アルミニウム切削機構に及ぼす負のすくい角の影響*

財満 鎮雄**・加藤 安秀***・大須賀 章郎****

Influences of negative rake on cutting mechanism of aluminum*

UDC 669.71:621.9.01:621.9.02

ZAIMA Shigeo**, KATO Yasuhide***

and OSUGA Akio****

Orthogonal cutting tests on 1100-O aluminum plates were made using negative rake angle tools. The distribution of the residual plastic strain on cut surfaces are measured by Moiré method. The tensile strain remains in the cutting direction and is emphasized in accordance with the cutting resistance. If a double rake tool having a negative rake angle is used and the 1st rake height is small enough against the depth of cut, cutting resistances and residual strains in the cutting direction are not so changed regardless of the 1st rake angle because of built-up edges. If the tool having large 1st rake height, the residual strains in the cutting direction and the cutting resistances are so large as in cutting using a negative and single rake tool. Requirements for using these tools are also described.

(Received June 7, 1977)

1. 緒 言

バイトに負のすくい角を付けることは重切削における超硬バイトの破損防止のため行なわれることが多く、構成刃先を積極的に利用するため負のすくい角を用いるSWC 切削法¹⁾も実用されている。また、こまかくみれば、正のすくい角の通常工具の刃先丸味の部分、構成刃先が発生して切削に関与する場合の実質的な刃先丸味部分も局部的な負のすくい角とみなせる。したがって、一般に構成刃先生成の旺盛なアルミニウム材料では、切削機構に及ぼす負のすくい角の影響を無視するわけにはいかないことになる。本報では、工業用純アルミニウム板を対象として、負のすくい角をもつバイトによる乾式二次元切削を実施し、切削面近傍の残留塑性ひずみ分布をモアレ法によつて求め、切削機構に及ぼす負のすくい角の影響を検討するのを目的とした。

2. 実験要項

供試試料としては Table 1 に示す化学成分の板厚 4 mm の工業用純アルミニウム (1100) 板を 120 mm × 35 mm に切断した後、345℃、2 hr の焼なましを施した軟質材 (O材) を用いた。その 2 ~ 3 の機械的性質を示せば Table 2 のようになる。

Table 1 Chemical compositions of specimen used.

Element Material	Cu (%)	Si (%)	Fe (%)	Mg (%)	Mn (%)	Zn (%)	Al (%)
1100	0.12	0.35	0.30	0.02	0.03	0.02	bal

Table 2 Mechanical properties of specimen used.

Prop. Material	Tensile Strength (kg/mm ²)	0.2% Yield Strength (kg/mm ²)	Elongation (%)	Vickers Hardness Hv(10 kg)
1100-O	9.5	3.8	38	21.3

Fig. 1 Tool dimensions used in cutting tests.

* 軽金属学会第46回春期大会 (49-5) にて発表した。

** 静岡大学工学部 (浜松市)。Faculty of Engineering, Shizuoka University (Hamamatsu)。

*** 三菱アルミニウム㈱富士製作所 (長泉町)。Fuji Works, Mitsubishi Aluminum Co. Ltd. (Nagaizumi)。

**** 津田工業㈱ (安城市)。Tsuda Industrial Co. Ltd. (Anjo)。

Fig. 1 に示す種類の高速度鋼 (SKH 4) 製バイト, すなわち, **Fig. 1(a)** のように第1すくい面高さ $h = 100$, 200μ として, 第1すくい角を $\alpha = -5^\circ - 15^\circ$ および -30° に変化したダブルレーキバイトと, 比較のために **Fig. 1(b)** のふつうのシングルレーキバイトを使用し, 削り速度を $v = 400 \text{ mm/min}$ 一定とし, 切込みを $t_1 = 50 \sim 200 \mu$ の範囲で変化した比較的低速の乾式軽切削を実施し (以下, これを切削試験 1 と称する。), また, **Fig. 1(a)** において第1すくい面高さ $h = 200 \mu$ 一定として, 第1すくい角を $\alpha = -5^\circ, -30^\circ$ に変化した, 第2すくい角を $\beta = 30^\circ$ にしたダブルレーキバイトと, 比較のためすくい角を $\beta = -5^\circ, -10^\circ$ と変化した **Fig. 1(c)** の負のすくい角のシングルレーキバイトを用い, 削り速度 $v = 3.3 \sim 15.1 \text{ m/min}$, 切込み $t_1 = 300 \sim 500 \mu$ で適宜変化した比較的高速の乾式重切削を実施した (以下, 切削試験 2 と称する)。以上の切削試験 1 および 2 において, それぞれフライス盤および形削盤を利用した二次元切削装置を用いたが, それぞれの外観を **Photo 1** に示す。

