

Why ductility is important?

■ Formability (성형성)

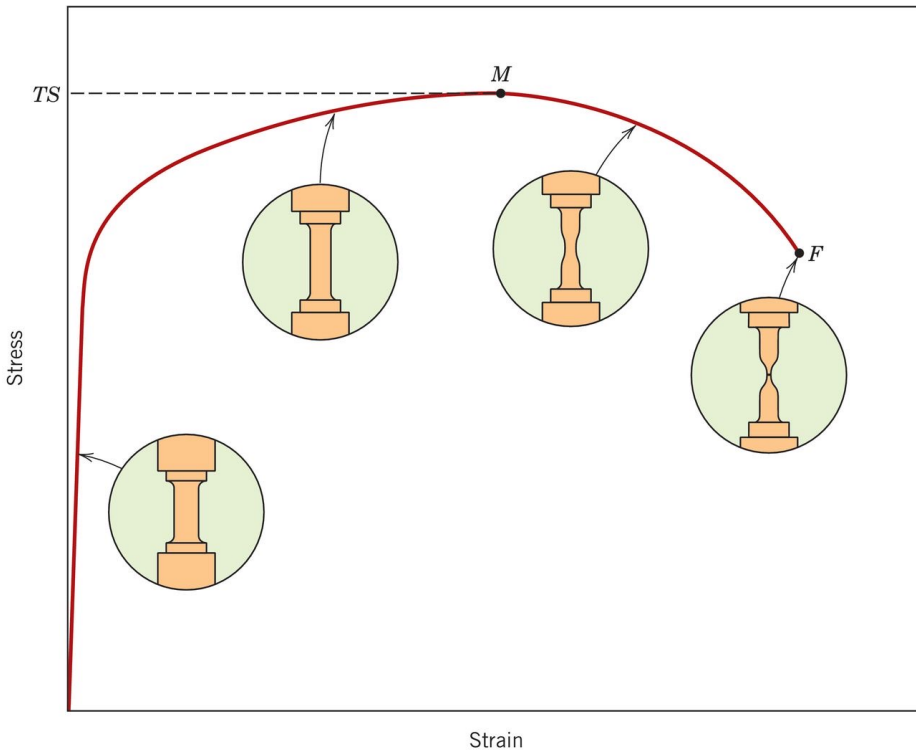
Raw products such as steel sheets are shaped into various parts/components.

The material should not fail during this shaping procedure (forming procedure).

High ductility observed in uniaxial tension test is an indication of good formability.



Necking



공칭 응력 / 공칭 변형률 곡선에서 보면
재료의 강도가 낮아지는 것처럼 보인다.

하지만 실제로는 변형이 집중되는 부분의
단면적이 감소함으로써 시편에 걸린
하중(load)이 전체적으로 감소하는 것이다.

실제로 재료의 '강도'는 소성변형으로 인해
증가한다 (세기, 크기 물리량 비교...).

위와 같이 공칭 응력에서는 시편의 단면적
감소를 고려하지 못하는 단점이 있다.

그리고 extensometer로는 시편의 국부
지역의 변형을 제대로 고려할 수 없다.

따라서, 시편의 단면적 감소를 고려한 응력의 정의가 필요하다.

진응력과 공칭 응력의 관계

- 앞서 아래의 정의를 배웠다.

- $\sigma^{\text{engi}} = \frac{F}{A_0}$ (1)

- $\sigma^{\text{true}} = \frac{F}{A}$ (2)

- 금속 재료의 경우, 소성 변형에 의한
부피가 매우 적다. 이는

- $A_0 l_0 = A_1 l_1$ (3)

- 의 관계로 이어진다. 이를 다시

정리하면

- $\frac{A_0}{A_1} = \frac{l_1}{l_0} = \frac{l_0 + \Delta l}{l_0}$ (4)

- (1)과 (2)에서

- $\frac{\sigma^{\text{true}}}{\sigma^{\text{engi}}} = \frac{A_0}{A_1} = 1 + \epsilon^{\text{engi}}$

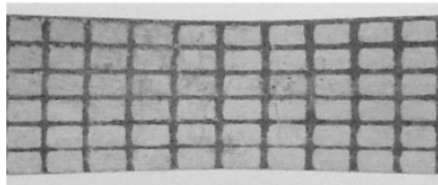
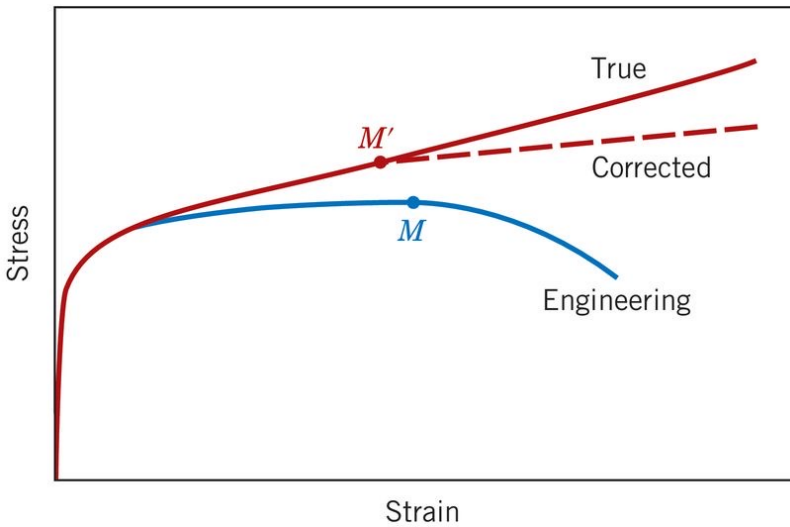
- 따라서

