

ものづくりの基盤技術バリ取り・エッジ仕上げの自動化への挑戦

システム科学技術学部 機械工学科

1年 太田 隼人, 藤田 友隆, 井上 悠平

岡崎 涼那, 高井 健斗

指導教員 システム科学技術学部 機械工学科

教授 鈴木 庸久, 助教 藤井 達也

1. 緒言

1-1. 課題と目的

材料を加工する際、様々な大きさ・複雑な形状のバリが必ず発生してしまう。聞き取りを行った**㈱森井製作所**においても、バリ取りの自動化が課題となっていた。バリは、その製品の品質を低下させてしまう点、部品を正しく計測することができなくなる点、ケガや事故につながる点などの弊害を発生させる危険性を持つ。そのためバリを除去する工程が必要となる。部品が小さい場合、手作業でバリ取りを行う必要があり、時間がかかる作業の一つである。**伸縮型バリ取りツール**（スギノマシン製 BC10-20）は、フローティング機構を備えており、圧力調整が可能で、均一な仕上げ面を維持できるという特徴がある。そのため、バリ取り作業を自動化・機械化することが可能であり、作業の大幅な時間短縮が見込め、それゆえ生産性も向上するのではないかと考えた。本研究では、伸縮型バリ取りツールがどの程度の圧力で、どのような工程で、どの程度バリを除去することができるのかを計測し、考察することを目的とする。

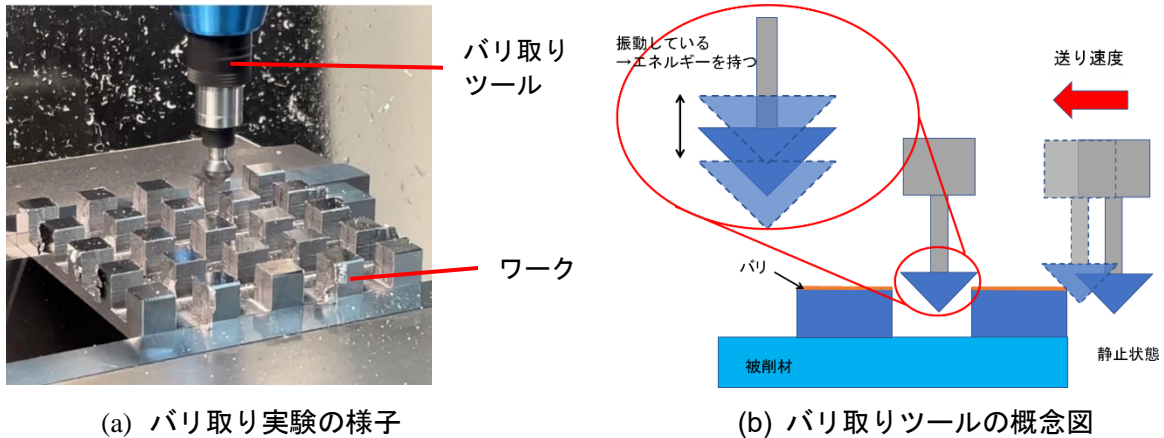
1-2. 伸縮型バリ取りツール

伸縮型バリ取りツール（スギノマシン製 BC10-20）は、10 mm 伸縮可能なフローティング機構を持つ、バリ取り用ツールホルダーである。加工時に押し込み量が 1~5 mm になるように Z 軸を調整して使用する。図 1(a)に伸縮型バリ取りツールの全体図を、図 1(b)に伸縮型バリ取りツールの動きを表す図を示す。バリ取りツールのステム部分を回すことによって、バリの大きさや用途に合わせて押し付け圧力(バネのプリロード)を 16 段階で調整できる。ステムを 1/4 回転させた時を 1 ノッチとする。

2. 研究内容

2-1. 伸縮型バリ取りツールの押し込み量に対する荷重の測定

伸縮型バリ取りツールをある一定量の押し込み量を与えた時にどのくらいの荷重がかかって



(a) バリ取り実験の様子

(b) バリ取りツールの概念図

図 1 伸縮型バリ取りツールによるバリ取り加工試験

いるのか測定する実験を行った。今回の実験では、0ノッチ、4ノッチ、8ノッチ、12ノッチ、16ノッチのときの荷重を測定する。

- 1) フライス盤に伸縮型バリ取りツールを取り付ける。
- 2) はかりを伸縮型バリ取りツールと接触させる。※はかりの値は0であり、Z軸を0とする。
- 3) 設定した位置から一定量の押し込み量を決める。
- 4) 各押し込み量の荷重を測定する。

