성명:____________________

학번:____________________

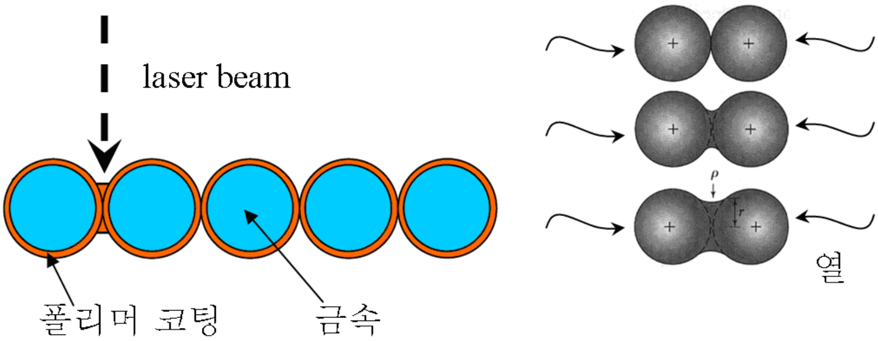
Manufacturing Processes (446.305A)

Final Exam

December 12, 2007

답은 별도의 답안지에 작성하고, 문제지와 답안지에 성명과 학번을 기입하여 모두 제출하기 바랍니다.

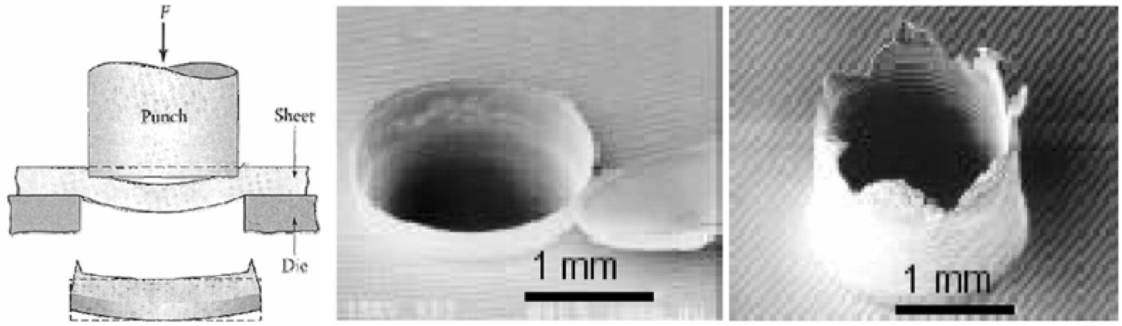
1. [30점, 10분] 다음 문제에 답하시오.
   A. 다음 두 그림은 입자들을 접합하는 공정이다. 이들의 공통되는 이름을 쓰고, 이 공정에 대해 간단히 설명하시오.



(a) (b)

Answer: Sintering (소결). Diffusion bonding. Melting temperature 보다 낮다.

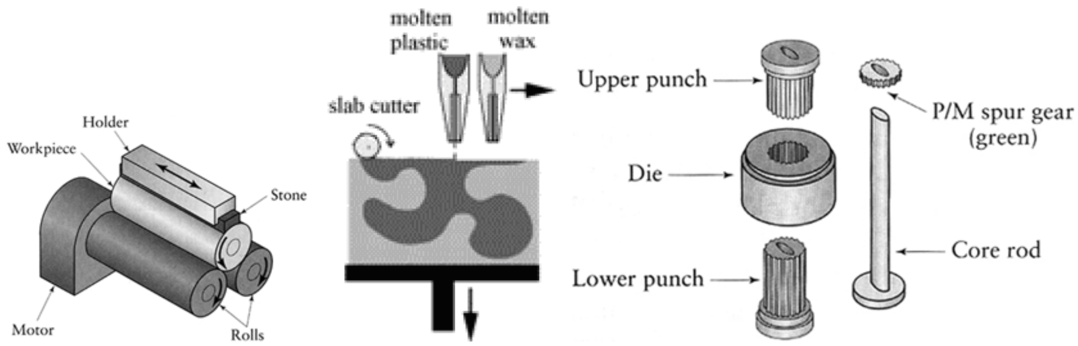
   B. 다음 그림에 공통된 불량 형상의 이름을 쓰고, 이를 제거하는 방법을 간단히 설명하시오.