試料板を 2 枚重ねて切削試験片としたが, 前報²⁾ と同一要領で重ね合せた内側の 1 枚には直交格子線を写真焼

付けしておき, 切削後この格子面に基準格子を重ねて生ずるモアレ縞を撮影し, 切削面近傍における切削方向ひずみ ϵ_x を測定した。

3. 切削試験 1

本試験では

(第1すくい面高さ h) $\geq$ (切込み t_1)

となつてゐるが, 例えば第1すくい角 $\alpha = 30^\circ$ で切込み $t_1 = 100 \mu$ の場合に切削を急停止して刃先近傍を示す **Photo 2** をみてもわかるように, 切削開始とともに第1すくい面に構成刃先が生成付着するので, 実質的な刃先部分は切込み厚さより下方にあり, 切削は正常に行なわれる。ここで, 切込みが切削抵抗 (主分力) に及ぼす影響を求めれば **Fig. 2** のようになる。切込みの増加とともに切削抵抗は増大しているが, シングルレーキバイトの場合に比べてダブルレーキバイトでは切削抵抗は当然ながら大きい。しかし, 第1すくい角 $\alpha = -5 \sim -30^\circ$ の変化に対して切削抵抗があまり変化していないのは, **Photo 3** にもみるように生成付着して切削に関与する構成刃先の先端半径が, 第1すくい角の変化にもかかわら

(a) Milling machine

(b) Shaper

Photo 1 Orthogonal cutting apparatus.

(a) $h = 100 \mu$

(b) $h = 200 \mu$

Photo 2 Profiles on the chip formation zone under double rake tool (1st rake angle $\alpha = -30^\circ$, 1st rake height $h = 100$ and 200μ) in the case of the depth of cut $t_1 = 100 \mu$.

ずほぼ一定の丸味半径 (約 $90\ \mu$) をとり, ほぼ一定の刃先半径で切削が進行するためと思われる。

実験要項に従って二次元切削を実施した結果をまとめると, 次のようになる。

(1) 切込み t_1 の影響

Fig. 3 は切込み t_1 を変化した場合の切削方向 ひずみ ϵ_x の分布を示す。これからみれば, ひずみ ϵ_x は引張ひずみとして分布しており, アルミニウムの切削仕上面には圧縮残留応力の存在が予想される。これは Table 2 にもみるように, 供試材が軟質, 低耐力であることから説明でき, アルミニウム軟質材の二次元切削面の残留応力

Fig. 2 Relations between cutting resistance (principal force) and depth of cut in the case of cutting test 1.

を X 線回折によつて求め, 切削表面層では圧縮残留応力であつたとしたこと³⁾ に矛盾しない。切込みが増加すればひずみ量も増加しており, 切込みが増加すれば切削抵抗もほぼ直線的に増大した Fig. 2 と対応している。また, 引張ひずみ ϵ_x の大きさは表面から $1,000\ \mu$ の深さまでの間で急激に減少し, それ以上の深さではあまり変化はない。

(2) 第 1 すくい角 α の影響

Fig. 4 は第 1 すくい角 α を種々に変化したダブルレーキバイトの場合の残留ひずみ ϵ_x の分布を求めたものである。これからみれば, 表面層から約 $1,000\ \mu$ の深さ以上になれば, ひずみ量はダブルレーキバイトの場合もシングルレーキバイトの場合と大差なく小さな値をとるが, 表面層ではダブルレーキバイトの場合後者に比べ極めて大きい引張ひずみを示し, しかも第 1 すくい角 α の変化にもかかわらずほぼ同程度のひずみ量となつてゐる。これは Fig. 2 の切削抵抗の変化, Photo 3 の実質的な刃先丸味半径が第 1 すくい角にかかわらずほぼ等しい値であつたことと対応している。

(3) すくい面高さ h の影響

ダブルレーキバイトでは切刃前方の被削材部分はか酷な変形を受け, 構成刃先が生成付着するが, 構成刃先生成に適当なあるすくい面高さの限界があるようである。

Photo 3 Profiles of built-up edge on negative rake tool tip (1st rake height $h = 200\ \mu$) under various negative 1st rake angle α in the case of the depth of cut $t_1 = 100\ \mu$.

Fig. 3 Influences of the depth of cut on distributions of residual strain in cutting direction in the case of cutting test 1.

