

すべり要素を用いた局所静水圧援用切削の開発

Development of Localized Hydrostatic Pressure-Assisted Cutting using a Sliding Element

茨城大・工（正）*清水 淳 茨城大・工（非）山本 武幸

茨城大・工（非）小貫 哲平 茨城大・工（非）尾畠 裕隆

Jun Shimizu*, Takeyuki Yamamoto*, Teppei Onuki*, Hirotaka Ojima*

*College of Engineering, Ibaraki University

1. はじめに

切削加工において、加工面および垂表面品質の向上は重要であり、そのための手法として加工単位の縮小が広く用いられる。しかし、それは低加工効率を伴うことから、加工部品の要求精度や品質とコストとの兼ね合いにより制限される。よって、加工単位の縮小以外の加工品質向上法の開発は有意義である。いかなる手法を用いるにせよ、切削加工における金属材料の除去は、塑性変形を基本としていることから、塑性変形の低減が鍵となる。

圧縮静水圧が金属の機械的特性に及ぼす影響は、Bridgman¹⁾をはじめ多くの研究者が調査・研究してきた。それらによると、静水圧は金属の塑性変形に寄与しない一方で、変形挙動に影響を与えるとされており、圧縮静水圧下では、金属の剛性率、降伏応力、延性が増加したり、加工硬化の形態が変化したりするとされている²⁻⁵⁾。空孔やクラックなどの格子欠陥の密度を低減させ、転位の移動を抑制するとされている⁶⁾。硬脆材料の切削実験では、圧縮静水圧の付与により延性-脆性遷移の臨界切り込み深さが増加し、高効率かつ高品質な加工の実現が報告されている⁷⁾。しかしながら、工作物への高圧縮静水圧付与には特殊な装置が必要のため、普及には至らずにいる。

そのような背景のもと、著者らの一部⁸⁾は、切削工具の前方に板状のすべり要素治具を付与することにより、金属工作物の切削点にのみ局所的に圧縮静水圧応力場を付与することにより、余分な塑性変形を低減し、加工面品位を向上させる切削技術を提案し、まずはその検証として単結晶 Al を対象に分子動力学シミュレーションを試み、ばりの低減をはじめとする、余分な塑性変形の低減に有効なことを明らかにした。ここでは、それを実際の切削実験へと展開し、提案手法の有効性について検討した結果について報告する。

2. 局所圧縮静水圧援用切削の概念と切削実験の概要

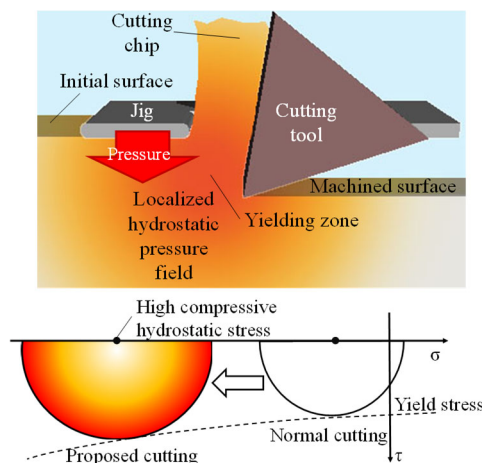
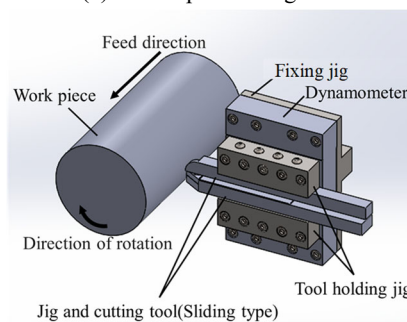
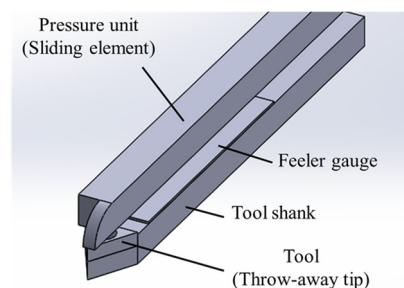
Fig. 1 は、開発工具により切削点に生じる応力の概念図である。すべり要素治具からの加圧により、工作物の切削点には、局所的に圧縮静水圧が付与される。これにより、降伏せん断応力が上昇し、降伏および塑性変形がしにくくなるという考えに基づく。