(a) (b)

Answer: Burr. 생기기 전에 없애는 방법은 가공 parameter 수정하기. (절삭 속도, feed rate 등) 생긴 후에 없애는 방법은 수작업. (burr 제거 공구를 사용)

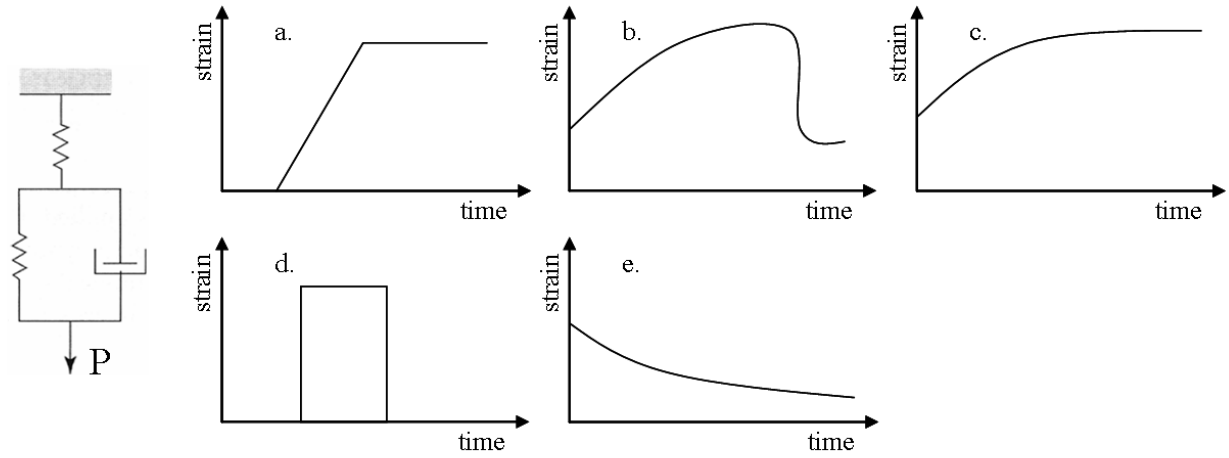
   C. 다음 세 가지 경우의 제작된 표면의 표면 거칠기 값 R_a가 가장 낮은 공정은 어떤 것인가?



(a) (b) (c)

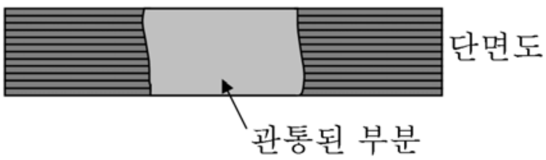
Answer: a.

D. 다음은 어떤 폴리머의 점탄성 (viscoelastic) 특성을 spring과 dash-pot 모델로 나타낸 것이다. 이 재료에 하중 P를 초기 (t=0)에 가하고 이를 유지하는 경우, strain vs. time 곡선으로 가장 적당한 것은?



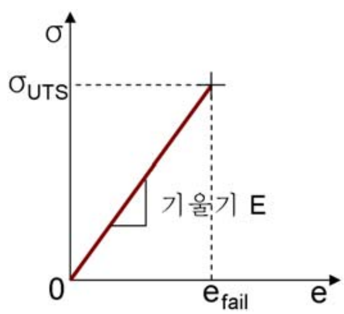
Answer: c.

E. 표면이 5 mm 두께의 알루미늄 합금으로 된 전투기가 총알에 관통되었다. 주위에 1 mm 두께의 알루미늄 판재와 epoxy 합성 수지가 있다면 이를 사용하여 긴급히 보수할 수 있는 방법을 그리시오.



Answer: Single or double lab joint. 구멍보다 크게 해서 대도록. 깨진 부분은 안 채워도 무방.

2. [20점, 15분] 연속 섬유 (continuous fiber) GFRP는 1800 MPa의 인장 강도 (tensile strength)와 69 GPa의 강성 (modulus)을 가진 glass fiber와 55 MPa의 인장 강도와 4.0 GPa의 강성을 가지는 어떤 폴리머 A로 구성되어 있다. 이 중 glass fiber가 40 vol%, polyester resin이 60 vol%를 차지할 때 다음 질문에 답하시오. 두 재료는 모두 우측과 같은 stress-strain 그래프를 보인다.