2-2. 伸縮型バリ取りツールによるバリ取り加工

被削材は、90 mm×90 mm×15 mmの炭素鋼 (S50C) とした。S50Cは、鋼(S)に炭素(C)を0.50%含んでいる鋼材で硬くて粘り強い特性を持つ。あらかじめ、バリを形成するために、エンドミルを用いて、被削材に10 mm□ (高さ10 mm, 間隔10 mm) の格子状の島残し加工を行い、10 mm□の上面エッジ部に、0.1~0.2 mmのバリを形成した。10 mm間隔の10 mm□の上面エッジ部のバリを除去するために、伸縮型バリ取りツールに、カウンターシンク (面取りカッター, 3枚刃, 先端角: 90°, RUnATEC コーティング高速度鋼, 有効刃径(mm): 10.4) を取り付け、表2-1の加工条件で加工試験を行った。加工条件は、切込み量0.5 mm, 送り速度200 mm/min, 回転速度3000 min⁻¹, ダウンカット(工具の進行方向と回転方向が同じ加工法)とした。実験では、押し付け荷重を変化させるために、0ノッチ、4ノッチ、8ノッチ、12ノッチ、16ノッチで加工試験を行い、被加工物の性状を比較した。

表1 バリ取り加工条件

伸縮型バリ取りツール	スギノマシン製 BC10-20
工具	カウンターシンク : 3枚刃, 先端角: 90° , RUnATEC コーティング高速度鋼 有効刃径(mm) : 10.4
回転数	3000 min ⁻¹
送り速度	200 mm/min
切込み量	0.5 mm
加工方法	ダウンカット
被削材	S50C
バリ高さ	0.1 ~ 0.2 mm
押し付け荷重 (設定ノッチ)	0, 4, 8, 12, 16

2-3. マイクロスコープによる測定

2-3-1. 面取り幅の測定

図2-7に面取り幅を示す。マイクロスコープによって面取り幅を上から観察し、スケールを用いて任意の15点の面取り幅を計測する。

2-3-2. 入り幅の測定

図2-8に入り幅を示す。面取り幅の測定と同様にマイクロスコープを用いて入り幅を観察して、スケールを用いて入り幅を計測する。

2-3-3. 波長の測定

図2-9に波長が現れた面取り幅を示す。マイクロスコープのスケールを用いて、任意の5点の波長を計測する。

3. 実験結果および考察

3-1. 伸縮型バリ取りツールの押し込み量に対する荷重の測定

図2に0~3 mmの押し込み量における荷重のグラフを示す。図2のグラフから1 mm以上の押し込み量があるとノッチ数と荷重に線形的な関係があるわかる。しかし、1 mm以下、特に、押し込み量の値が0に近づくと線形的な関係がみられなくなる。これは、伸縮型バリ取りツールの適正押し込み量が1 mm~5 mmであるため、1 mm以下の押し

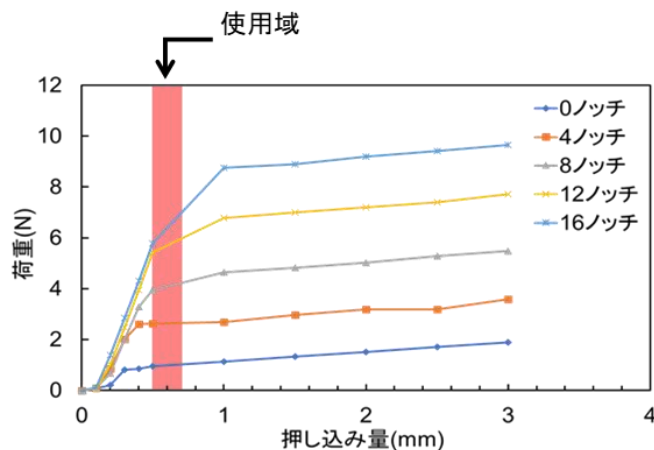


図2 0~3 mmの押し込み量における荷重

込み量では非線形となったと考えられる. 図2に示してある使用域は, 本実験時に伸縮型バリ取りツールが押し込まれたと予想される範囲である. この使用域の計算は設定押し込み量 0.5 mm にバリの高さ 0.1~0.2 mm を足したものとした. そのため, 本実験時には適正押し込み量で実験ができていなかったといえる. しかし, 図2の実験結果より, 加工時の荷重を見積もることができる.

