

이 논문은 1988년도 문교부지원 한국학술진흥재단의 자유공모과제 학술연구조성비에 의하여 연구되었음.

티타늄의 切削性에 관한 研究

- chip의 形成機構를 중심으로 -

洪 煥杓* 吳 錫炯** 徐 南燮***

A Study on the Machinability of Titanium

Hong Hwan Pyo* Oh Seok Hyung** Seo Nam Seob***

ABSTRACT

In metal cutting various types of chips are produced in consequence of cutting conditions. According to the types of chips the cutting mechanism is to be changed. Most of the cutting theory is based on the continuous chip because of its convenient analysis, but the occurrence of the saw-toothed chip depends upon the workpiece and/or the cutting conditions, one of which is titanium alloy used widely.

Nowadays titanium alloys are used widely with the rapid development of aerospace structural engineering application, whereas the theory of cutting mechanism has not been established yet, and the formatting process has not been understood satisfactorily, either. Unfortunately several misconceptions, conflicting statements and statements needing further clarification are also found.

***全北大學校 大學院

***全北大學校 工科大學 機械工學科 教授

In this paper an attempt is made to clarify the formation process of saw-toothed chips which are to be produced during the orthogonal cutting process of titanium alloys.

They were machined at low speed to avoid the rapid tool wear. We observed the SEM-photographs of chips taken at the quick-stopping device.

It is hoped that a rational model of the mechanics of cyclic chip formation can be developed. The results obtained are as follows.

1. When a saw-toothed chip is formed, the shear band begins at the primary shear zone and transfers to the free surface, so that a segment is produced and it is completed by upsetting between the formatting segment and the formatted segment.
2. As the rake angle or the clearance angle increases in the machining of the titanium alloy, the chip approaches to that of the continuous type.
3. When the rake angle and the clearance angle are increased the shear energy and the unit friction energy decrease, which shows the same aspect as that of the continuous chip.

1. 序 論

一般的으로 工作物의 切削加工時 發生되는 chip에는 몇 가지 形態가 있으며, 이 chip의 形態에 따라 切削機構등이 變하게 된다. 그러나 從來 切削理論의 대부분은 分析의 편리함 때문에 流動形 chip을 대상으로 研究하였으나 加工材料와 切削條件에 따라서는 톱니(saw-toothed 또는 semicontinuous)形 chip이 나타나는데, 그 중의 하나가 티타늄 합금을 切削할 때이다.

티타늄 합금은 오늘날에 이르러 航空産業과 海上構造物의 급속한 發達과 더불어 이들에 대한 材料로 脚光을 받게 되어 이 材料에 관한 研究가 활발하게 進行되고 있으나 톱니형 chip生成時 切削機構에 대한 理論이 定立되지 않은 것은 물론이고 그 生成過程에 대하여도 충분한 理解가 되어 있지 않은 실정이다.

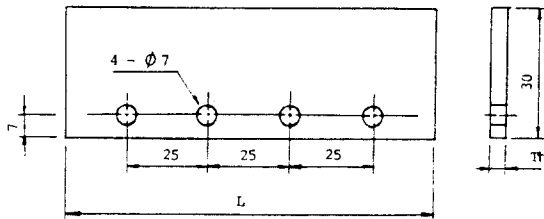
1955년에 Siekmann¹⁾은 티타늄의 切削에서 여러가지 切削實驗後 많은 어려움이 뒤따른다고 하여 이 材料가 難削材임을 암시하였고, Nakayama²⁾는 티타늄 합금에서 나타나는 톱니형 chip에 대한 研究報告에서 이 chip의 發生 순간에 切削力이 減少하며, 加工物의 表面이 顯著하게 改善된다고 報告하였다. M.C. Show³⁾는 제 1 剪斷域에서 일어나는 집중된 剪斷band의 生成은 合金의 熱傳導度의 不良에서 기인된다고 지적하였으며, 最近에 들어 Von Turkovitch도 이 合金에 대하여 熱擴散을 제기한 바가 있다.