- $\sigma^{\text{true}} = \sigma^{\text{engi}} (1 + \epsilon^{\text{engi}})$

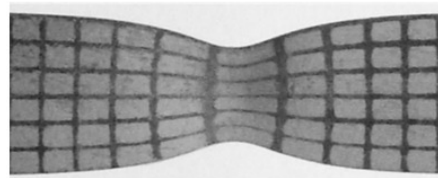
주의!

위의 관계식은 시편의 변형이 '균일' 할때만 가능 -> extensometer의 strain 측정법에 대해 잘 생각해보자. 변형이 '균일' 할 때만, 해당 시그널을 대표성이 있는 변형률로 변형이 가능하다.

변형률 곡선의 비교

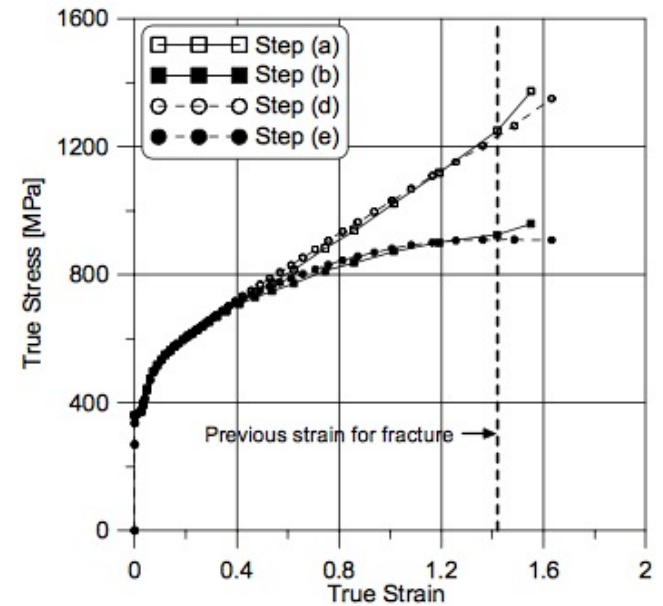
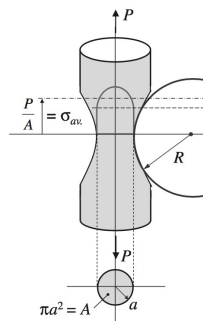


(a) $\epsilon^p = 0.41$



(b) $\epsilon^p = 1.42$ (close to fracture)

Bridgmann method



Choung and Cho, JMST 22, 2008 p 1039-1051

진응력/진변형률 관계 Model

- 일축 인장 실험을 통해 얻어진 진응력과 진변형률 곡선에서 쉽게 얻을 수 있는 물성중에 하나가 **가공경화**(work-hardening / strain-hardening)이다.
- 그러한 금속의 진응력 σ 과 진변형률 ϵ 곡선을 단순한 수학적 방정식으로 나타내면 편리하다.

$$\sigma = K\epsilon^n \quad (\text{Hollomon equation})$$

예제 8.4, 8.5 한번 살펴만 보기

소성 변형 중의 탄성 회복

- 일축 인장 실험 도중에 하중을 제거하면, 전체 변형량에 포함이 된 '탄성' 변형은 '회복'이 된다. 따라서

$$\varepsilon^{\text{total}} = \varepsilon^{\text{elastic}} + \varepsilon^{\text{plastic}}$$

