Ⅱ편 근사해석법

- 성형공정 해석의 목적 : ① 소재의 가공력 계산, ② 변형 온도 예측
  ③ 사용장비의 선정, ④ 금형 및 공구 수명 예측, ⑤ 가공제품 품질 향상

- 성형공정 해석

강소성해석
- ① 미끄럼 선장해석법(slip-line field method)
- ② 슬래브법 (초등해법, slab method)
- ③ 상계해법 (upper-bounding method)

탄소성,강소성 - ④ 유한요소법 (finite element method)

⇒ 이상 일, 이상 변형 (실제와 다른 이상적인 변형)으로 인하여 실제 이상 일에 비해서 더 큰 힘이 요구됨

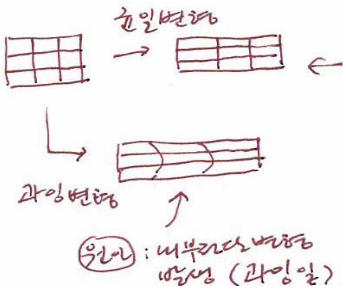
$$W_t = W_h + W_f + W_r$$

W_t: 실제 일
W_h: 이상 일
W_f: 마찰 일
W_r: 과잉 일

7.2 에너지법 (energy method)

- 소성변형을 일으키는데 필요한 외력(가공력)을 계산하는 가장 단순한 방법
  → Press 용량을 결정

- (기본가정) ~ 외력이 한 일 → 모두 소성변형에 소비됨
  : 실제로는 열, 소리, 마찰 등으로 다양하게 소진되나
  마찰 등을 무시하는 것으로 가정
  ~ 균일 변형: 변형 전 평단면의 모양이 변형 후에도 유지
  ~ 강완전소성체: 항복이 넘으면 100% 소성변형만 존재
  ~ 평균적 변형률 사용



- 이상 소성일, $W_i^P =$ 체적 X 평균항복응력 X |평균변형률|

$$= V \times \overline{Y} \times \overline{\epsilon_m} \qquad \text{—— ①}$$

; Fink;s law

- 외력에 의한 일(이상 일)을 W,

$$W_i^p = \eta W \qquad \text{—— ②}$$

여기서, η : 가공효율 ~ 이상소성 일과 실제 외력에 의한 일과의 비

$$\eta = \frac{W_h}{W_t}$$, $(\eta < 1)$, $0.6 \sim 0.7$ 수준, 열이나 소리에너지로 발산

$\eta = 75 \sim 95\%$
(판재압연)
$\eta = 30 \sim 60\%$
(압출)

- 공구작동에 의한 일,

$$W = P \cdot d \qquad \text{—— ③}$$

여기서, P : 가공력, d : 공구의 움직인 거리

- 따라서, $P = W/d = W_i^p/(\eta d) = V\overline{Y}\overline{\epsilon_m}/(\eta d)$ —— ④

V : 소재 체적, $\overline{Y}$: 가공물 평균항복응력, $\bar{\epsilon}$: 가공하고자하는 변형량
η : 효율(개략적으로 $0.6 \sim 0.7$) d : 공구 이동 거리

Link

(i) 강완전소성 : $\overline{Y} = \sigma_0 = Y$

(ii) 선형경화소성 : $\overline{Y} = Y + (1/2)F\overline{\epsilon_m}$

(iii) n승 경화소성 : $\overline{Y} = c\overline{\epsilon_m^n}/(1+n)$

$$Y = c\overline{\epsilon_m}^{\,n}$$

$$\overline{Y} = \frac{1}{\epsilon}\int_0^{\epsilon} c\epsilon^n d\epsilon$$

$$= \frac{c}{n+1}\epsilon^{n+1} \cdot \frac{1}{\epsilon}$$

$$= \frac{c}{n+1}\epsilon^n$$

ex) 유동곡선 $\sigma = K\epsilon^n$인 금속의 ϵ만큼 변형시키는데 필요한 이상 일 w_h ? (단위부피당)

$$w_h = \int_0^{\epsilon} K\epsilon^n d\epsilon = \frac{K\epsilon^{n+1}}{n+1} \qquad \text{——} \ (*)$$

→ $\sigma = 530\,\epsilon^{0.26}\,MPa$인 금속봉에서 지름 $13mm \to 12mm$ 가 되도록 인장시키는데 필요한 단위부피당 일은?

Sol) - $\epsilon = \ln \frac{L}{L_0}$

$$V_0 = V \rightarrow \ A_0 L_0 = AL$$

$$\frac{L}{L_0} = \frac{A_0}{A}$$

$$\Rightarrow \ \ln \frac{L}{L_0} = \ln \frac{A_0}{A}$$

$$= \ln \left(\frac{\pi \left(\frac{d_0}{2} \right)^2}{\pi \left(\frac{d_0}{2} \right)^2} \right)$$

$$= \ln \frac{d_0^2}{d^2} = \ \ln \frac{13^2}{12^2} = \ 0.16$$

- $K = 530\,MPa$
- $n = 0.26$

∴ $(*)$ 식에서 $w_h = \dfrac{530 \times 0.16^{0.26}}{1.26} = 41.82\,MJ/m^3$

8장 슬래브법 (Slab method) - 강소성해법

(※ Slab : 미소체적요소)

- 소재 내 미소체적요소의 평면조건으로부터 간단히 1차 미분방정식을 얻고 이를 전체 체적으로 적분함으로써 원하는 정보(응력, 압력분포 등)를 얻는 방법

- (기본 가정)

① 소재의 탄성변형을 무시 → 소재는 대변형을 하므로 탄성변형량은 무시
② 슬래브의 평면은 변형중에 평면으로 유지된다. → 과잉변형 무시
③ 항복조건에 사용되는 주응력을 근사화시켜서 1차원 문제로 단순화
→ 평면상의 주응력은 일정하다.

- 슬래브법 절차

① 소재 내의 슬래브요소를 1개 선택 → 이 요소의 평면은 변형중에도 평면 유지
② 슬래브요소에 작용하는 수직력, 마찰력을 모두 표시 → 힘의 평형방정식 구성
③ 구하고자 하는 응력성분의 방향으로 평행방정식을 세운다.
④ 슬래브요소 전체가 소성변형 상태로 보고 항복조건을 적용
⑤ 응력성분에 대한 1차 미분방정식을 얻는다.
⑥ 경계조건을 적용 → 적분하여 응력성분을 구한다.
⑦ 해석 결과 활용 → 유용한 정보를 얻는다.