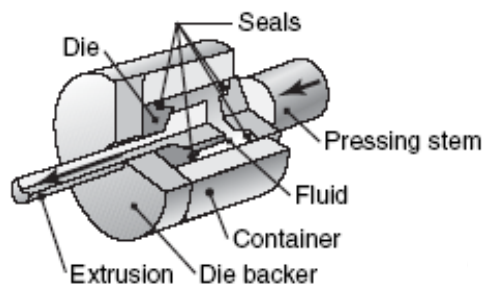


# Extrusion

## ■ 냉간 압출(cold extrusion)

### – 정수압 압출(hydrostatic extrusion)

- 챔버 내의 비압축성 유체를 매개체로 소재에 압력을 전달함
- 취성 재료의 압출에 효과적으로 적용될 수 있음
  - 정수압은 재료의 연성을 증가시킴
  - 낮은 마찰과 작은 다이 각 및 큰 압출비의 적용 또한 재료의 연성을 증가시키는데 도움을 줌



# Extrusion

## ■ 압출 결함

(세 가지 주요 결함: 표면 균열, 파이프 결함, 내부 균열)

– 표면 균열(surface cracking)

- 압출 온도, 마찰, 또는 속도가 너무 큰 경우, 표면 온도가 매우 크게 상승함 → 표면의 균열과 찢어짐(터짐)이 야기될 수 있음(fir-tree or speed cracking)
- 낮은 온도에서의 표면 균열 발생: 다이의 랜드(land) 부분에서 압출된 소재의 주기적인 부착(sticking)에 기인함

– 파이프 결함(pipe defect, tailpipe, fishtailing)

- 금속 유동으로 인하여 표면의 산화물이나 불순물 등이 소재의 중심부분으로 끌리는 현상

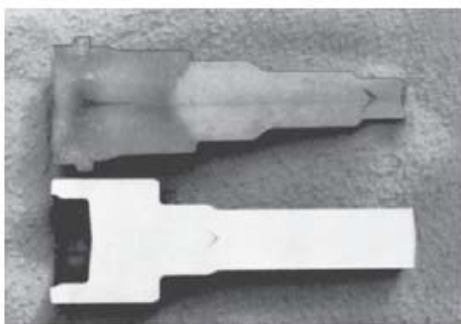


# Extrusion

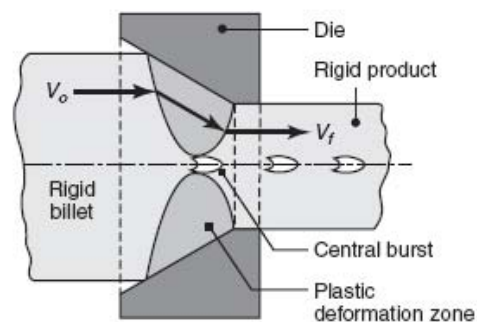
## ■ 압출 결함

– 내부 균열(internal cracking, center cracking, center-burst, arrowhead fracture, chevron cracking)

- 압출 제품의 중심부에 발생하는 균열: 강체영역인 중심부 형성과 표면부보다 빠른 속도의 금속유동의 경우, 중심선을 따라 정수압 인장응력상태가 발생하며 따라서 내부 균열을 생성함



(a)



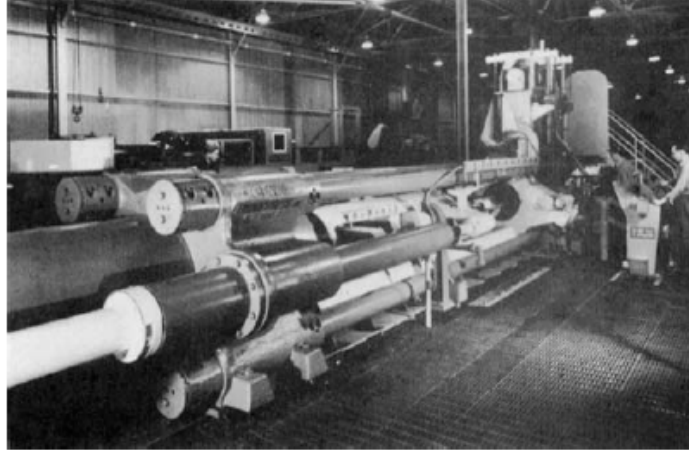
(b)



# Extrusion

## ■ 압출 장비

- 수평형 유압 프레스: 열간 압출의 기본 장비
- 수직형 유압 프레스: 냉간 압출의 기본 장비, 수평형에 비하여 압출 능력은 작으나 적은 공간을 차지함



9-MN hydraulic-extrusion press