

< 論 文 >

이 단홈형 칩브레이커의 메카니즘

이 우 영* · 신 호 철**

(1987년 9월 3일 접수)

Chip Breaker Mechanism with Double Step Grooves

Woo Young Lee and Hyo-Chol Sin

Key Words: Chip Breaker, Metal Cutting(절삭), Cutting Condition(절삭조건), Chip Materials(칩재질), Chip Curl(칩폭물), Chip Breaking Criterion(칩파괴 판별조건)

Abstract

For the factory automation and unmanned machine operation, it is very important to manufacture highly reliable and efficient chip breakers for optimal chip control. In this research, using the CALMA CAD/CAM SYSTEM, the manufacturing process of 3-dimensional chip breakers is established. Using the results of the cutting test of the selected chip breakers with double-step grooves, the chip breaking mechanism is schematically analysed. An expression for the chip breaking relation is derived which considers chip material behavior following LUDWIK's stress-strain curve, chip breaking criterion and the shape of chip breakers. This contains the thickness of chip, the radius of chip curl, and the mechanical properties of chip materials. It is found that the expression agrees very closely with the experimental results.

1. 서 론

절삭가공에 있어서 칩의 형태는 제품의 생산성에 밀접한 영향을 끼치게 된다. 단일 절삭시 발생하는 칩의 형태가 적절치 못하면 정상적인 생산활동이 자주 중단되어지고, 작업의 안전, 가공물의 표면조도 및 예측치 못한 공구의 파손등 많은 시간적 물질적 손해를 가져오게 된다^(1,2). 최근에는 NC 공작기계를 근간으로 하는 공장의 자동화 및 무인화의 급속한 추세를 따라

러종류의 피삭재 특히, 난삭재에 대하여 좀더 넓은 절삭가능 범위를 가지면서 고능률 고신뢰성의 공구가 절실히 요구되고 있다. 본연구에서는 현재 많이 사용되고 있는 칩브레이커로서 전체적으로 삼차원곡면 형상을 지니면서 인선방향으로 2 단홈(double-step groove)의 형상을 지닌 칩브레이커를 대상으로하여 CAD/CAM 시스템에 의한 제작방법을 제시하였고, 칩처리에 있어서의 지배적인 절삭조건과 칩의 폭물이론의 고찰 및 절삭시험을 통하여 칩브레이커의 절삭-이탈 메카니즘을 연구하고 이를 바탕으로 칩파괴 판별식을 유도 하였다.

2. 3차원 칩브레이커의 제작

본 연구에서는 CAD/CAM 시스템으로 CALMAS-

* 정희원, 서울대학교 대학원

** 정희원, 서울대학교 공과대학 기계설계학과

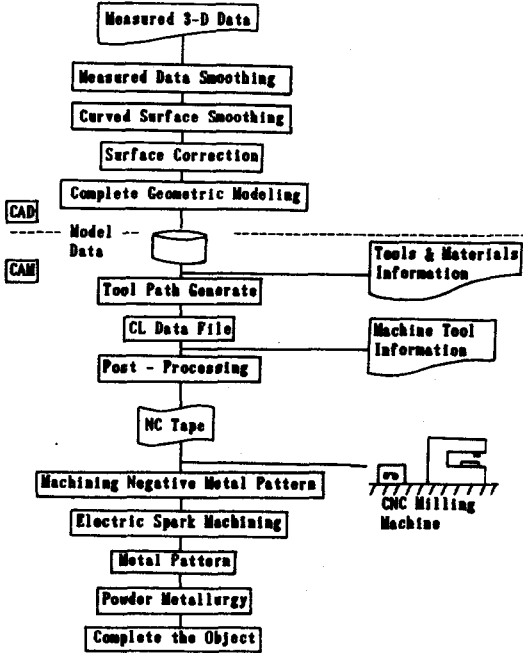


Fig. 1 Overall procedure

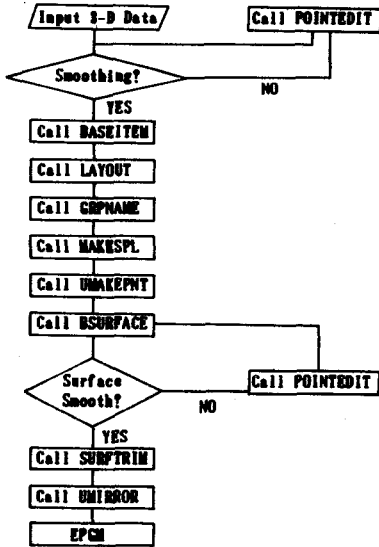


Fig. 2 Flow chart of main program

2000 을 이용하였는데 이는 컴퓨터 본체에 CALMA 회사의 소프트웨어 패키지를 엮어 놓은 것으로서 CPU로서는 ECLIPSE가 사용되었으며 소프트웨어로는 CDOS 오퍼레이팅 시스템에서 실행되는 DDM/3D(design drafting, and manufacturing)와 NC 밀링 어플리케이션 패키지(NC milling applications package)를 사용하였는데 특징으로는 DAL(design analysis language)-