A. 복합재의 길이 (longitudinal) 방향으로의 강성 (modulus)을 구하시오.

Answer: $\overline{E} = v_f E_f + v_m E_m = (0.4)(69) + (0.6)(4.0) = 30GPa$

B. 단면이 250mm^{2}이고, 50 MPa의 stress가 longitudinal 방향으로 가해졌을 때, fiber와 matrix phase에 걸리는 load를 각각 구하시오. 단, fiber와 matrix에 가해지는 힘의 비율은 다음과 같다.

$$\frac{F_f}{F_m} = \frac{E_f \times v_f}{E_m \times v_m}$$, v_f: vol% of glass fiber, v_m: vol% of matrix (polyester resin)

Answer: $\frac{F_f}{F_m} = \frac{E_f \times v_f}{E_m \times v_m} = \frac{69 \times 0.4}{4.0 \times 0.6} = 11.5$

$$F_f = 11.5 F_m$$

$$F = F_f + F_m = \overline{A} \times \overline{\sigma} = 250mm^2 \times 50MPa = 12{,}500N$$

$$11.5F_m + F_m = 12.5F_m = 12{,}500N$$

$$F_m = 1{,}000N \;\; F_f = 11{,}500N$$

C. 복합재는 이종 재료가 섞여 있기 때문에, 연속 재료의 특성과는 조금 다른 특성을 나타낸다. 그 예로, 인장에 의한 파손 시, fiber가 먼저 끊어지고 resin이 안 끊어지거나, 그 반대의 경우가 있을 수 있다. 위의 복합재를 길이 방향으로 당길 경우, fiber와 resin 중 어느 것이 더 오래 버티겠는가? 둘 중 한 재료가 파손되기 직전에 전체 복합재가 견딜 수 있는 stress를 구하시오.

Answer: $e_f = \frac{1800 \times 10^6}{69 \times 10^9} = 2.61 \times 10^{-2}$, $e_r = \frac{55 \times 10^6}{4.0 \times 10^9} = 1.38 \times 10^{-2}$

Fiber가 파손되기 전에 resin이 먼저 파손된다. 즉, fiber가 더 오래 버틴다.
따라서 resin이 파손되기 직전 fiber로 전달되는 stress는 다음과 같다.

$$\sigma_f = E_f \varepsilon_m = 69 \times 1.38 \times 10^{-2} = 949MPa$$

전체 복합재로 전달되는 stress는 다음과 같다.

$$\overline{\sigma} = v_f \sigma_f + v_m \sigma_m = 0.4 \times 0.949 + 0.6 \times 0.055 = 413MPa$$

3. [25점, 25분] 엔드밀 (end mill) 공정에서 비용함수와 소요 시간 함수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_T = C_M + C_R$$

$$C_M = W_M \times T_M$$

$$C_R = \frac{T_C}{N_P} \times W_M + \frac{C_{tool}}{N_P}$$

$$N_P = \frac{T}{T_M}$$

C_T = 총 비용
C_M = 가공 비용
C_R = 공구 교체 비용 및 공구 비용
W_M = 분 당 노동 임금 (won/min)
T_M = 가공 시간
T_C = 공구 교체 시 걸리는 시간
T = 공구 수명
C_{tool} = 공구 가격
N_P = 공구 하나로 가공할 수 있는 부품(채널)의 수

A. 현재 폭이 1 mm이고, 길이가 1 m인 직선 채널을 가공하고자 한다. 두 공구 모두 TiN으로 코팅하였고, 직경이 200 μm인 공구(1번 공구)와 직경이 100 μm인 공구(2번 공구)가 있다고 할 때, 다음의 조건에서 각각의 총 비용을 구하여라.

조건
Material Removal Rate (MRR)은 두 경우 다 20 mm^3/min으로 동일
절삭 깊이 (Depth Of Cut): 0.05 mm
공구 교체 시 걸리는 시간 (T_C): 5 분
분 당 노동 임금 (W_M): 500 원
공구 가격 (C_{tool}): 1번 공구: 15,000 원
2번 공구: 5,000 원
공구 날 당 절삭 거리 [mm/tooth]: 1번 공구: 0.02
2번 공구: 0.01
공구 날의 개수: 모두 4개로 동일
Taylor 공구 수명 식 상수: n = 1/3, C = 18000

Answer:

Given	Notation	1번 공구	2번 공구	Unit
Diamenter	D	0.2	0.1	mm
공구 날 당 절삭 거리	t	0.02	0.01	mm/tooth
Width Of Cut	woc	0.2	0.1	mm
Depth Of Cut	doc	0.05	0.05	mm
공구 날의 개수	n	4	4	tooth/rev
Material Removal Rate	MRR	20	20	mm3/min
Tayler 지수	n	0.33	0.33	-
Tayler 상수	C	18000	18000	-
공구 가격	C_tool	15000	5000	won
분 당 노동 임금	W_m	500	500	won/min
공구 교체 시 걸리는 시간	T_c	5	5	min
전체 가공 길이	L	1000	1000	mm
Answers	**Notation**	**1번 공구**	**2번 공구**	**Unit**
Feed rate	v	2000	4000	mm/min
회전 속도	N	25000	100000	rev/min
Cutting speed	V	15708	31416	mm/min
공구 수명	T	1.50	0.19	min
가공 시간	T_M	0.5	0.25	min
공구 하나로 가공할 수 있는 부품의 수	N_p	3.01	0.75	
가공 비용	C_M	250	125	won
공구 교체 비용 및 공구 비용	C_R	5815	9969	won
총 비용	C_T	6065	10094	won

B. 위 조건 중 MRR을 제외하고 다른 조건이 동일하다고 가정하였을 때, 1번 공구를 사용할 시에 최소의 비용을 발생시키는 절삭 속도 (cutting speed) V [mm/min]를 구하고자 한다. $C_T = AV^2 + B\frac{1}{V}$

꼴로 총 비용 식을 정리하여 A와 B를 구하고, 미분을 통해 최소 비용을 발생시키는 절삭 속도를 찾으시오.

Answer:

$C_T = C_M + C_R$

$C_M = W_M + T_M,\ C_R = \frac{T_C}{N_P} \times W_M + \frac{C_{tool}}{N_P},\ N_P = \frac{T}{T_M}$ 에서

$f = n \times N \times t,\ V = \pi \times D \times N,\ T_M = \frac{L}{f},\ VT^n = C$이므로

$C_T = W_M \times \frac{L}{f} + T_C \times \frac{T_M}{T} \times W_M + C_{tool} \times \frac{T_M}{T}$ 이고

$\frac{1}{f} = \left(\frac{\pi D}{nt}\right)\frac{1}{V},\ \frac{1}{N_P} = \frac{T_M}{T} = \frac{L}{f \times \left(\frac{C}{V}\right)^3} = \frac{LV^3}{fC^3} = \frac{LV^3}{C^3} \times \left(\frac{\pi D}{nt}\right)\frac{1}{V} = \left(\frac{L\pi D}{C^3 nt}\right)V^2$

$C_T = W_M \times \frac{L\pi D}{nt}\frac{1}{V} + (T_C \times W_M + C_{tool}) \times \left(\frac{L\pi D}{C^3 nt}\right)V^2$

따라서 $A: (T_c \times W_m + C_{tool}) \times \left(\frac{L\pi D}{C^3 nt}\right)$이고, $B: \frac{W_m \times L\pi D}{nt}$ 이다.

이것을 계산하면,

$A = 2.356733172e-05,$ $B = 3926990.817$이다.

위 식을 정리하면,

$C_T = AV^2 + B \times \frac{1}{V}$이므로, 이것을 미분하여 V에 관하여 정리하면,

$2AV - BV^{-2} = 0$이므로

$V = \sqrt{3} of \frac{B}{2A} = 4367.569506$이다.

4. [25점, 25분] Fig.4-1과 같이 탄성-완전 소성 변형(elastic-perfectly plastic)하는 두께 h, 폭 b, 길이 L 인 beam 이 있을 때, 다음 물음에 답하여라.

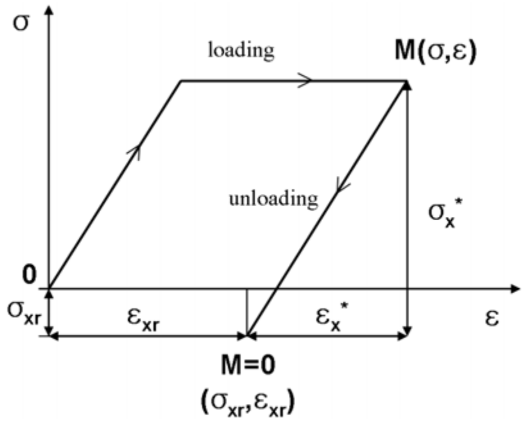


Fig.4-1

A. 원통형 다이를 사용하여 Fig.4-2 와 같이 굽힘 반경 R ($R = \frac{Eh}{4Y}$, E: Elastic modulus, Y: Yield stress)이 되도록 굽힘 moment를 가하여 beam을 구부렸을 때, beam의 중심 (y=0)에서 소성변형이 시작되는 지점까지의 거리($\bar{y}$)를 구하여라. 단, 굽힘 반경 R 만큼 굽혔을 때, beam의 y축 방향으로의 stress profile에는 Fig.4-3 과 같이 탄성 변형과 소성 변형 영역이 모두 존재한다고 가정한다. (굽힘 moment에 의한 길이방향 (x축) strain $\varepsilon_x = \frac{y}{R}$)