Fig. 4 Influences of the 1st rake angle on distributions of residual strain in cutting direction in the case of cutting test 1.

Fig. 5 Influences of the 1st rake height on distributions of residual strain in cutting direction in the case of cutting test 1.

Fig. 5 はすくい面高さ h と残留ひずみ ϵ_x の分布の関係を示すが、切込み $t_1 = 100 \mu$ の場合が $t_1 = 50 \mu$ の場合よりすくい面高さ h の影響が大きく効いている。この場合、(すくい面高さ h) $\geq$ (切込み t_1) の切削であるので、切込みの差は影響しないように思われるが、この範囲の切込みでも切込みがすくい面高さより十分小さければ、バイトは単なる負のすくい角のバイト（シングルレーキバイト）としての作用だけであるのに対し、切込みが十分であれば第1すくい面高さ全体に構成刃先が生成付着して切削に関与し、実質的な刃先丸味半径に差が生ずるためである。

4. 切削試験 2

切削試験 1 によつて、ダブルレーキバイトでは第1すくい面高さ h に対し適当な大きさの切込み t_1 であれば、十分な構成刃先の発生が認められることがわかつたので、切削試験 2 では $h = 200 \mu$ に対して $t_1 = 300 \sim 500 \mu$ とした比較的重切削を実施した。

Fig. 6 は削り速度 $v = 3.3 \text{ m/min}$ 一定として、切込み t_1 を変化した場合のダブルレーキバイトおよび負のすくい角のシングルレーキバイトの切削抵抗の変化を示す。図にみるように、前者では構成刃先の発生によつて第 2

Fig. 6 Relations of cutting resistance and depth of cut in the case of cutting test 2.

すくい角 $\beta=30^\circ$ のシングルレーキバイトの場合と同様な効果で切削抵抗は比較的低く、かつ第1すくい角 $\alpha=-5^\circ$ と -30° の間に大きな差がないが、負のすくい角のシングルレーキバイトでは切削抵抗、とくに背分力が大きく、すくい角 $\beta=-5^\circ$ の場合に比べ $\beta=-10^\circ$ の方が明らかに大きい。切込み $t_1=500\mu$ の負のすくい角シングルレーキバイトの場合の刃先近傍の被削材部分 **Photo 4** をみれば、構成刃先の発生はほとんど認められておらず、負のすくい角によつて切屑の流出が拘束されて切削抵抗は増加している。

(1) 切込み t_1 の影響

Fig. 7 は削り速度 $v=3.3\text{m/min}$ 一定として、切込み t_1 と切削方向ひずみ ϵ_x の分布の関係を示す。切込みの増加に伴いひずみ量は増大しており、それぞれの場合の切込みと切削抵抗の関係を反映している。そして、ひずみ分布の様相は切削試験1の場合と同様にほぼ表面から約 $1,000\mu$ の深さまでの間で急激にひずみ量は小さくなっている。ひずみ量はダブルレーキバイトの場合には第1すくい角によつてあまり差がないが、シングルレーキバイトの場合すくい角 $\beta=-5^\circ$ 、 -10° の順に大きくなっている。

(2) すくい角 α , β の影響

削り速度 $v=3.3\text{m/min}$ として、ダブルレーキバイト

Photo 4 Observations on the tool tip zone of negative rake tool under various negative rake angle β in the case of the depth of cut $t_1=500\mu$.

の第1すくい角 α およびシングルレーキバイトのすくい角 β を変化した場合の残留ひずみ ϵ_x の分布を求めれば **Fig. 8** のようになる。ダブルレーキバイトでは第1すくい角 α の値にかかわらずひずみ量 ϵ_x はほぼ等しく、図にみるように一本の曲線で表わすことができるが、負のすくい角をもつシングルレーキバイトでは ϵ_x の値はそれより大きく、かつすくい角 $\beta=-10^\circ$ の方が $\beta=-5^\circ$ の場合より大きい。このことは切削抵抗からも考えられることで、第1すくい面高さ h より大きい切込み t_1 で実施された本試験では、第1すくい面は構成刃先の座としての役割をしているのに対し、負のすくい面のシングルレーキバイトでは **Fig. 6** にもみるように主分力に対する背分力の割合も大きく、**Photo 4** のように構成刃先の生成も認められにくく、切屑流れの拘束も大きく、残留ひずみも大きいものと思われる。この際の切削仕上面状況は、残留ひずみの小さなダブルレーキバイトの場合の仕上面は良好であるが、シングルレーキバイトでは負のすくい角 $\beta=-5^\circ$ 、 -10° の順に仕上面は劣化している。**Photo 5**はすくい角 $\beta=-10^\circ$ のシングルレーキバイトに

Fig. 8 Influences of the rake angle on distributions of residual strain in cutting direction in the case of cutting test 2.

