

소성가공

7. Drawing (I)

Bong-Kee Lee

School of Mechanical Systems Engineering
Chonnam National University

Overview

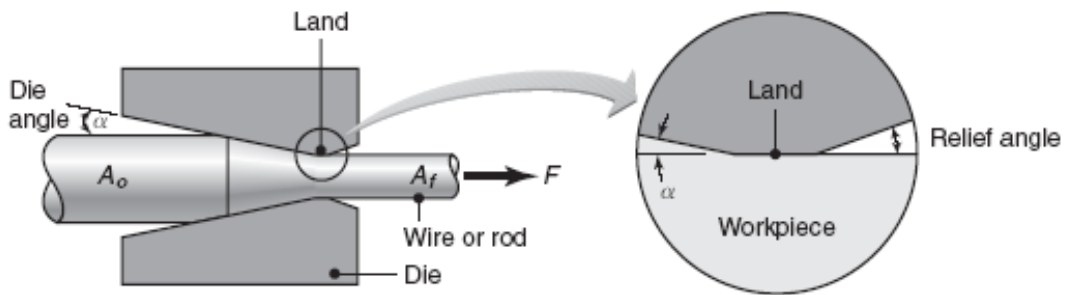
- 인발(drawing)
 - 길이가 길고 단면에 형상을 가지는 봉재 및 선재를 생산
 - 압출 공정에 비하여 단면적이 작음
 - 표면 정도가 우수함
 - 다이, 장비, 인건비 모두 낮거나 중간 정도임
 - 낮거나 중간 정도의 작업 숙련도를 요구함



Drawing

■ 인발

- 일반적으로 길이가 긴 봉재나 선재를 인발 다이 사이로 잡아 당겨서, 소재의 단면적을 감소시키는 공정
- 압출(extrusion)과의 차이점
 - 압출: 소재에 압축력이 작용
 - 인발: 소재에 인장력이 작용



Typical drawing process and relevant variables



Drawing

■ 인발



Rod/wire drawing



Tube drawing



Drawing

■ 인발

– 인발 하중(drawing force)

- 영향을 주는 주요 공정 변수들
 - 다이 각, 단면 감소율, 인발 속도, 윤활, 온도
- 이상 변형의 경우
 - 마찰 및 과잉 일을 무시

$$F = Y_{avg} A_f \ln \left(\frac{A_0}{A_f} \right) \rightarrow \sigma_d = Y_{avg} \ln \left(\frac{A_0}{A_f} \right)$$

$$\left(Y_{avg} = \frac{1}{\epsilon_1} \int_0^{\epsilon_1} \sigma d\epsilon = \frac{1}{\epsilon_1} \int_0^{\epsilon_1} (K\epsilon^n) d\epsilon = \frac{K\epsilon_1^n}{n+1} \right)$$



Drawing

■ 인발

– 인발 하중(drawing force)

- 이상 변형, 마찰 및 과잉 일을 포함하는 경우
 - 다이 각(α in radians)이 작을 때,

$$F = Y_{avg} A_f \left[\underbrace{\left(1 + \frac{\mu}{\alpha} \right)}_{\text{마찰의 영향}} \ln \left(\frac{A_0}{A_f} \right) + \underbrace{\frac{2}{3} \alpha}_{\text{과잉 일의 영향}} \right]$$

마찰의 영향

과잉 일의 영향

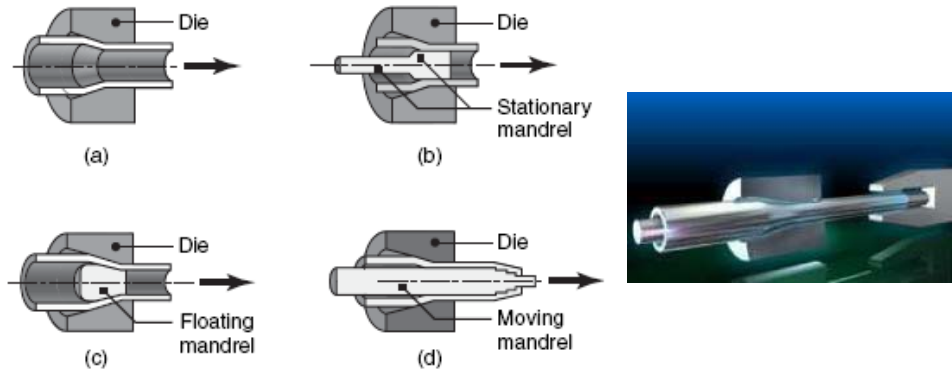


Drawing

■ 인발

- 다른 단면 형상에 대한 인발: 튜브 형상

- 튜브 형상의 소재에 맨드렐을 이용하여 (또는 이용하지 않고서) 벽면의 두께를 감소시키거나 직경을 감소시킴
- 비교. 스웨이징(tube swaging)



