

재료의 특성과 재료 가공

학습목표

1. 절삭 가공과 비교하여 소성 가공의 특징을 설명할 수 있다.
2. 소성 가공에서 하중과 응력 및 변형 관계를 설명할 수 있다.

생각열기



절삭 가공에 의해 만들어진 제품의 종류와 소성 가공에 의해 만들어진 제품의 종류에는 어떤 것이 있을까?

1. 절삭성

재료의 절삭성은 소재의 재질, 공구의 재질, 절삭 속도, 공구의 모양, 공구의 이송 속도, 절삭 깊이 등 여러 조건에 영향을 받는다. 예를 들어 재질이 연해 절삭 저항이 작을 경우 연속형 칩이 발생하고 가공면이 깨끗하나, 메짐성(취성, brittleness)이 있는 재질은 불연속적인 칩(chip)이 발생하고 가공면이 거칠다.

2. 탄성과 소성

1 탄성

재료에 가한 외력을 제거하였을 때 원래의 모양으로 돌아가는 성질을 탄성(elasticity)이라고 하고, 그 변형을 탄성 변형이라고 한다.

2 소성

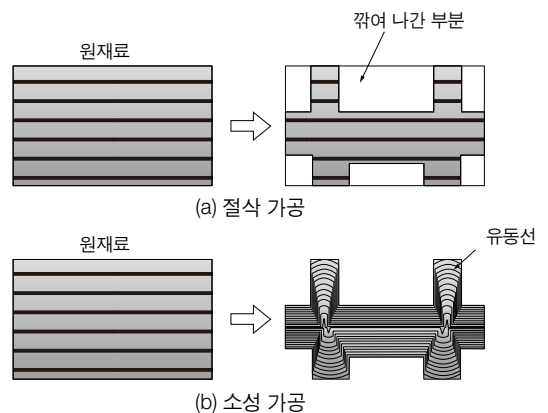
재료에 가한 외력을 제거했을 때 원래의 모양으로 돌아가지 않고 영구적인 변형을 하는 경우가 있다. 이러한 성질을 소성(plasticity)이라고 하고, 그 변형을 소성 변형이라고 한다. 이와 같이 재료의 소성을 이용한 가공을 소성 가공이라고 한다. [그림 I-2]는 탄성과 소성을 비교하여 나타낸 것이다.



[그림 I-2] 탄성과 소성

3 소성 가공의 특징

소성 가공을 하면 칩의 발생이 거의 없어 재료의 손실이 적다. 또한 가해지는 높은 압력에 의하여 재료 조직이 압착된 섬유상 조직을 얻게 되어 재료의 강인성이 향상된다. [그림 I-3]은 절삭 가공과 소성 가공을



[그림 I-3] 절삭 가공과 소성 가공의 비교

비교하여 나타낸 것이다.

소성 가공의 특징은 다음과 같다.

- ① 금속 재료의 결정 조직을 개선하여 강인한 제품을 생산한다.
- ② 대량 생산에 적합하고 불필요한 재료의 낭비를 줄인다.
- ③ 생산된 제품의 품질이 균일하고 치수가 정밀하다.
- ④ 가공 방법의 응용 범위가 넓다.

3. 응력과 변형

1 응력과 변형률

재료를 소성 가공하기 위해서는 외부에서 힘을 가하여야 한다. 이때, 재료의 내부에는 가해진 힘을 견디어 원래의 모양을 유지하려는 저항이 생기게 된다. 이와 같이 외부 압력에 저항하여 재료 내부에 단위 면적당 생긴 힘을 응력(stress)이라고 한다.

$$\text{응력}(\sigma) = \frac{\text{하중}(P)}{\text{단면적}(A)} \quad (\text{MPa 또는 kgf/mm}^2)$$

여기서, 1MPa는 약 0.102kgf/mm², 1kgf/mm²는 약 9.8MPa이다.