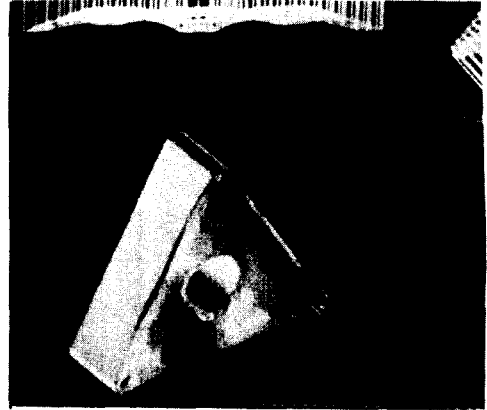


Fig. 3 Display of shading image

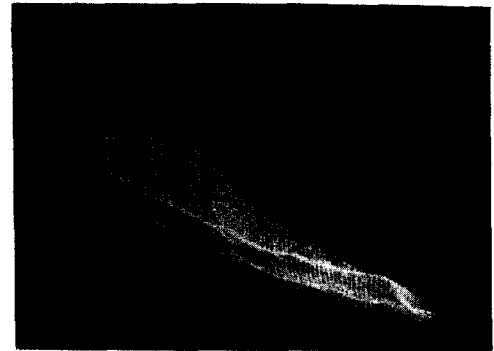


Fig. 4 Tool path display of 1/6 configuration



Fig. 5 Machining

프로그램을 사용자가 작성함으로써 데이터 파일의 정보를 사용자가 직접 이용하면서 대화식으로 도형 생성 및 도구제작, NC 정보등을 출력할 수 있다. 전체적인 흐름도를 Fig. 1에 나타내었으며 DAL-프로그램



Fig. 6 Side view of die

램 흐름도 및 출력을 Fig. 2~Fig. 7에 나타내었다. 본문에 제시된 제작방법은 수작업이 불가능한 임의의 삼차원 칩브레이커의 설계 및 제작에 적용할 수 있다.

3. 칩의 처리와 지배적인 절삭 조건

Nakayama⁽³⁾는 칩의 처리에 있어서 다음과 같은 3

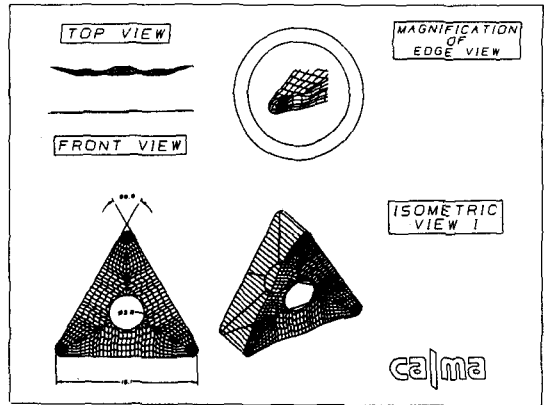


Fig. 7 Drawing of model

가지 지배적인 절삭 조건을 제시하였다.

- (1) 칩 두께
- (2) 칩 곡률 반지름
- (3) 칩 재질의 기계적인 성질

또한, 이들을 결정하는 여러 절삭조건들과의 관계를 Fig. 8에 나타내었다. 칩 두께 t 는 칩 두께비 C_t , 이송속도 f 및 공구 절삭날자(tool cutting edge angle) κ_r 에 의해 결정되어지고, 공구 모서리의 반지름 r_c 와 절입 깊이 a 의 영향도 받는다. 또한 칩 두께비는 기