Tube-drawing operations

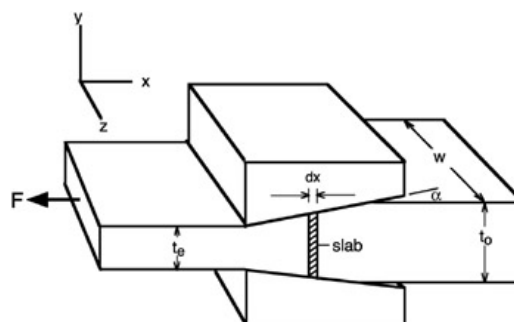


Drawing

■ 인발

- 다른 단면 형상에 대한 인발: 평판 인발

- 쐐기(wedge) 모양의 다이를 이용
- 소재 폭의 변화는 거의 일어나지 않으며, 평판 압연의 경우와 유사함: 평면 변형률(plane strain) 상태
- 특수한 목적에 국한되어 이용됨



Sheet-drawing operations



Drawing

■ 인발 작업

- 일반적으로 단면 감소율이 최대 45% 정도로 설계함
- 초기 단면이 작을수록, 단면 감소율을 작게 적용함
- 단면 감소율을 아주 작게 하여, 표면 정도와 치수 정밀도를 향상시키기도 함: 사이징 패스(sizing pass)
- 재료의 종류와 단면 감소율에 따라 인발 속도를 결정함
- 고속 인발의 경우, 발생된 열이 소산되기 위한 시간의 부족으로 온도 상승 및 제품의 품질 저하를 가져 올 수 있음

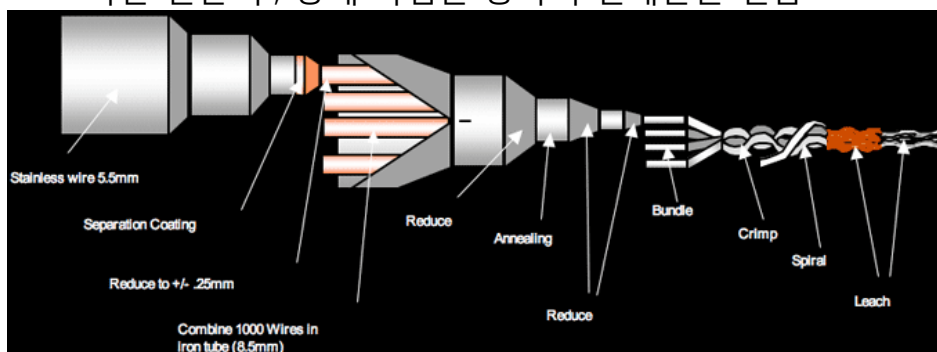


Drawing

■ 인발 작업

- 다발 인발(bundle drawing)

- 생산성 증대를 위하여 수백 개 이상의 많은 선재를 다발로 동시에 인발하는 공정
 - 다발을 구성하는 선재들의 접합을 방지하기 위하여, 선재들 사이에 비슷한 물성을 가지지만 내화학성(chemical resistance)이 낮은 금속을 윤활 재료로 적용함
 - 다발 인발 후, 용해 작업을 통하여 선재들을 얻음

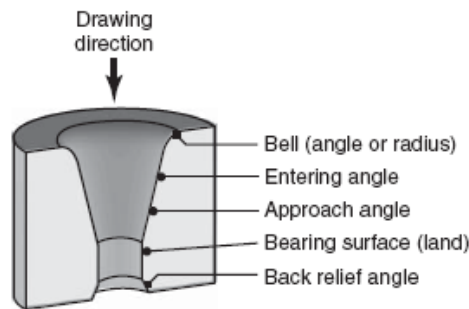


Drawing

■ 인발 작업

– 인발 다이

- 인발 다이의 구조
 - 벨(도입부), 입구 각, 수축 각, 정형부(랜드), 출구 각
- 다수의 인발 다이들의 적용: 프로파일 인발(profile drawing)
 - 최종 형상의 성형을 위하여 여러 단계의 변형을 거치도록 설계



Terminology of a typical die for drawing a round rod or wire

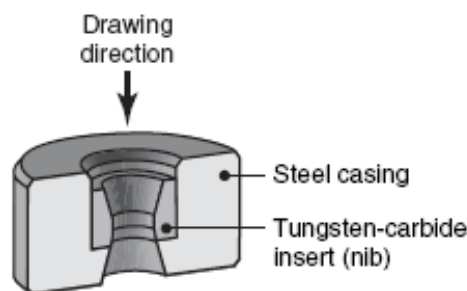


Drawing

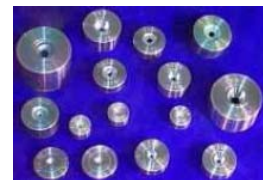
■ 인발 작업

– 인발 다이 재료

- 일반적으로 공구강(tool steel) 또는 초경합금(carbide)을 이용
- 초경합금이나 다이아몬드의 경우, 인장 강도와 인성이 부족하기 때문에 인서트(insert) 형태로 공구강 케이스에 적용하여 이용함
- 얇은 선재의 인발에 다이아몬드 인서트를 이용