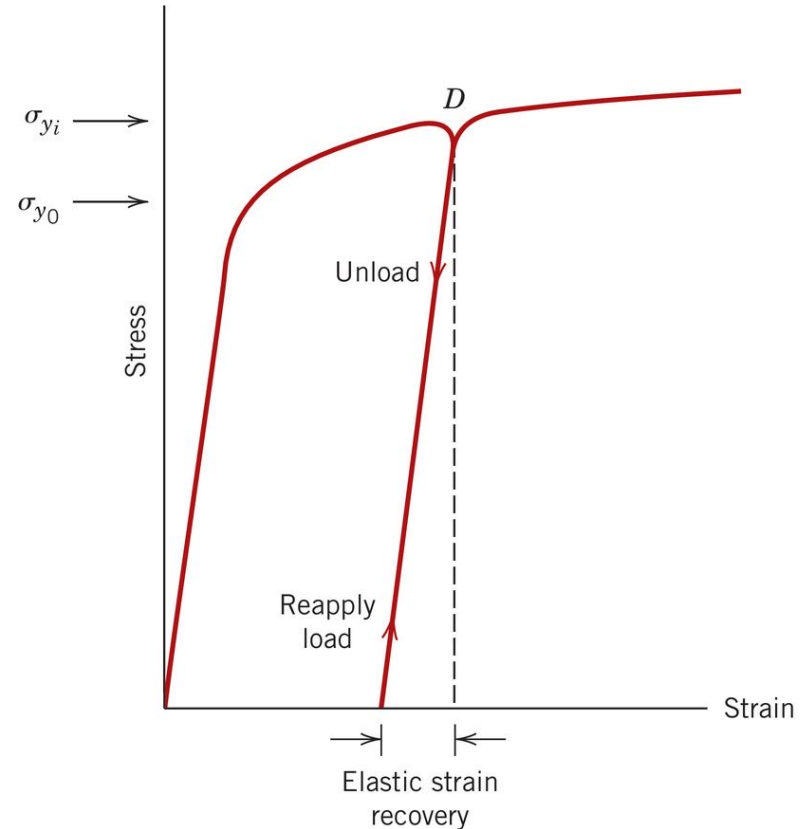
Elastic portion 은 하중이 제거되면 회복(즉 zero)된다.

$$\varepsilon^{\text{total}} = \varepsilon^{\text{elastic}} + \varepsilon^{\text{plastic}} = \mathbb{E}^{-1}\sigma + \varepsilon^{\text{plastic}}$$

Plastic strain은 elastic strain에 비해 더 복잡한 방식으로 응력과 관계가 있다.

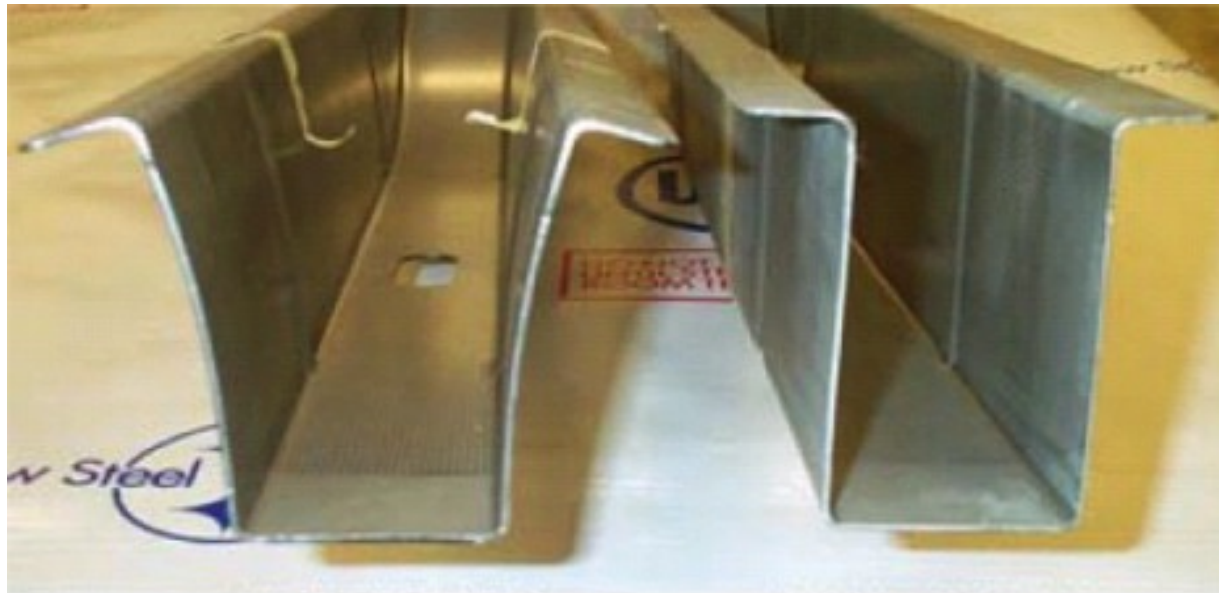
하중이 제거된 상태에서 다시 reload하면 앞서보다 '높은' 항복 강도를 보인다.

$$\sigma_{y0} \rightarrow \sigma_{yi}$$



소성 변형 중의 탄성 회복 (Springback)

친환경 자동차 개발 요구 -> 연비 개선 요구 -> 차체 경량화 요구
-> 고강도 금속, 혹은 낮은 탄성 계수 금속의 사용 -> springback 증가



DP 350/600

HSLA 350/450