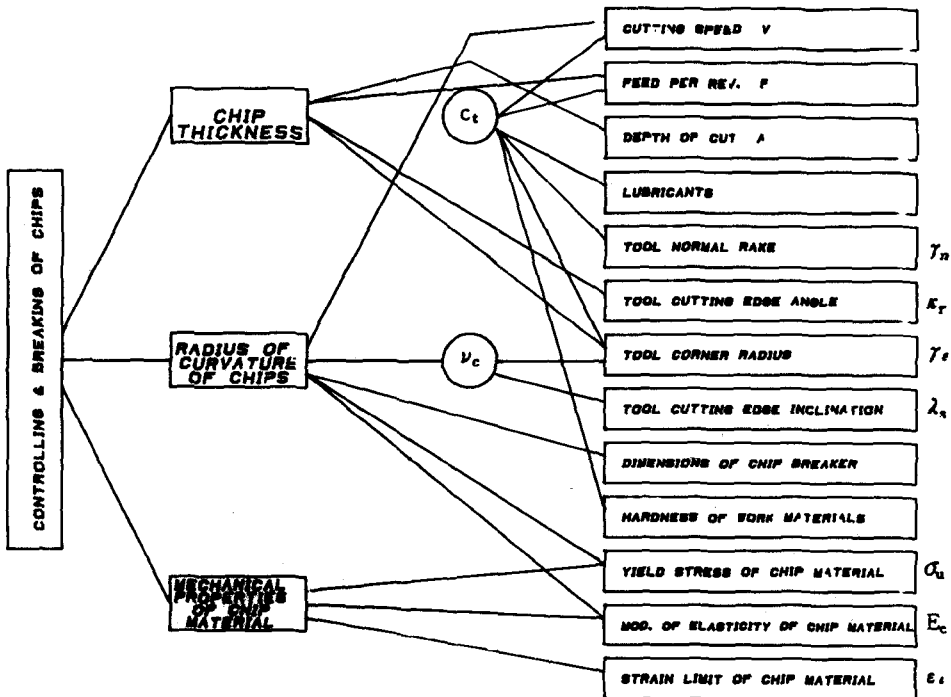


Fig. 8 Relations between various cutting conditions and chip control

본절삭 조건 (v, f, a), 윤활제의 종류, 공구의 기하학적 형상 (γ_n, κ_r, r_c) 및 피삭재의 기계적성질에 의하여 좌우된다. 칩재질의 기계적 성질인 탄성계수 E_c , 항복응력 σ_c 및 극한변형률 (limit strain) ϵ_c 은 칩의 처리에 직접적인 영향을 준다.

Zhang 등⁽⁴⁾은 앞에서 열거한 3가지 지배적인 절삭 조건들을 포함하는 칩 파괴 판별조건을 완전 탄소성이론으로 제시하고 장애물 부착형 칩브레이크의 형상을 고려한 칩 브레이크 설계식을 유도하였는데 그는 칩의 인장 시험시의 극한변형률과 실제 절삭과정에서의 파괴변형률과의 관계식을 유도해냄에 있어서 다소 무리한 가정을 도입함으로써 실제에 적용하기에는 문제점이 있다.

4. 칩의 자연곡률 이론 (Natural Chip Curl)

앞절에서 칩의 곡률반지름이 효율적인 칩처리를 좌우하는 중요한 요소가 된다는 것을 고찰하였다. 칩 브레이크를 갖추지 않은 공구로 절삭하였을 때의 칩, 즉 자연발생칩에 대한 곡률이론은⁽⁵⁻⁷⁾ 1960년대 이전까지는 제 1 소성역 (primary deformation zone)에서 칩의 곡률이 기원한다고 하였는데 (Fig. 9) Ernst와 Merchant는 제 1 소성역에서의 칩의 속도 분포가 위치에 따라 다르기 때문에 곡률이 생기는 것으로 보았으며,

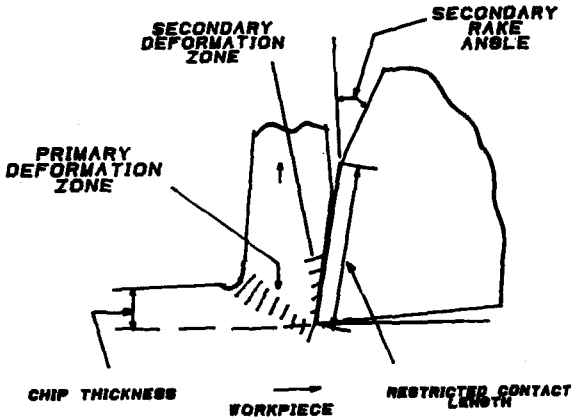


Fig. 9 Orthogonal cutting showing zones of plastic deformation

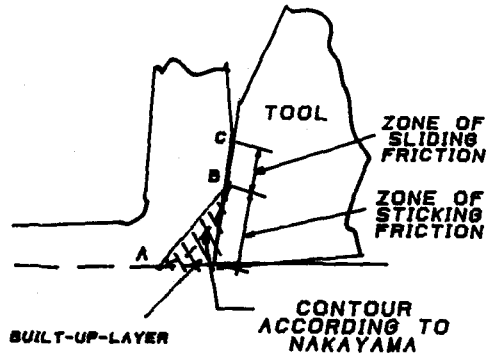


Fig. 10 Orthogonal cutting showing the built up layer

Lee와 Shaffer 그리고 Hahn은 제 1 소성역에서의 열 변형 및 잔류응력에 기인하는 것으로 간주하였다. 이들의 이론 이후에 제 2 소성역의 영향에 근거한 메카니즘이 나오기 시작하였는데, Nakayama 등은 어떤 절삭조건 아래서 Fig. 10과 같이 위쪽이 오목한 삼각형 모양의 빌트업-레이어가 존재하며 칩은 그 외곽을 따라 지나면서 곡률이 형성된다고 하였으며, 기타 전단 변형의 차이에 의한 입자의 회전이동에 의한 영향, 전단면에 작용하는 굽힘모멘트의 차이, 최소에너지원소모하는 형태로 빌트업-레이어가 변하며 곡률이 형성된다는 이론들이 발표되었다.

