

High Speed Deburring Tool

【高速バリ取りツール】

Beier Deburring Technology
Prof. Dr. H.-M. Beier,

1 はじめに

バリの除去や最小化というテーマは、産業または研究機関において大きな課題となっている。近年バリ取りの分野では、その研究成果を見ることもできる。

生産現場では増加するコストの問題や高い品質要求があるため、費用対効果を満足させる高品質なバリ取り方法が要求される。

生産工程においては、液体が冷却剤や潤滑剤として用いられるプロセスは、非常に重要な意味を持つようになってきている。エンジンやギアなどは、複雑な生産工程にもかかわらず、メンテナンスの間隔が長くなるように、その精度や異物の残留度に対し、より厳しい要求が突きつけられている。また、他方では設計上の必要性からエッジの品質向上に対する要求などはよく知られるところである。

新しい部品を開発する際、部品の加工し難い箇所に $R = 0,1 \text{ mm}$ や $R < 0,1 \text{ mm}$ といったエッジが要求される事はよくある傾向である。

そのような要求の高度化にもかかわらず、バリ取りの分野での新しい工具や方法の開発はなかなか進まない。

それは相互に関連する

- ・ それぞれの部品の機能
- ・ 部品の材質
- ・ バリの発生、バリ発生の抑制、及びバリの最小化
- ・ バリ取り方法、バリ取り工具
- ・ バリ取り品質に対する要求

というような要素があるからであり、またそれがバリ取り工程の中であまり考慮されることがないからである。そこには多くの企業においてバリ取りのスペシャリストが不在であるという実情もある。

そこで技術コンサルタント、バリ取り方法の開発者やバリ取り工具メーカーなどに向けられる期待は大きい。しかし、将来的にすべてのケースに対し有効な「万能バリ取り方法」というものが存在しえないというのは周知の事実である。

80年代中頃からは、いかにバリ取り工具に柔軟性を与えることができるかというコンセプトが模索されてきた。このバリ取りコンセプト（バリ取り工具）は2つのカッティングエッジ（geometrical cutting edge）を機能させるために、それらを弾力性のある支持部（例えばゴム）が2つの面に向かって力を伝導し、決められた領域で柔軟性を保障するというものである。

今回紹介する Beier Deburring Technology 社の新しいバリ取りツールは、その更に先を行くものである。本工具は支持部の柔軟性を気体や液体などの流動体を用いて得るものである。バリ取りツールのカッティングエッジは前述のような媒体により直接コントロールされる。

2 バリ取りの基本的な問題

一般的なバリ取り方法を、品質とユーザーの期待度の二つの観点から検証すると矛盾が生じる。これは完璧なかつ理想的なバリ取り方法がないことを意味する。原因はそのシステム自身にある。以下の要因はバリ取り結果に重要な影響を及ぼすものである。

- 部品の材料に不確定な要素がある。

（鉛鉄からアルミ、また超合金を含めて）バリになる部分の材料の量の少なさと材料の内部構造の関連性がバリの基礎である。それは他の要素が存在することを意味する。例えば、比較的強度の低い黒鉛や金属どうしの中間層の強度が高い粒子の境界などは、バリ発生の状況に深く影響を与える。

- バリ取りを行うエッジの公差（半製品から完成品まで）
- 前加工段階における異なるバリ発生のメカニズム（鋳造バリ、切削バリ、打ち抜きバリなど）

- バリ取りが行われるワークの構造。理想的なバリの形がないこと。バリ取りにかなう形のバリの形成は、ある一定条件の基にのみ可能。ただし、少なくとも外形のバリにはバリ取りを行うのに都合が良いか悪いかを定める決定要素は存在する。例えば円形の穴の入り口やシャフトの終わりなどである。
- 主加工技術の欠陥の排除 (例えばドリルでの穴あけ、フライス盤での切削等)

2.1 交差穴のバリ取り

交差穴のバリ取りはとても複雑で、また難しい課題である。それは以下の周辺条件により影響を受ける。

- バリ取りが行われる交差穴の輪郭は楕円形である。
- その楕円形はどの平面に属するものでもない。
- エッジの角度が一定ではない。
- 同じ寸法の2つの交差穴は、楕円形に沿って発生するバリの位置は（限られた範囲内で）一定しているが、向きは一定していない。
- 深穴加工などは穴が偏芯してさらに大きな問題になる。
- ドリルの磨耗代によってバリの発生量が異なる。
- バリは量も発生場所も一定ではない。例えば、ドリル穴の出口には入口より多くのバリが発生する。
- 交差穴を開けることは軸穴内に大量の切り屑が発生することにつながる。

2.2 穴入口のバリ取り（角度を定めたエッジのR加工）

外径のバリ取りには様々な方法がある。だが、エッジのRが一定に定められる、あるいは0.1mmやそれ以下のC面などが要求されると、その全てに100%対応できる面取り技術は存在しない。