소성 변형된 소재는 모양, 크기, 성질 등이 변형 전에 비하여 달라지는데, 시험편의 변형 전후의 크기 차이를 최초의 크기로 나눈 값을 변형률(strain)이라고 한다. 변형률은 연신율(elongation) 또는 단면 수축률(reduction of area) 등으로 나타내는 것이 일반적이다.

$$\text{변형률}(\epsilon) = \frac{\text{늘어난 양}(l-l_0)}{\text{처음 길이}(l_0)} \times 100(\%)$$

2 응력-변형률 곡선

금속 재료는 탄성과 소성을 동시에 지니고 있다. 즉, 어느 한도까지의 변형에서는 탄성을 나타내지만, 그 한도를 지나면 소성을 나타내어 영구 변형하게 된다.

[그림 I-4]는 연강을 인장 시험할 때 나타나는 응력-변형률 곡선이다.

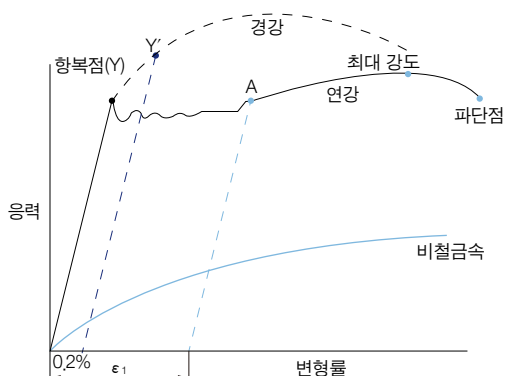
1] 탄성 변형 구간

항복점(Y점) 이전에는 하중의 증가에 따라 변형률이 직선적으로 증가한다. 이 범위 내에서 하중을 제거하면 변형은 없어지고 원위치로 돌아가는 탄성 변형을 한다.

2] 소성 변형 구간

하중이 더욱 증가하여 항복점을 넘어서면 재료는 소성 변형을 하여 영구 변형하게 된다. 즉, A점에서 하중을 제거하여도 재료는 원위치로 돌아가지 못하고 ϵ_1 만큼 변형된다.

저탄소강(연강)의 경우 항복점이 명확하게 나타나지 만, 경강 또는 비철금속과 같은 경우에는 항복점이 명확하게 구별되지 않는 경우가 많다. 이러한 경우에는 보통 0.2%의 영구 변형률에 해당하는 점(Y' 점)을 항복점으로 대신하며, 이것을 내력이라고 한다.



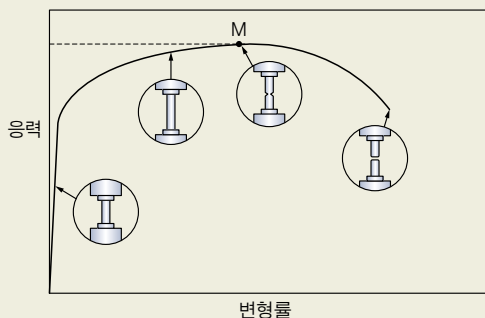
[그림 I-4] 탄소강의 응력-변형률 곡선

보충학습

소성 가공과 네킹

소성 변형이 시작된 후, 계속적으로 소성 변형을 일으키기 위해서는 응력이 증가되어야 한다.

[그림 I-5]에 표시된 M점이 최대 응력점이며 인장 강도(tensile strength)이다. 이 이상 응력이 가해지면 어느 한 부분이 수축되는 현상이 시작되고, 그 후의 변형은 수축된 한 부분에 집중되게 된다. 이 현상을 '네킹(necking)' 이라고 하며, 결국 파괴는 이 네킹 부분에서 일어난다. 파괴 강도는 파괴가 일어나는 응력을 가리킨다.