5. 실험

본 연구에서는 이단홀을 가진 세가지 종류의 칩브레이크 각각에 대하여 다음과 같이 절삭시험을 하였다.

5.1 실험장치 및 재료

- 공작기계 : 통일 CNC 선반
AC 15kW (20hp), 13~3200rpm (무단변속)
- 칩브레이크 : (i) 종류 : A형, B형-삼각형, C형-마름모형
A형은 본 연구에서 제작한 것을 사용하였으며 B형과 C형은 현재 상용인 것을 선택하였다.

Table 1 Chemical compositions and mechanical properties of SCM 440

%	C	S _i	M _n	P	S	C _r	M ₀	Yield point (N/mm ²)	Tensile strength (N/mm ²)	Elongation percentage (%)	Hardness (HB)
SCM 440	0.4	0.2	0.7	0.03	0.03	1.0	0.2	840	990	12	290

(ii) 재질 : WC

○ 피삭재 : KS SCM440

화학적 성분 및 기계적 성질은 Table 1과 같다.

5.2 실험방법

- 공구이송속도(mm/rev) : 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6
- 절입량(mm) : 1, 2, 3, 4, 5
- 절삭속도(m/min) : 100 for A-type, B-type
150 for C-type

6. 실험결과 및 고찰

6.1 실험결과

적합한 형태의 칩의 기준은 여러가지^(1, 8-11)가 있는데 대개 'C' 또는 'G' 모양의 칩을 말한다. 본 실험의 결과로서 적합한 형태의 칩에 대한 절삭가능 범위를 Fig. 11에 도시 하였는데 본 실험함으로써 이단흡형 칩브레이커가 다른 칩브레이커보다 더욱 성능이 우수하다

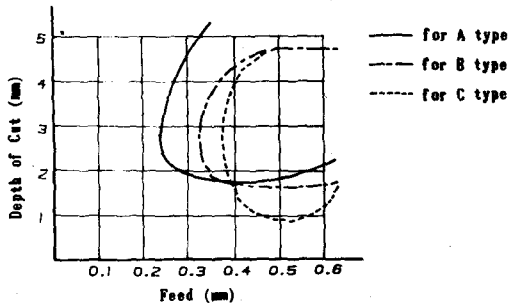


Fig. 11 Optimal chip form regions

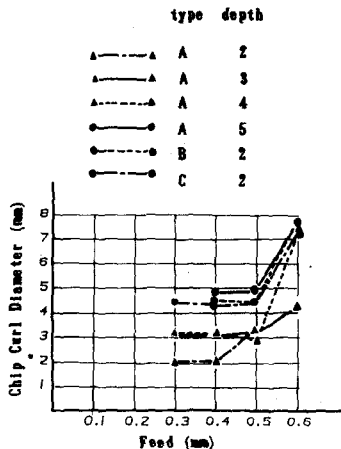


Fig. 12 Chip curl diameter vs. feed for different depths of cut

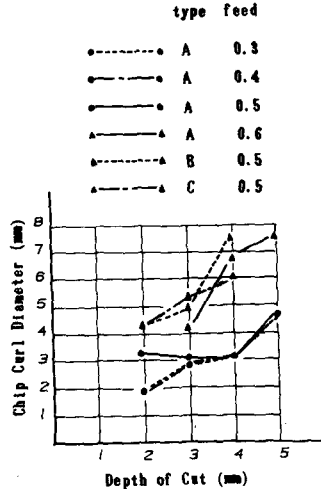


Fig. 13 Chip curl diameter vs. depth of cut for different feeds

는 증거는 찾을 수 없었으나 공구의 마멸 및 절삭저항에 관한 더 많은 실험으로 규명되어져야 할 것으로 사료된다. Fig. 12는 적합한 형태의 칩에 대하여 각각의 절입깊이에 대한 공구이송 속도와 칩폭을 반지름의 관계를 Fig. 13은 각각의 이송속도에 대한 절입깊이와 칩폭을 반지름의 관계를 나타내고 있다.

Fig. 12를 보면 어느 임계 이송 이전까지는 이송이 증가함에 따라 칩폭을 반지름이 어느정도 일정한 크기를 유지하게 되나, 그 이상이 되어 버리면 갑자기 어느정도 증가 하는것을 볼 수 있다. 이러한 이유로는 칩 두께는 이송과 비례관계에 있으므로 어느 임계두께 t_c 이전까지는 칩의 곡률반지름이 칩 브레이커의 홈반지름 r_0 에 근사한 값을 가지게 되고 그 이상이 되면 제 1소성역에서의 응력계의 평형상태를 유지하기 위하여 곡률이 감소하게 되는 것으로 여겨진다. 이러한 경향은 Worthington의 실험메타도표⁽¹²⁾에서도 나타나는 데 흡형 칩 브레이커에서만 국한되어 나타나는지의 여부는 더 알아보아야할 과제이다. Fig. 13에서는 절입량이 증가함에 따라 각각의 이송에서 다같이 칩폭을 반지름이 증가된 것을 보여준다. 이것은 절입량이 증가함에 따라 칩의 단위길이당 체적탄성에너지의 증가에 따른 곡률의 감소에 기인하는 것으로 생각할 수가 있다. 이상의 결과로부터 다음과 같은 칩 브레이킹 메카니즘을 제안할 수 있으며 아울러 칩 파괴 관계식을 유도해 낼 수 있다.