3-2. 面取り幅と入り幅

3-2-1. ノッチ数と面取り幅

図3に, バリ取り後の面取り部の写真を示す. 面取り幅を各ノッチ数に対して任意の15点をマイクロスケールのスケールで測定し, その平均を取り, その値を面取り幅 W とする.

図4にノッチ数と面取り幅 W の関係を示す. ノッチ数を大きくしていくにつれて, 面取り幅 W は増加していることが分かった. また, 各ノッチ数に対する標準偏差から, 8ノッチにおける値のばらつきが非常に大きいことが分かって, 反対に4ノッチ, 12ノッチにおける値のばらつきが他と比べて小さいことが分かった. これらのことから, ノッチ数を大きくすることで W は大きくなり, 4ノッチと12ノッチのときは安定的な加工をすることができると考えられる.

3-2-2. ノッチ数と入り幅

図4に入り幅 Win (Firstとそれ以外の平均値) を示す. 入り幅を各ノッチ数に対して5か所あるうちの一目以外の4か所を測定し, その平均値を Win とし, Win と W との差を ΔWin とする. 5か所ある中の最初に加工する入り幅を Win_First とする.

Win , Win_First にはノッチ数を大きくするにつれて幅も増加していることが分かった. また

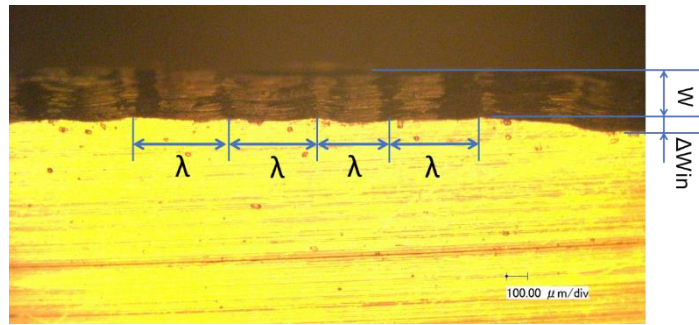


図3 バリ取り後のエッジ部の写真

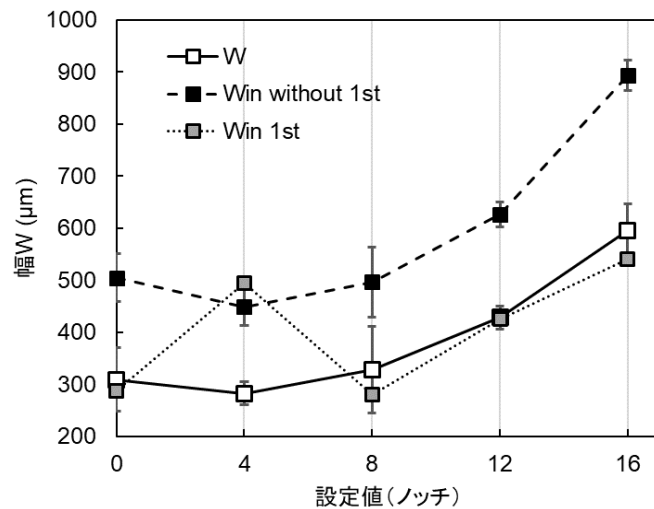


図4 設定ノッチに対するエッジ部の面取り幅 W

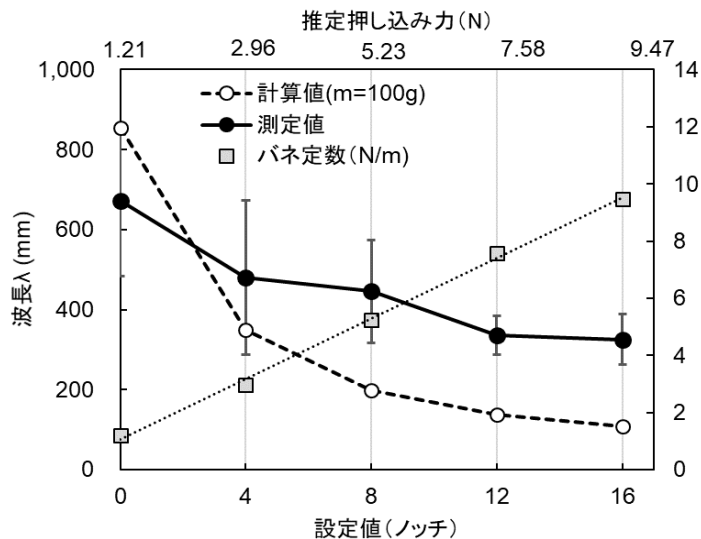


図5 設定ノッチに対する面取り幅の波長とバネ定

Win の標準偏差を見ると面取り幅 W と同様に 8 ノッチにおける値のばらつきが大きいことが分かった。Win_First は 4 ノッチ以外では同様の傾向があることが分かった。これらのことからノッチ数を大きくすることで入りの幅は増加し、ばらつきは小さくなると考えられる。同時に、Win_First は Win と比べて小さいことから、最初に加工する時の入り幅 Win_First に比べて、それ以外の入り幅 Win は大きいことが分かった。図 1 (b) に示した工具の振動の模式図から、ツールの挙動を考察する。最初工具は静止状態のままワークに接触する。この時伸縮型バリ取りツール内のバネはエネルギーを持っていない状態である。その後、ワークを削りながら伸縮型バリ取りツール内のバネは収縮し、バネによる位置エネルギーが蓄えられる。ワークから離れた際、蓄えられた位置エネルギーが運動エネルギーへと変換され、振動が始まる。つまりエネルギーを持った状態のまま次のワークへ接触することで大きく削り出すことが分かる。したがって、エネルギーを持たない状態の一つ目の入りよりもバネによるエネルギーを持った状態の二つ目以降の入りが大きくなる要因であると考えられる。