Fig. 7 Influences of the depth of cut on distributions of residual strain in cutting direction in the case of cutting test 2.

Photo 5 Microscopic structures and distributions of micro Vickers hardness (20g) on tool tip zone of negative rake tool (rake angle $\beta = -10^\circ$) under various depth of cut t_1 .

おける刃先近傍の組織と微小ビッカース硬さ H_v (測定荷重 20 g) を示すが、刃先近傍には組織の点からも硬さ変化の点からも構成刃先の発生は認められず、切屑流出の拘束があるため、せん断形切屑にき裂がはいり、切屑の自由表面側の凹凸はかなり激しくなっている。すなわち、負のすくい角が大きいシングルレーキバイトでは不連続形切屑に移行するようになり、また切込みに対して第1すくい面高さが十分大きくて、ダブルレーキバイトの効果がみられないときにも負のシングルレーキバイト同様になる。

(3) 削り速度 v の影響

実験範囲の削り速度 $v = 3.3 \sim 15.1 \text{ m/min}$ では、切削抵抗は削り速度の上昇に伴ってやや減少傾向であるが、あまり変化しない。これに対応して、削り速度 v と残留ひずみ ϵ_x の分布の関係はすくい角 $\beta = -5^\circ$ のシングルレーキバイトでは Fig. 9 のようになる。削り速度が増加すればひずみ量はいくぶん減少し、切削仕上面状況は向上する。削り速度が増加すれば、すくい面と切屑との相対速度が大きくなり、切屑流出速度が高まるが、低速ではスティックスリップ的な痕跡が認められる仕上面も、削り速度が $v = 15.1 \text{ m/min}$ と上昇すればその痕跡は消滅し、仕上面は良好になる。しかし、削り速度の変化に対し Fig. 9 のように残留ひずみ ϵ_x の分布の変化も比較的小さく、すくい角や切込みの変化におけるひずみ量変化ほど明確ではない。

Fig. 9 Influences of the cutting speed on distributions of residual strain in cutting direction in the case of cutting test 2.

5. 結 言

以上、負のすくい角をもつバイトによる工業用純アルミニウム軟質板の乾式二次元切削において、モアレ法によって切削面近傍の残留ひずみ分布を求め、切削機構に及ぼす負のすくい角の影響を求めた。その結果、

- (1) 純アルミニウム軟質材では切削面近傍に発生する切削方向残留ひずみは引張りひずみである。
- (2) 切削方向残留ひずみは切削抵抗の大きい場合に大

きく、切込みが増大すればひずみ量も増加する。

(3) 負の第1すくい角を有するダブルレーキバイトの場合、その第1すくい面高さが切込みに対して十分に小さければ、構成刃先が生成付着して切削に関与するため、第1すくい角にかかわらず切削方向残留ひずみ量には大きな変化が認められず、切削抵抗にも大きな変化はなく、かつ切削仕上面も比較的良好である。

(4) 第1すくい面高さが切込みに対して大きい場合のダブルレーキバイトでは、負のすくい角のシングルレーキバイトの場合と同様に、切削方向残留ひずみ量は大きく、切削抵抗も増大する。そして、刃先近傍には構成刃先の存在は認められにくく、切屑流れの拘束も大きく、不連続形切屑に移行し、切削仕上面は劣化する。

(5) したがって、その幾何学的形状から負のすくい角をもつシングルレーキバイトの刃先強度はかなり高いものであるから、仕上面精度を必要としない高速重切削の

荒削りにおいてその効果が発揮されるが、負の第1すくい角のダブルレーキバイトではその刃先強度に加えて、適当な切込みを選べば、かなり良好な切削面も期待できる。

本報の実施に当たり、その費用の一部は(財)軽金属奨学会の研究資金により、試料入手には日本軽金属(株)製錬事業部技術サービス課各位の御好意に負うところが大きかった。付記して深甚なる謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 例えば、星：金属切削(構成刃先について)、(工業調査会、1960)、8.
- 2) 財満、丹下：軽金属、**24**、(1974)、271.
- 3) S. Zaima, Y. Suzuki, H. Kashiwagi: Proc. 15th Japan Cong. Mat. Res., (1972), 116.