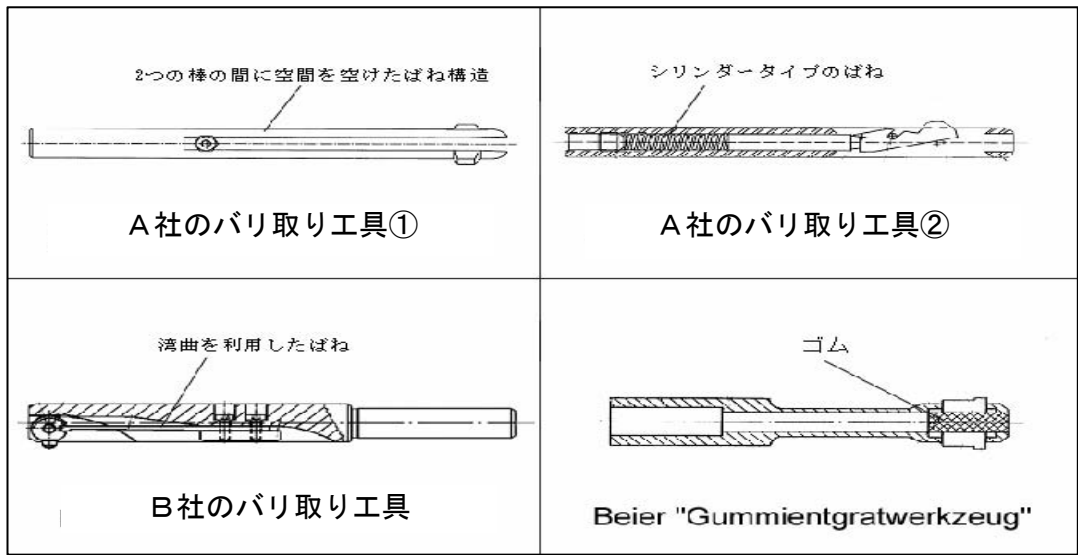
3 従来の技術

エッジの面取り工具や交差穴のバリ取り工具はA社、B社、Beier Deburring Technology社等によって開発されている。交差穴のバリ取りには2つの異なった方法がある。

A社とB社の方法は、回転工具が交差穴から侵入しバリを取り、そして同回転方向で穴から出てくるのに対し、Beier Deburring Technology社の方法は、正回転で軸穴から侵入しバリ発生地点のバリを取り、逆回転で穴入り口に戻る。その際、軸穴内の交差穴すべてのバリ取りが一工程でなされる。

全ての方法に共通することは、ばね要素を持ち合わせた特殊なカッティングエッジが、穴を通る際に工具軸内に押し込まれることである。そのばね要素を持ち合わせた特殊カッティングエッジを實際上4つのグループに分けることが出来る。

- 刃の支持部が一箇所に固定されたもの 例：A社のバリ取り工具①（図解1左上）
- 軸方向に取り付けられたシリンダーばねにより、間接的に力の伝達を調整するもの 例：A社のバリ取り工具②（図解1右上）
- 軸方向に取り付けられた湾曲ばねにより間接的に力の伝達を調整するもの 例：B社のバリ取り工具（図解1左下）
- 放射方向にも、軸方向にも直接有効なカッティングエッジ部がゴム軸となっているもの 例：Beier Deburring Technology社のバリ取り工具（図解1右下）



図解 1 従来のバリ取り工具

前述の工具については以下の点において、その欠点を確認されている。

1. 軸受け部のばね要素の慣性によりバリ取りを行う速度が制限される。
2. ばね要素の反発力やゴムの柔軟度はバリ取りを行っている最中には変更することが出来ない。穴を通過する時（＝カッティングエッジは工具軸内に収納される）、ばね力はさらに大きくなるため、表面粗度に変化が起こり、穴中に引っ掻き傷を作る原因となる。
3. 片面に向かってのみ力が加わるA社のバリ取り工具①は、必要切削力とホルダ部のテンション力の間で矛盾が生じる
4. 間接的にその仕事を行うシリンダーばね（A社のバリ取り工具②）は剪断係数と縮弾性係数及び摩擦からくる欠陥を加工に影響させてしまう。
5. 直接その仕事を行う湾曲ばね（B社のバリ取り工具）はモジュールの欠陥を引き起こす。
6. 回転数はその目的に関連して制限される
7. A社とB社のバリ取り工具は一方方向にしか回転しないことにより、二次バリ発生危険性を増す。