本 論文에서는 티타늄과 그의 合金을 2次元 切削할 때 發生되는 톱니형 chip의 形成過程을

究明하고자 하며, 工具磨耗의 문제를 피하기 위하여 低速切削 (342 mm/min)을 하고 急靜止裝置 (quick-stopping device)에서 채취한 chip의 SEM 사진을 관찰하였다.

2. 實驗裝置 및 實驗方法

本實驗에 사용된 시험편의 규격은 Fig.1 과 같고 實驗機器는 milling machine, 工具動力計 (tool dynamometer), 증폭기 (charge amplifier), 單刃工具 (single-



	(L (mm))	Th (mm)
64 AT	115	3
Pure titanium	115	4.4

Fig.1 Specimens of orthogonal cutting.

straight cutting edge tool), A/D converter, 8 bit computer, 16 bit computer, 전기 마이크로미터 (electronic micrometer) 등이다. Fig.2는 실험 장치의 block diagram을 나타낸 것이다.

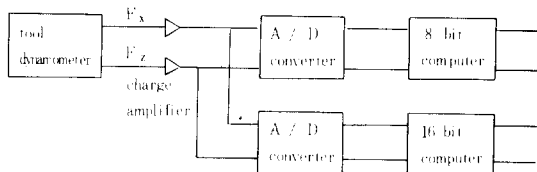


Fig.2 Schematic diagram of experimental apparatus.

Photo.1에서 보는 바와 같이 만능milling machine의 arbor yoke에 單刃工具를附着하고, table 위에 設置한 工具動力計에 小形 vise를 고정시킨 後 2次元切削을 行하였다. 工具動力計에 증폭기를 연결시킨 後 A/D converter를 통하여 한개의 computer에서 관찰하고 다른 한개의 computer에서는 切削力를 계산하도록하였다.

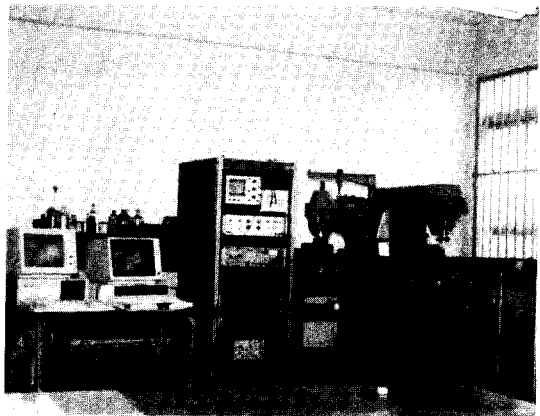


Photo.1 Experimental apparatus.

切削條件은 傾斜角을 $-10^{\circ} \sim 20^{\circ}$, 餘裕角은 $6^{\circ} \sim 17^{\circ}$ 로 변화시켰고 精度가 $0.1 \mu\text{m}$ 인 전기micrometer를 사용하여 切削깊이를 $0.01 \sim 0.2 \text{ mm}$ 로 變化시키면서 切削을 하였다.

3. 實驗結果 및 分析

티타늄합금은 切削時 一般炭素鋼과는 다르게 自由表面 (free surface)에는 週期的으로 톱니形態가 나타나며, Fig.3은 톱니형chip의 발생과정을 實際에 가깝게 model化한 것으로서 形成되고 있는 segment와 이미 形成

된 既存의 segment 사이에서 壓搾 (upsetting) 으로 인하여 局部化된 심한 剪斷의 생성을 나타낸 것이며, 이것은 주로 제1剪斷域(primary shear zone)에서 剪斷 band가 점진적으로 形成되는 것으로 보인다. 本 論文에서는 急靜止裝置를 이용하여 톱니형 chip의 발생과정을 SEM 사진을 통하여 分析 검토하는데 主力하였으며, 다음과 같은 5段階로 설명할 수 있다.