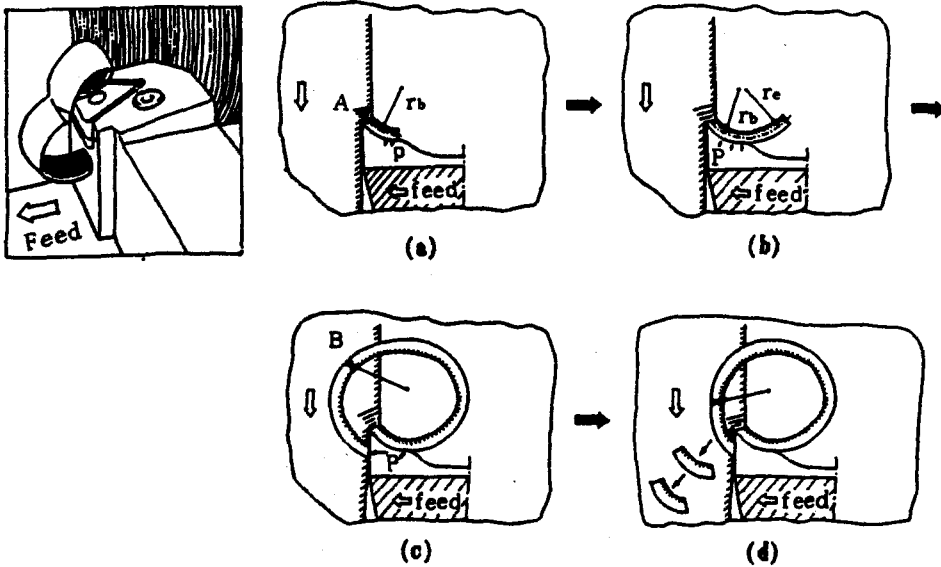


Fig. 14 Chip breaking process ($0 < t < t_c$)

6.2 이단홀 형상의 칩브레이커에 대한 메카니즘

(1) 칩 두께 t 가 $0 < t < t_c$ 일때 (t_c 는 임계두께, 피삭재의 재질에 따라 결정)

칩의 나선각(helix angle)이 무시될 정도로 작다고 가정하면 피삭재로부터 이탈한 칩의 파괴과정(breaking process)은 다음과 같이 기술된다.

(가) 칩 브레이커 홈으로 돌아가기 전의 칩은 곧은 띠의 형태(straight ribbon form)를 띠며⁽⁵⁾, 칩 재질은 A부근에서 전단변형을 일으키며 홈입구를 향하게 된다. 이때 재료의 기계적 성질이 심한 마찰열 및 냉각재의 영향등으로 인하여 변화된다[Fig. 14(a)].

(나) 홈안으로 들어간 칩의 선단부는 반력 P를 받게되며 이로 인하여 A부근에서 전단변형을 계속 일으켜서 목물반지름 r_b 를 갖고 홈에 밀착되어 유출한다. 한편 A점을 통과한 칩은 탄성(elastic)상태로 회복된다[Fig. 14(a)].

(다) 칩이 홈을 빠져나온다. 이때 칩의 반지름은 탄성회복(elastic recovery)에 의하여 r_b 에서 r_e 로 증가하게 된다. (Fig. 14(b))

(라) 칩의 선단이 공구의 측면(flank), — 공구몰더의 측면 혹은 피삭재의 바깥면에 부딪히게 되고 반력 P' 에 의하여 반지름은 점점 증가하게 된다[Fig. 14(c)].

(마) 목물반지름이 최대가 되는 B점에서 소성변형

을 수반한 파괴변형을 ϵ_r 에 달하게 되며 칩은 파괴를 일으킨다[Fig. 14(d)].

(바) 이탈한 칩은 탄성복원(elastic spring back)을 일으켜 결국은 홈의 반지름과 대략(0.8 배 ~ 1.3 배) 같게 된다[Fig. 14(d)].

이와 같이 하여 정상상태에 달하게 되면 연속적으로 같은 형태의 칩이 배출된다.

(2) 칩두께 t 가 $t_c \leq t$ 일때

공구의 이송속도를 증가시키에 따라 칩의 두께가 점점 증가하게 되며 임계두께 t_c 를 넘게되면 칩의 파괴과정은 다음과 같이 변화한다.