Fig. 2 に、局所圧縮静水圧援用切削に用いる、すべり要素治具を付与した(a)切削工具と(b)実験用セットアップのモデルをそれぞれ示す。開発工具は、被削材表面を局所的に圧縮して圧縮静水圧場を生成するためのすべり要素加圧用治具、切削工具（シャンクにスローアウェイチップを把持させたもの）、そして両者間に切りくず排出のための空隙を設けるためのすき間ゲージで構成される。加圧用治具と工具先端との高低差により、切り込み深さは定められる。開発工具を、汎用旋盤の刃物台に固定して純 Al 丸棒を旋削する。

3. 切削実験の結果および考察

Table 1 に示した条件により、局所静水圧援用切削実験を試みた。すべり要素治具が、生成した切削痕を押しつぶさないよう、治具の幅 2.8 mm より十分大きい、5 mm/rev を送りとした。切り込み深さは 0.125 mm とした。比較のため、すべり要素治具を付与しない慣用切削も試みた。

Fig. 3 に、切削抵抗の計測結果を示す。治具の付与により、背分力は慣用工具（50 N 強）より顕著に高く（150 N 程度）なっている。これにより、開発工具では切削点に圧縮作用がもたらされると考えられる。一方で主分力は 100 N 程度となり、慣用切削とほぼ相違ない。

Fig. 1 Concept of developed cutting technique⁸⁾

(b) Experimental setup

Fig. 2 Developed tool and experimental setup

Table 1 Experimental conditions

Cutting tool	Cemented carbide
Rake angle	0 deg.
Flank angle	11 deg.
Pressure unit (Jig)	(a) Without (Conventional) (b) High-speed steel (Developed)
Width of pressure unit	2.8 mm
Workpiece	Pure aluminum
Environment	Wet (Cutting oil)
Cutting speed	0.68 m/s
Feed	5 mm/rev
Depth of cut (Extrusion)	0.125 mm
Indentation depth of jig	0.1 mm (0 mm for conventional)

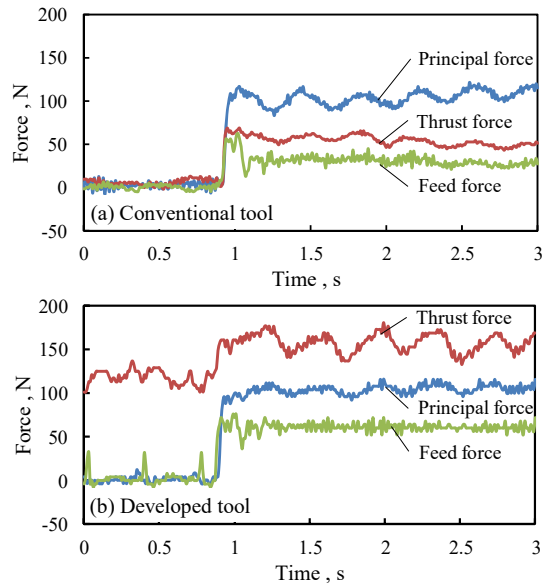


Fig. 3 Comparison result of variation of cutting forces

Fig. 4 と 5 に、切削後の切削痕の鳥観図と断面図の比較をそれぞれ示す。これらより、(b)の開発手法では、(a)の慣用切削よりもばり高さは低減しているようにみえる。ただし、実際に切削された切削痕深さは浅くなっている。これは、両者間の剛性や接触面積の相違によるものと考えられる。切削痕深さの相違による影響を除外するため、「ばり高さ／切削溝深さ」を求めたところ、慣用工具で 0.47 程度、開発工具で 0.3 程度と低くなった。この結果から、局所静水圧援用切削は、ばりの低減に効果的であることが判明した。