[그림 I-5] 응력-변형률 곡선에 나타난 시편의 변형 상태

4. 변형에 영향을 끼치는 사항

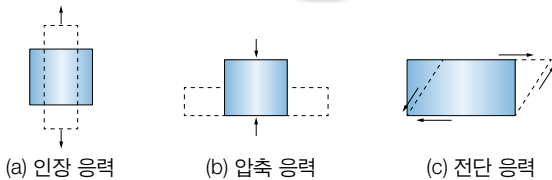
1 연성과 전성

소성 가공에 가장 큰 영향을 끼치는 재료의 기계적 성질은 연성과 전성이다. 연성은 금속 재료가 길게 늘어나는 성질이며, 전성은 얇고 넓게 펴지는 성질이다. 즉, 연성을 이용하여 가늘고 긴 제품을 만들 수 있고, 전성을 이용하여 얇은 판을 만들 수 있다.

연성과 전성이 부족한 재료가 큰 압력을 받으면 바로 부서질 수 있다. 이와 같이 여린 성질을 메짐성이라고 한다.

연성과 전성 및 메짐성 여부는 재료의 가공성을 가늠하는 척도가 된다. 보통 금속 재료는 연성과 전성을 가지고 있으나, 소성 가공을 하는 도중에 메짐성이 나타나는 경우가 있다.

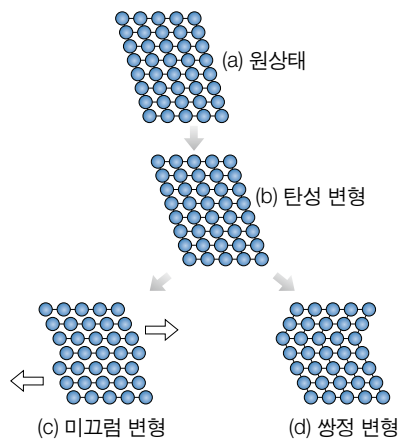
2 재료가 받는 응력의 형태



[그림 I-6] 재료에 가해지는 응력의 형태

재료의 변형은 인장, 압축, 전단 응력 중 어느 하나 이상의 복합된 응력을 받게 되어 나타나는 현상이다. [그림 I-6]은 재료에 가해지는 응력의 형태를 나타낸 것이다.

3 미끄럼 변형과 쌍정 변형



[그림 I-7] 소성 가공의 격자 변형

원자 배열이 격자 구조로 되어 있는 금속 재료가 변형된다는 것은 원자가 이동하여 격자 구조가 변형되는 것을 말한다.

[그림 I-7]은 소성 가공 시 격자 변형 과정을 나타낸 것이다. 즉, 소성 변형은 재료의 격자 구조가 미끄럼(slip) 변형 또는 쌍정(twin) 변형을 하는 것을 의미한다. (c)와 같은 미끄럼 변형은 마치 책꽂이에 세워 둔 책들이 옆으로

쓰러지는 모양으로, 대부분의 소성 변형이 이 미끄럼 변형에 의해서 일어난다.

미끄럼 변형이 어려운 재료는 (d)와 같이 쌍정 변형을 한다. 쌍정 변형은 결정면의 일부가 특정한 면(쌍정면)을 경계로 이동하여, 마치 거울에 상(mirror image)이 나타나듯이 서로 대칭적으로 변형한다.

4 가공 온도와 가공 경화

금속 재료는 온도에 따라 결정 조직이 변화하여 여러 가지 기계적 성질이 변하기 때문에 소성 가공에서는 가공 온도가 매우 중요하다.

1] 가공 경화

재료 내에는 수많은 결함(defect)이 존재하며, 이 결함은 점 결함, 선 결함, 면 결함, 부피 결함으로 분류할 수 있다. 이 중에서 선 결함을 전위(dislocation)라 하며, 전위의 이동에 의하여 재료의 변형이 일어난다.

재료를 가공하면 변형에 따른 전위가 발생한다. 변형이 진행될수록 발생한 수많은 전위가 서로 얽혀 더 이상의 변형을 방해하게 된다. 이와 같이 가공이 진행됨에 따라 강도와 경도가 증가하고, 연성과 전성이 감소하는 현상을 가공 경화(work hardening)라고 한다.