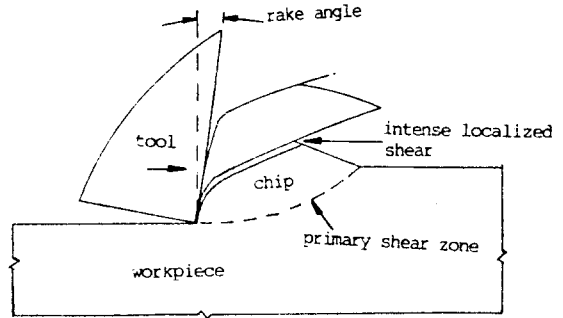
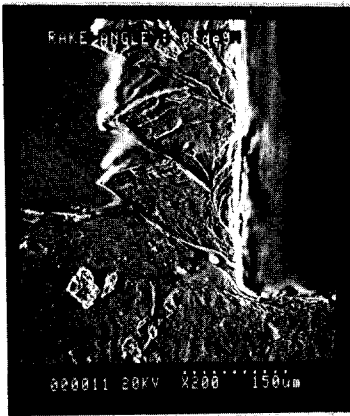
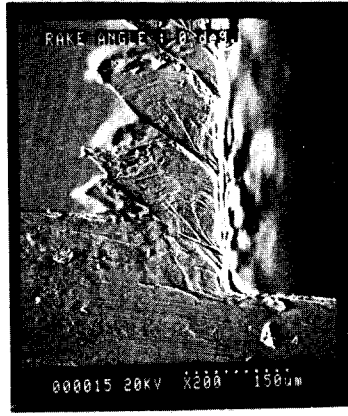


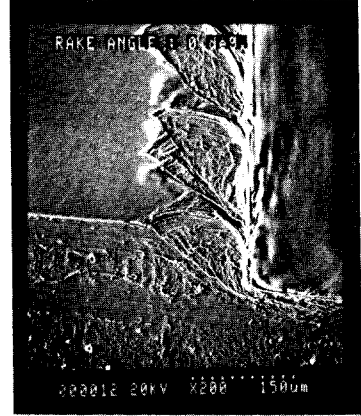
Fig.3 Model of a shear-localized chip formation process.



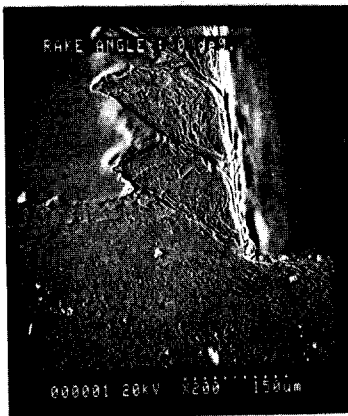
(a)



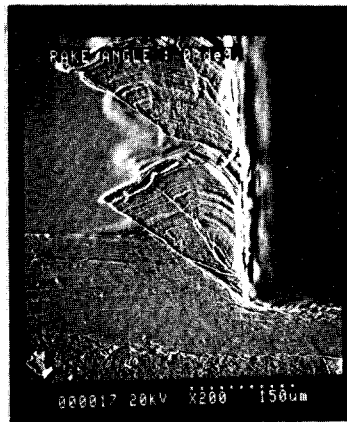
(b)



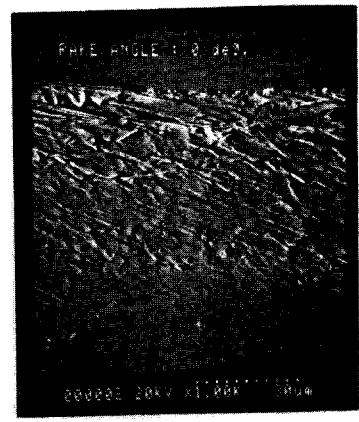
(c)



(d)



(e)



(f)

Photo.2 SEM micrograph of work material (64AT) using a quick-stopping device.

1 段階 : Photo. 2 (a)에서 工具가 進行함에 따라 工具前方의 第1剪斷域에서 應力 蓄積은 形成되고 있는 segment 와 以前 segment 간의 相互作用으로 이루어지고, 이때 發生한 應力으로 인하여 加工物에 剪斷 band가 유발되며, 힘의 相互作用으로 band가 形成(初期 segment) 된다. 이것이 自由表面까지 전파되고 band의 生成에 의한 發生熱이 流動하게 된다.