Tungsten carbide die insert in a steel casing



Drawing

■ 인발 작업

- 윤활

- 적절한 윤활의 효과
 - 다이의 수명과 제품의 표면 정도 향상
 - 인발 하중과 온도의 감소
- 튜브의 인발에서는 윤활이 매우 중요함
 - 맨드렐과 튜브 사이에서 충분히 두꺼운 윤활 층을 유지하는 것이 어려움



Drawing

■ 인발 작업

- 윤활

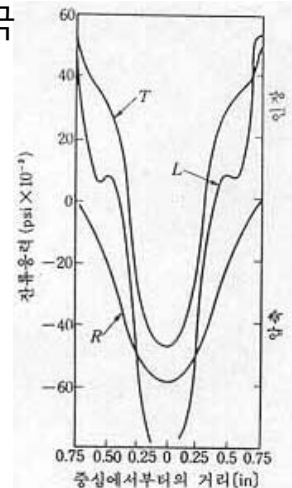
- 인발 공정에서의 대표적인 윤활 방법
 - 습식 인발(wet drawing): 다이와 소재가 윤활제에 완전히 잠긴 상태에서 인발을 수행함
 - 건식 인발(dry drawing): 인발 전 소재가 윤활제로 차 있는 박스(stuffing box)를 통과하면서, 소재의 표면에 윤활제가 코팅되게 하는 공정
 - 금속 코팅(metal coating): 소재의 표면을 구리나 주석과 같은 연한 금속으로 코팅하여 고체 윤활제 역할을 수행하게 함
 - 초음파 진동(ultrasonic vibration): 다이와 맨드렐에 초음파 진동을 가함으로써, 인발 하중의 감소, 표면 정도와 다이 수명의 향상, 그리고 소재의 파손없이 큰 단면 감소율을 얻을 수 있음



Drawing

■ 인발 결함과 잔류응력

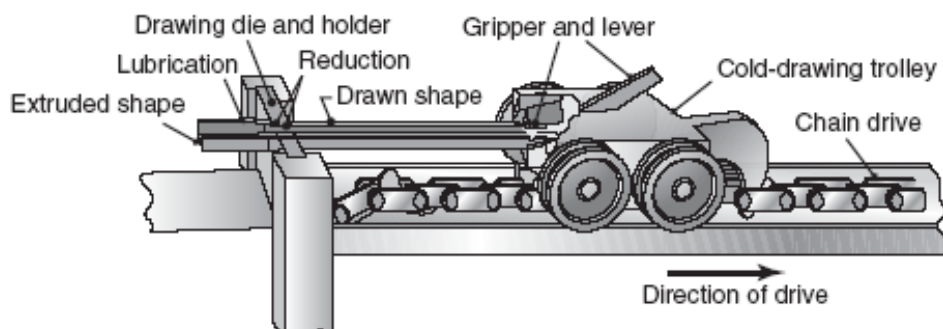
- 중심부 균열(center cracking)과 같이 압축과 유사한 결함들이 발생함
- 솔기 결함(seam)
 - 소재의 길이 방향으로 생기는 흠집 또는 접힌 자국
 - 인발에서만 발생하는 결함
- 잔류응력
 - 냉간 인발의 경우, 소재는 불균질 변형이 발생하여 잔류응력이 발생
 - 응력부식균열과 제품의 힘의 요인



Drawing

■ 인발 장비

- 드로우 벤치(draw bench)
 - 하나의 다이를 사용
 - 긴 수평형 인장시험기와 비슷한 형태

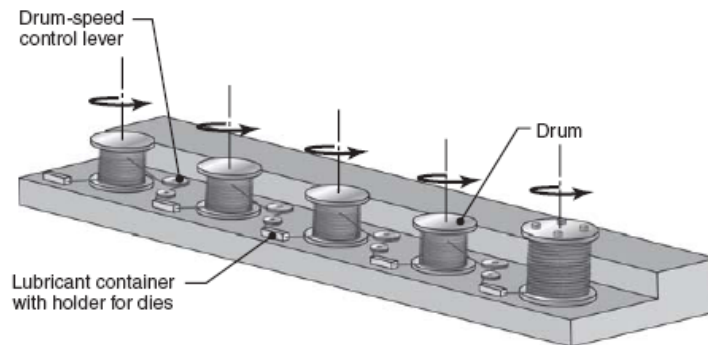


Drawing

■ 인발 장비

– 불 블록(bull block)

- 회전하는 드럼을 이용하여 인발
- 수 킬로미터의 매우 긴 선재나 봉재의 인발 혹은 13mm 이하의 직경을 가지는 작은 단면적의 선재의 인발에 적용
- 소재에 걸리는 장력이 인발 하중의 역할을 함



Multistage wire drawing (typically used to produce copper wire for electrical wiring)