3-2-3. 入り幅と面取り幅

図 4 にノッチ数と、面取り幅 W と一つ目以外の入り幅 Win の比の関係を示す。Win/W は、0 ノッチ以外は約 2.0 となっていることが分かった。このことから面取り幅 W と一つ目以外の入り幅 Win には 2 倍近くの差があることが分かった。

3-3. 加工部の振動

3-3-1. ノッチ数と周期

図 5 に、ノッチ数と見かけのバネ定数の変化、周期 T の変化を示す。以後見かけのバネ定数をバネ定数 k とする。周期 T は、式 (1) に代入して求めた。

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \quad (1)$$

質量 m は、どの加工条件でも値は一定のため、仮に $m=0.1$ とした。

ノッチ数が増えると、バネ定数 k も大きくなることが分かった。その傾きが直線に近いことから比例関係にあると考えられる。また、周期 T は、ノッチ数が増えると、減少することが分かった。

3-3-2. ノッチ数と波長

図 3 に波長を示す。各ノッチ数に対して任意の 5 点の波長をマイクروسコープのスケールを用いて計測し、その平均値を波長 λ とする。

図 5 に、ノッチ数と波長 λ の関係を示す。ノッチ数が増えると、波長 λ の平均値は短くなることが分かった。また標準偏差から 0 ノッチ、4 ノッチ、8 ノッチはばらつきが大きいことが分かって、12 ノッチ、16 ノッチはばらつきが小さいことが分かった。このことから伸縮型バリ取りツール内のバネの強さを大きくすると波長が短くなり、仕上げ面に表れる波の数が増えるが、その波の間隔がある程度定まると考えられる。

4. 結言

4-1. まとめ

伸縮型バリ取りツールは押し込み量 1 mm 以上ではノッチ数に関わらず線形的な関係があることが発見できた。伸縮型バリ取りツールによるバリ取り加工ではノッチ数に関わらず面取りされることが分かり、その面取り幅にはノッチ数が関係し、ノッチ数が増加することで面取り幅も増加することを発見できた。さらに面取り部には内蔵されているバネによる工具の振動の形跡を発見することができた。

4-2. 課題

伸縮型バリ取りツールの設定圧力と仕上げ面の関係性と、押し込み量と仕上げ面の関係性を明白にし、あらゆる高さのバリに対しても同じような仕上げ面にすることを可能にし、自動化・機械化を行えるようにすることが挙げられる。また、伸縮型バリ取りツールのバネによる振動を定量的に評価し、仕上げ面品位を向上させることが挙げられる。さらに本研究で使用したワークのような断続的な加工の場合に、入り幅の大きさが一つ目とそれ以外では異なること、またその幅が定常幅の 2 倍近くあるということが挙げられる。