가공 경화된 재료는 항복점이 높아지고 단단해지지만, 메짐성이 커져서 무리하게 가공을 계속하면 결국 재료는 파괴되고 만다.

▶ 전위(dislocation)란 결정체 내에서 생기고 있는 원자 배열의 흐트러짐이나, 외력에 의하여 생기는 결정면의 미끄럼으로 예상되는 원자 배열의 이동을 말한다.

2] 재결정

가공 경화된 재료를 특정한 온도로 가열한 후 일정 시간 동안 유지하면 가공 경화 현상이 없어지고 변형이 없는 새로운 결정이 생겨나는데, 이것을 재결정(recrystallization)이라고 한다. 재결정 온도는 1시간 동안에 100% 재결정이 완료되는 온도를 말한다.

[표 1-4] 주요 금속의 재결정 온도

금속	재결정 온도(° C)	녹는점(° C)	금속	재결정 온도(° C)	녹는점(° C)
Sn	-7~25	232	Au	200	1,063
Pb	-3	326	Cu	200	1,083
Zn	5~25	419	Fe	450	1,539
Al	150	660	Ni	600	1,455
Mg	200	650	Mo	900	2,610
Ag	200	960	W	1,200	3,380

재결정이 끝난 재료의 강도는 크게 떨어져 가공 전의 상태로 돌아가는데, 이러한 열처리를 풀림(annealing)이라고 하며, 회복 → 재결정 → 결정립 성장의 세 단계로 진행된다. [표 I-4]에 주요 금속의 재결정 온도를 나타내었다.

5 냉간 가공과 열간 가공

1] 냉간 가공

냉간 가공(CW : Cold Working)은 금속 재료를 재결정 온도 이하에서 가공하는 것을 말한다. 냉간 가공을 하면 재료가 단단해지는 가공 경화 현상이 나타난다. 최종 제품인 경우에는 가공 경화에 의하여 강도가 향상되는 효과가 있다. 반면에, 냉간 가공을 계속하려면 가공 중간에 풀림 열처리를 하여 재질을 연화시키고 다시 냉간 가공을 해야 한다.

냉간 가공은 두께가 얇은 판이나 가는 선 등과 같이 열간 가공이 곤란한 제품이나 열간 가공된 재료의 마무리 공정으로 하는 경우가 많다. 따라서, 냉간 가공된 제품은 치수가 정확하고 표면이 깨끗하며 강인성이 우수하다.

2] 열간 가공

열간 가공(HW : Hot Working)은 금속 재료를 재결정 온도 이상으로 가열한 뒤 가공하는 것을 말한다. 재결정 온도 이상의 고온에서는 재료의 변형이 쉽기 때문에 비교적 작은 동력으로도 크게 변형시킬 수 있다. 또한 변형과 동시에 재결정이 일어나므로 가공 경화 현상이 나타나지 않는다.

열간 가공은 변형과 재결정을 반복하는 과정에서 거칠고 큰 주조 조직을 미세화시키고, 불순물에 의한 편석과 결함을 제거하여 균일한 재질을 얻을 수 있다. 그러나 정확한 치수로 가공하기 어렵고 제품 표면이 산화되어 깨끗하지 않으므로, 일반적으로 열간 가공한 뒤 냉간 가공으로 마무리한다.

탐구활동

철사의 변형률 계산

- ▶ 길이가 100mm인 철사를 잡아당겼더니 135mm로 늘어났다. 이 철사의 변형률을 계산하여 보자.
(l : 늘어난 길이, l_0 : 처음 길이)

$$[\text{풀이}] \text{ 변형률}(\epsilon) = \frac{l - l_0}{l_0} \times 100 = \frac{135 - 100}{100} \times 100 = 35(\%)$$