2 段階 : Photo. 2 (b)에서 계속된 工具進行으로 말미암아 前에 生成된 segment에 영향을 주어 slip이 發生하고, 形成되고 있는 segment와 以前 segment사이에서 힘의 平衡관계로 인하여 自由表面에 ramp가 나타나기 시작한다.

3 段階 : Photo. 2 (c)에서 ramp가 완성됨에 따라 segment는 工具面에 따라 流動하며 이 때 第2剪斷域(secondary shear zone)에서 chip과 工具間의 摩擦로 인하여 發生한 대부분의 摩擦熱은 chip으로 빠져 나가는 일부는 工具로 傳導되어 熱의 蓄積이 있게 되고, 계속된 工具進行으로 말미암아 비로소 剪斷面이 이루어지며 완전한 ramp가 완성된다.

4 段階 : Photo. 2 (d)에서 계속된 工具進行과 더불어 工具面을 chip이 흘러감에 따라 末期 segment가 形成되고 chip segment의 점진적인 부풀음(bulging)은 이미 形成된 segment를 천천히 밀어내며 slip은 剪斷에 의해 이루어진다.

5 段階 : Photo. 2 (e)에서 새로운 segment가 완성되기 以前에 第1剪斷域에 약간의 變形을 준 다음 새로운 segment를 形成하며 다시 1段階로 되돌아가 위의 과

정을 반복하게 된다.

사진 관찰로 보아 剪斷面은 工具날끝(tip)에서 시작하여 自由表面에 이룰때 까지 위로 오목한 曲面을 이룬다. 또한 切削力은 segment 生成의 壓搾段階동안에 점차 증가하고 剪斷이 일어날 때 급격하게 강해한다.

Fig. 4는 切削깊이와 slip 길이간의 관계로

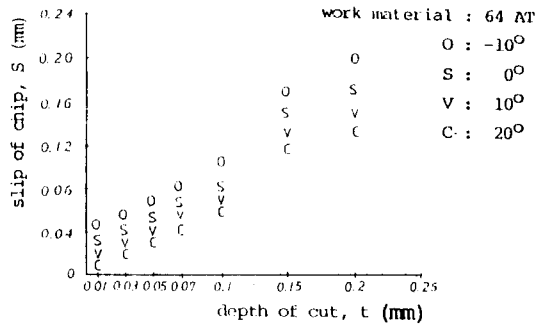


Fig. 4 Relation between slip of chip and depth of cut.

서 傾斜角의 증가에 따라 slip 길이가 작아지는 것으로 즉 slip 길이가 작은 것은 slip이 적게 이루어져 剪斷 band에서 熱의 발생이 적어지고, Fig. 5는 切削깊이와 pitch의 관계로

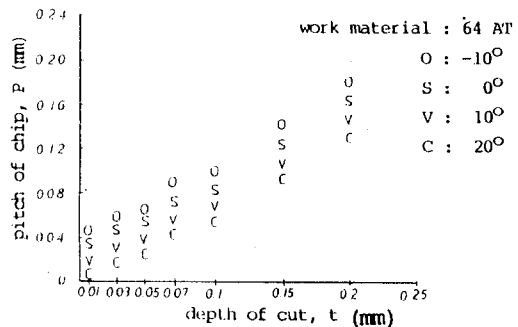


Fig. 5 Relation between pitch of chip and depth of cut.