(가) 칩은 곧은 띠의 형태로 절삭이 되며 유입각이 θ 가 될때까지는 반력 P보다는 A 지점에서의 전단변형에 필요한 힘이 더 크므로 A 지점에서 더 큰 전단변형

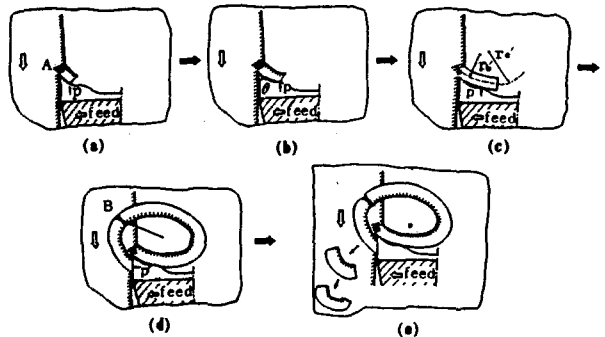


Fig. 15 Chip breaking process ($t_c \leq t$)

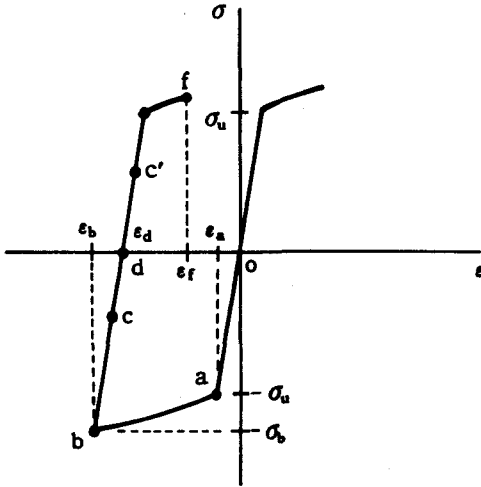
은 일어나지 않고 굽힘을 일으키며 유출된다. 또한 앞서의 경우와 마찬가지로 재료의 기계적 성질은 변화된다[Fig. 15(a), (b)].

(나) 유입각이 θ 이상 부터는 반력 P 에 의한 모우멘트와 칩의 굽힘 모우멘트가 평형을 이루기 위하여 A 지점에서 최초의 전단각보다 좀더 큰 전단변형이 진행되며 칩중간 부분에서는 탄성회복(elastic recovery)이 동시에 진행되어 곡률반지름 r_b' 를 갖게 된다. 따라서 홈 바닥면과 칩과는 틈새를 이루며 유출되고 이로 인하여 칩의 냉각이 더욱 촉진되며 공구상면의 마멸이 감소되므로 [공구의 수명에 유리할 것으로 판단된다 Fig. 15(e)].

(다) 홈을 빠져나온 칩은 탄성회복이 전체적으로 진행되어 반지름은 r_s' 로 증가되고[Fig. 15(c)]

(라) 반력 P' 에 의하여 B 에서 최대반지름을 갖게 되면[Fig. 15(d)]

(마) 파괴 변형률 ϵ_f 에 달하게 되어 칩은 파괴를 일으킨다. [Fig. 15(e)] 정상상태에 들어가게 되면 이상과 같은 과정을 반복하게 된다.



- o ab : straight chip formed
- o when $0 < t < t_c$, bc : chip flows in the groove
 c : chip comes out from the groove
 cf : chip broken after elastic recovery
- o when $t_c \leq t$, bc' : chip flows in the groove doing elastic recovery
 c' : chip comes out from the groove
 $c'f$: chip broken after elastic recovery

Fig. 16 Stress-strain diagram of chip material

6.3 칩파괴 판별조건의 제시

칩의 파괴 판별조건으로, 칩이 최대반지름을 가지는 부분에서 최대 변형률 ϵ_{max} 를 가지며 ϵ_{max} 가 극한변형률 ϵ_1 에 달하거나 그 이상이 될 때 파괴가 일어나게 된다.

$$\text{즉, } \epsilon_{max} \geq \epsilon_1 \tag{1}$$

ϵ_1 : (stress free 인) 칩재료의 인장시험시의 극한 변형률

한편, 이러한 판별조건을 적용하기 위해서 칩이 LUD-WIK의 응력-변형률 관계를 따르며 Bauschinger 효과를 무시한다고 가정하고 홈과 접촉하지 않는 반대쪽면(거칠은 면)에서 파괴되는 순간에 크랙이 시작한다고 보면 바깥면에 대해 Fig 16과 같은 응력-변형률 선도로 나타낼 수 있다.