4. おわりに

切削点近傍にのみ局所的に圧縮静水圧応力場を与えるすべり要素治具を具備した切削工具を開発し、その金属材料被削物への余分な塑性変形の低減に対する効果を、純 Al 工作物を対象にした実切削実験により評価した。その結果、開発した工具は、慣用切削工具よりもばりの低減に有効ことが実証された。

文 献

- 1) P. W. Bridgman: Large plastic flow and fracture, McGraw Hill Book Co., (1952).
- 2) H. L. D. Pugh: The mechanical behavior of materials under pressure, Elsevier Publishing Company Ltd., Amsterdam, London, New York (1970).
- 3) M. Nishihara, K. Tanaka, M. Nishihara, T. Matsumura: Effect of Hydrostatic Pressure on Mechanical Behaviour of Metallic Materials, J. Soc. Mat. Sci., Jpn, 13, 124 (1964) 37 (in Japanese).
- 4) S. Yoshida, A. Oguchi: Effects of High Hydrostatic Pressure on the Flow Stress of Aluminium Polycrystals, J. Jpn Inst. Met. and Mat., 34, 4 (1970) 401 (in Japanese).
- 5) A. Oguchi, M. Nobuki: Increase in Ductility of Pressure Metallic Materials under Hydrostatic Pressure, J. High Pressure Inst. Jpn, 15, 1 (1977) 35 (in Japanese).
- 6) J. E. Hanafee, S. V. Radcliffe: Effect of hydrostatic pressure on dislocation mobility in lithium fluoride, J. Appl. Phys., 38, 11 (1967) 4284.
- 7) M. Yoshino, T. Aoki, T. Shirakashi, Scratching Test of Hard-brittle Materials under High Hydrostatic Pressure, Trans. ASME J. Mfg. Sci. and Eng., 123, (2001) 231-239.
- 8) K. Uezaki, J. Shimizu, L. Zhou: Development of Metal Cutting Process Accompanied by a Localized Compressive Hydrostatic Stress Field Formation: Examination by Molecular Dynamics Simulation, Precision Engineering, 38, (2014) 371-378.

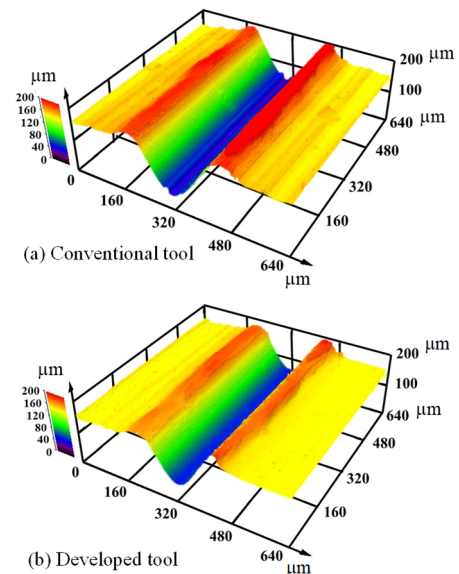


Fig. 4 Bird's-eye view of machined surface

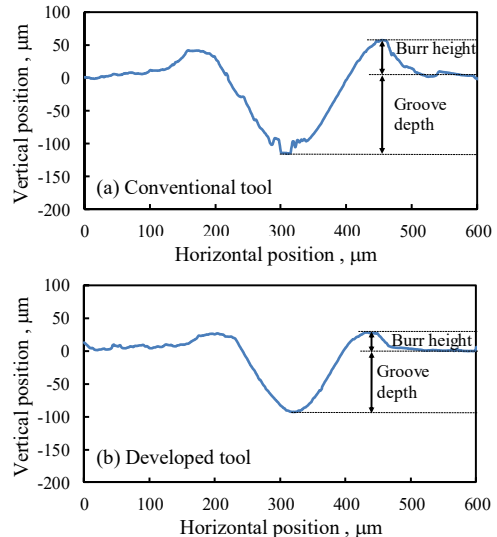


Fig. 5 Cross-sectional images of machined surface