서 傾斜角이 증가함에 따라 pitch와 segment의 形成期間이 적어지고, 本論文에는 data를 소개하지는 않았으나 segment의 形

成週期는 餘裕角(傾斜角: -10°)이 6° 에서 10° 로 변할 때 약 18%, 餘裕角(傾斜角: -17°)이 6° 에서 17° 로 변할 때 약 20%로 짧아져 切削抵抗의 관점에서 切削성이 改善됨을 알 수가 있

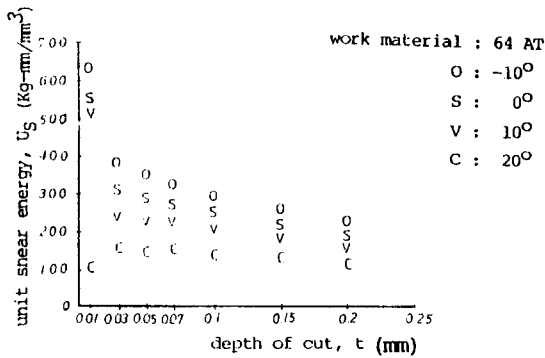


Fig. 6 Relation between unit shear energy and depth of cut.

으며, Fig. 6 은 比剪斷에너지와 切削깊이와의 관계로서 傾斜角의 증가에 따라 剪斷에너지가 감소하는 것을 알 수가 있고, Fig. 7은 比摩擦에

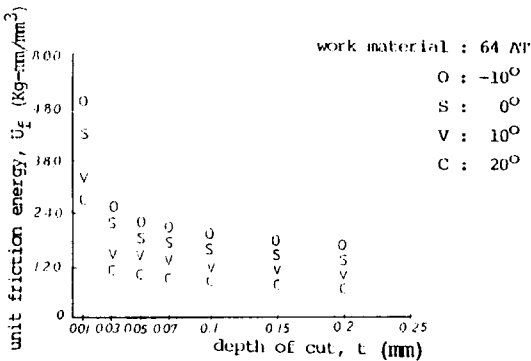


Fig. 7 Relation between unit friction energy and depth of cut.

너지와 切削깊이와의 관계로서 傾斜角과 절삭깊이가 증가하면 그에 따른 比摩擦에너지가 감소하며 이것은 통상적인 연속형 chip의 경우와도 같다.

4. 結 論

以上の 考察로 부터 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 톱니형 chip은 第1斷域에서 剪斷band가 유발되며 自由表面까지 전파되어 segment形成이 이루어지고, 生成되고 있는 segment와 既存 segment 간의 壓搾에 의하여 完成된다.
2. 티타늄合金의 切削에서 傾斜角과 餘裕角이 증가할 수록 chip의 形態는 연속형에 접근한다.
3. 傾斜角 및 餘裕角이 증가하면 比剪斷에너지, 比摩擦에너지는 감소하는데 이것은 통상적인 연속형 chip의 경우와 같은 양상이다.

附 錄

$$\text{剪斷角 } \phi = \tan^{-1} \frac{r_c \cdot \cos \alpha}{1 - r_c \cdot \sin \alpha} \dots \dots \dots (4)$$

$$\text{切削比 } r_c = \left\{ \begin{array}{l} \text{切削깊이} \\ \text{chip 두께} = \frac{\text{切削깊이}}{2/3(\text{산높이})} \text{ 까} \\ \text{지의 두께} \end{array} \right\} \dots \dots \dots (5)$$

$$\text{剪斷 變形度 } \gamma = \cot \phi + \tan(\phi - \alpha) \dots \dots \dots (4)$$

$$\text{比剪斷에너지 } U_s = \tau_s \cdot \gamma$$

$$\text{比摩擦에너지 } U_f = \frac{F_f}{A} \cdot r_c$$

参 考 文 献

1. H.J. Siekmann "How to machining titanium" Tool Eng., 34 (1955.1) p. 78-82.
2. Kazuo Nakayama "The formation of SAW-TOOTHED CHIP in metal cutting" p. 572-577.
3. M.C. Show, The assessment of machinability, in Machinability, ISI Spec. Rep. 94, 1967 (Iron and Steel Institute, London).
4. 徐南燮, 金屬切削理論 (1988) p. 45-70.
5. 吳錫炯, 鄭聖奎, 徐南燮, 大韓機械工學會抄錄集 (1988) "티타늄합금切削에서 剪斷角解析에 대한 實驗的考察".