식 (1)과 Fig. 16 으로부터

$$|\epsilon_d - \epsilon_f| \geq \epsilon_1 \text{로 되고} \tag{2}$$

$$\epsilon_d = \epsilon_b + \frac{|\sigma_b|}{E} \tag{3}$$

$$\text{여기서 } |\sigma_b| = \sigma_u + \alpha |\epsilon_b|^\gamma \tag{4}$$

α : 소성계수 (plastic coefficient)

γ : 가공경화지수 (strain-hardening exponent)

한편 중립축(neutral axis)이 칩단면의 중심선에 있다고 가정하면

$$\epsilon_b = -\frac{t}{2r_b} \tag{5}$$

$$\epsilon_f = -\frac{t}{2r_f} \tag{6}$$

식 (3)~식 (6)을 식 (1)에 대입하면

$$\frac{t}{2r_b} - \frac{t}{2r_f} - \frac{1}{E} \left[\alpha \left(\frac{t}{2r_b} \right)^\gamma + \sigma_u \right] \geq \epsilon_1 \tag{7}$$

칩곡률반경비

$$\kappa = \frac{r_f}{r_b} = \frac{\epsilon_b}{\epsilon_f} > 1 \text{로 놓고} \tag{8}$$

식 (8)을 식 (7)에 고려하면

$$\frac{t}{2r_b} \left(1 - \frac{1}{\kappa} \right) - \frac{1}{E} \left[\alpha \left(\frac{t}{2r_b} \right)^\gamma + \sigma_u \right] \geq \epsilon_1 \tag{9}$$

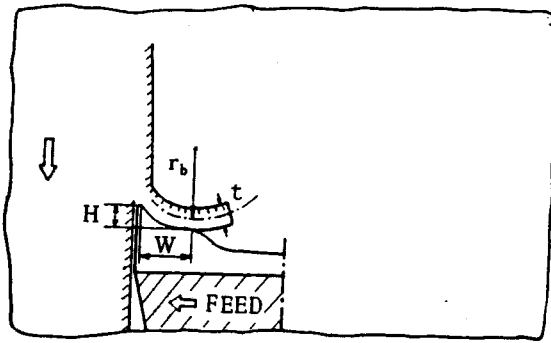
식 (9)가 칩파괴 판별조건식이 된다.

여기서 κ 의 값은 $1.2 < \kappa < 4.0$ 일때⁽¹³⁾ 적합한 형태로 유출된다. 만약 κ 의 값이 지나치게 크면 칩은 공작물 등에 얽히게 되며 κ 의 값이 너무 작아도 절삭력, 마찰열등이 커지므로 공구수명에 불리하다.

6.4 칩파괴 관계식

칩두께 t 는 다음과 같이 나타내어 진다⁽¹⁴⁾.

$$t = c_1 \cdot t_w = c_1 \cdot f \cdot \sin \kappa, \tag{10}$$



H: step height
W: step width

Fig. 17 A schematic diagram of the chip breaker

여기서 c_t : 칩두께비 (chip thickness ratio)

t_0 : 절삭되기전의 칩두께 (undeformed chip thickness)

f : 공구이송속도

κ_r : 공구절삭각 (tool cutting edge angle)

또한 칩이 홈에 밀착되어 흐르는 경우 Fig. 17로부터

$$r_b = \frac{H^2 + W^2}{2H} - \frac{t}{2} = \frac{1}{2} \left(\frac{H^2 + W^2}{H} - t \right) \quad (11)$$

식 (9)의 등호를 취하면

$$\frac{t}{2r_b} \left(1 - \frac{1}{\kappa} \right) - \frac{1}{E} \left[\alpha \left(\frac{t}{2r_b} \right)^r + \sigma_u \right] = \epsilon_i \quad (12)$$

폭과 높이의 비,

$$n = \frac{H}{W} < 1 \text{로 놓고} \quad (13)$$

식 (10), 식 (11), 식 (13)을 식 (12)에 대입하여 정리하면

$$X \left(1 - \frac{1}{\kappa} \right) - \frac{\alpha}{E} X^r = \epsilon_i + \frac{\sigma_u}{E} \quad (14)$$

여기서

$$X = \frac{c_t \cdot f \cdot \sin \kappa_r \cdot n}{W(1+n^2) - c_t \cdot f \cdot \sin \kappa_r \cdot n}$$

따라서 식 (14)를 보면 만약 $c_t, \kappa_r, n, \epsilon_i, \sigma_u, E, W$ 와 κ_{max} 가 주어지면 임계이송 속도 f_{min} 을 구할수 있고 반대로 $c_t, \kappa_r, n, \epsilon_i, \sigma_u, E, W$ 와 κ_{min} 이 주어지면 한계 이송속도 f_{max} 를 구할수 있게 된다. 또한 $c_t, \kappa_r, \epsilon_i, \sigma_u, E, \kappa$ 및 f 가 주어지면 적당한 n 과 W 의 조합해를 구할수 있게 된다.

6.5 이론치와 실험치와의 비교

여러가지 강재(steel)에 대하여 칩의 극한변형률 ϵ_i 은 대략 0.04~0.055라 하고⁽¹³⁾ 칩의 형상수치 및 기타 상수를 Table 2와 같이 입력하였을때 Newton-Raphson 방법에 의한 식 (14)의 이론치와 실험치의 비교는 Table 3과 같다.