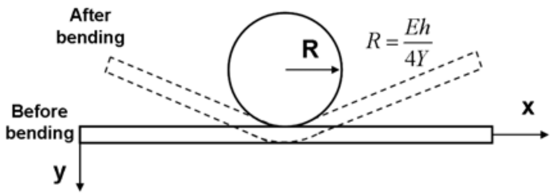


Fig.4-2

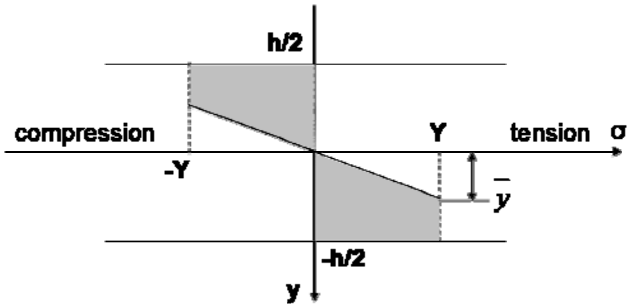


Fig.4-3

Answer: $y=\bar{y}$ 에서 $Y = E\varepsilon = E\frac{\bar{y}}{R}$ $\therefore Y = E\bar{y}\frac{4Y}{Eh}$ $\therefore \bar{y}=\frac{h}{4}$

B. 위에서 구한 $\bar{y}$ 로 부터 이 때의 굽힘 moment M을 계산하여라.

(굽힘 moment $M=\int_{y_1}^{y_2}\sigma_x ybdy$, 길이방향 (x축) strain $\varepsilon_x = \frac{y}{R}$)

Answer: $M=\int_{-\frac{h}{2}}^{-\bar{y}} y(-Y)bdy + \int_{-\bar{y}}^{\bar{y}} y(\frac{Y}{y})ybdy + \int_{\bar{y}}^{\frac{h}{2}} y(Y)bdy = \frac{bYh^2}{4} - \frac{bY\bar{y}^2}{3} = \frac{11}{48}bYh^2$

($\because -\bar{y}\le y\le\bar{y}$ 에서 $\sigma_x = \frac{Y}{\bar{y}}y$)

C. B에서 beam에 작용하는 굽힘 moment를 제거하면, 즉 –M의 회복 굽힘 moment를 작용하면, beam이 탄성적으로 반응하여 응력 및 변형이 탄성적으로 회복(elastic recovery) 된다. (Fig.4-1, Fig.4-4 참고) 이를 바탕으로 굽힘 moment가 제거된 이후의 beam의 굽힘 반경을 구하여라.

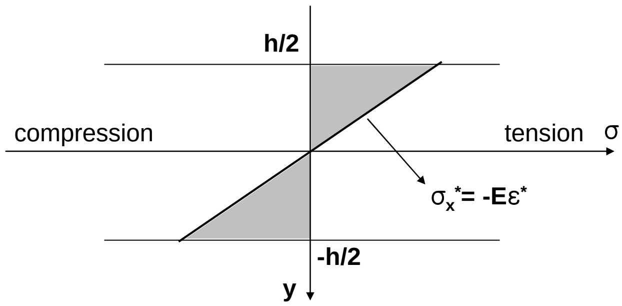


Fig.4-4

Answer: $-M=\int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} y\sigma_x^{*}bdy = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} y(-Ey\frac{1}{R^*})bdy$ ($\because \varepsilon^* = \frac{y}{R^*}$)

굽힘 moment M과 회복 굽힘 moment –M은 방향이 반대이고 크기가 같으므로

$\frac{11}{48}bYh^2 = -\frac{1}{12}bh^3E\frac{1}{R^*}$ $\therefore \frac{1}{R^*} = \frac{11Y}{4Eh}$

$\therefore \frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{R} - \frac{1}{R^*} = \frac{4Y}{Eh} - \frac{11Y}{4Eh} = \frac{5Y}{4Eh}$

$\therefore$ 최종 굽힘 반경은 $\frac{4Eh}{5Y}$