Table 3을 볼 때 이론치와 실험치가 임계이송일 경우 대략적으로 잘일치함을 알 수 있었으며 한계이송일 경우도 실험치의 경우 이송속도 0.6 이상은 기계의 허용 동력 및 칩브레이커의 강도문제로 인하여 수행이 곤란하였으나 잘일치할 것으로 사료된다.

Table 2 Input values

	σ_u (N/mm ²)	E (N/mm ²)	ϵ_i	κ_{max}	κ_{min}	κ_r	C_t	α (N/mm ²)	r
Input	840	2E10 ⁵	0.055	4.0	1.2	90°	1.4	689	0.25
Chip breaker configuration								n	W
							A type	0.2	0.8
							B type	0.17	0.95
							C type	0.14	0.9

Table 3 Comparison of experimental and theoretical output values

	A type		B type		C type	
	Exp.	Theory	Exp.	Theory	Exp.	Theory
f_{min}	0.3	0.2236	0.33	0.3090	0.37	0.3524
f_{max}	above 0.6	0.8046	above 0.6	1.1120	above 0.6	1.2677

7. 결 론

본 연구에서는 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) CAD/CAM 시스템을 이용하여 수작업이 불가능한 3차원 형상의 칩브레이커에 대한 제작 방법을 제시하였다.

(2) 칩브레이커의 결삭시험을 통하여 칩브레이킹 메카니즘을 도식적으로 설명하였다.

(3) 칩재질의 기계적 특성, 칩두께 및 칩폭을 반지름을 인자로 하는 칩파피 판별조건을 제시하였다.

(4) 적절한 공구의 선정 및 설계를 위하여, 칩파피 판별조건 및 이단홈의 형상을 고려하여 간단한 칩파피 판별식을 유도하였으며 실험치와 비교적 잘 일치하였다.

본 연구에서 제시된 모든 절차는 일반적인 3차원 형상의 칩브레이커에 대한 설계 및 제작에 적용할 수 있으나 많은 개선의 여지도 함께 가지고 있다. 입계두께 t_c 의 규명, 여러가지 칩재질의 기계적 성질에 대한 데이터 베이스구축, 절입깊이 a 가 칩브레이커의 형상 및 공구이송속도에 미치는 영향도 복합적으로 연구되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

(1) Kaldor, S., Ber, A., Lenz, E., 1979, "On the Mechanism of Chip Breaking", J. of Eng. for Industry, Trans. ASME, Vol. 101, pp. 241~249.
 (2) Boothroyd, 1975, "Fundamentals of Metal Machining and Machine Tools", McGraw-Hill, pp. 187~189.
 (3) Nakayama, K., 1961, "A Study on Chip Breaker", Trans. of the JSME, Vol. 27, p. 833.
 (4) Zhang, Y.Z., 1980, "Chip Curl, Chip Breaking and Chip Control of the Difficult to Cut Mater-

ials", Annals of the CIRP, Vol. 29, pp. 79~83.
 (5) Worthington, B., Redford, A.H., 1973, "Chip Curl and the Action of the Groove Type Chip Former", Int. J. Mach. Tool Des. Res., Vol. 13, pp. 257~270.
 (6) Nakayama, K., 1962, "Chip Curl in Metal Cutting Process", Bull. of Faculty of Engineering, Yokohama National Univ., Vol. 11, p. 1.
 (7) Rubenstein, C., Dawe, C.C., 1969, "Analysis of Chip Curvature", Adv. M.T.D.R., pp. 283~298.
 (8) Minato, K., 1974, "A Study on the Chip Excluding (1st Report)", Bull. JSPE, Vol. 8, No. 1, p. 21.
 (9) Spaans, C., 1971, "The Fundamentals of Three Dimensional Chip Curl, Chip Breaking and Chip Control", Doctor-Thesis, Delft Univ.
 (10) Lang, M., 1974, "Spanformer und Spanablaufstufen Zur Erzeugung Kurzstueckiger Späne beim Drehen Von Metallen", Technischen Hochschule Munchen.
 (11) Henriksen, E.K., 1953, "Chip Breakers", National Machine Tool Builders Association Vol. 98, p. 118.
 (12) Worthington, B., 1975, "The Effect of Rake Face Configuration on the Curvature of the Chip in Metal Cutting", Int. J. Mach. Tool Des. Res., Vol. 15, pp. 223~239.
 (13) Takeyama, H., Sekiguch H., Takada K., 1970, "One Solution for Chip Hazard in Turning Study on Automatic Programming for Numerically Controlled Machines (1st Report)", J. of JSPE, Vol. 36, No. 2, pp. 150~156.
 (14) Clare, L.J. St., 1952, "Design and Use of Cutting Tools", McGraw-Hill, pp. 169~172.