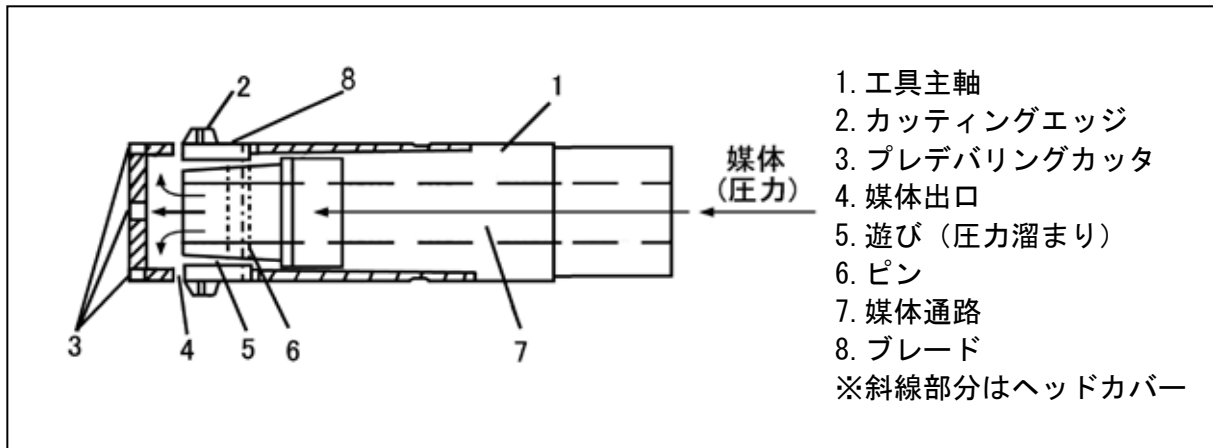
4 ダイレクトコントロール可能なカッティングエッジのコンセプト

図解 2 には圧力のダイレクトコントロールが可能なバリ取り工具が示されている。



図解 2 実験用バリ取り工具

図解 3 は図解 2 で紹介されているバリ取り工具の断面である。

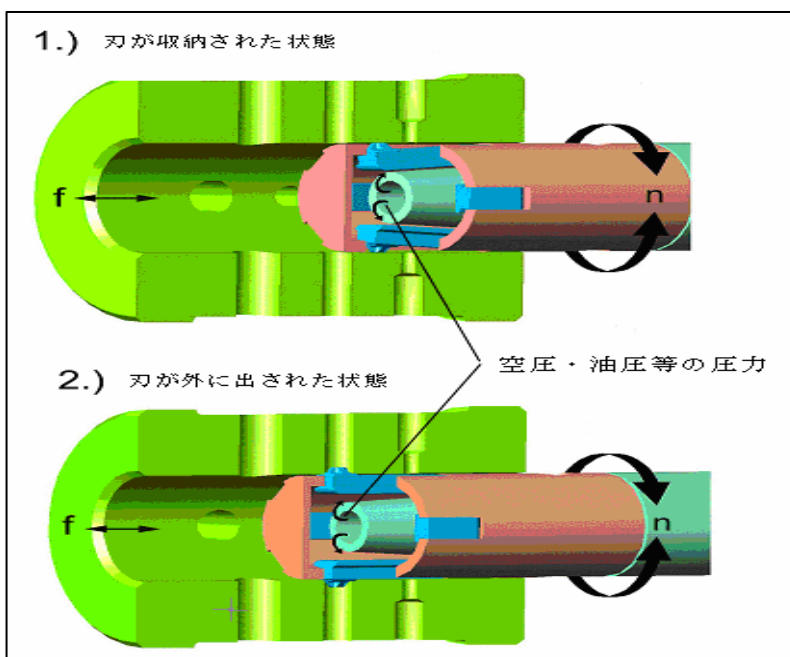


図解 3 バリ取り工具の図解

この工具は基幹部（工具主軸）があり、工具カバー部（ヘッドカバー）に1枚以上のブレードを装着できる。このブレードと工具主軸の間には遊び（圧力溜まり）があり、ブレードはプレデバリングカッタのついているヘッドカバーに押さえられる構造になっている。工具主軸内の貫通している穴（媒体通路）に通された空気や切削油などの圧力媒体がカuttingエッジを外側に押し出す構造になっている。

このバリ取り工具は、圧力媒体をコントロールすることにより、まさに軸穴内の交差穴部でカuttingエッジを外側に出し、バリを除去することが可能である。さらに、この工具は加工中に変化してゆくバリの大きさや、様々な被削材に対応することも可能である。

このバリ取り工具はゴムタイプと同じように正回転で軸穴に侵入し、逆回転で出る。その際軸穴のエッジの面取り、そして全ての交差穴のバリ取りを一工程で終わらせることが出来る。図解 4 にはこのようなダイレクトコントロールが可能なバリ取り工具が示されている。



図解 4 切削力のダイレクトコントロールが可能なバリ取り工具図解

5 ダイレクトコントロール可能なバリ取り工具実験結果

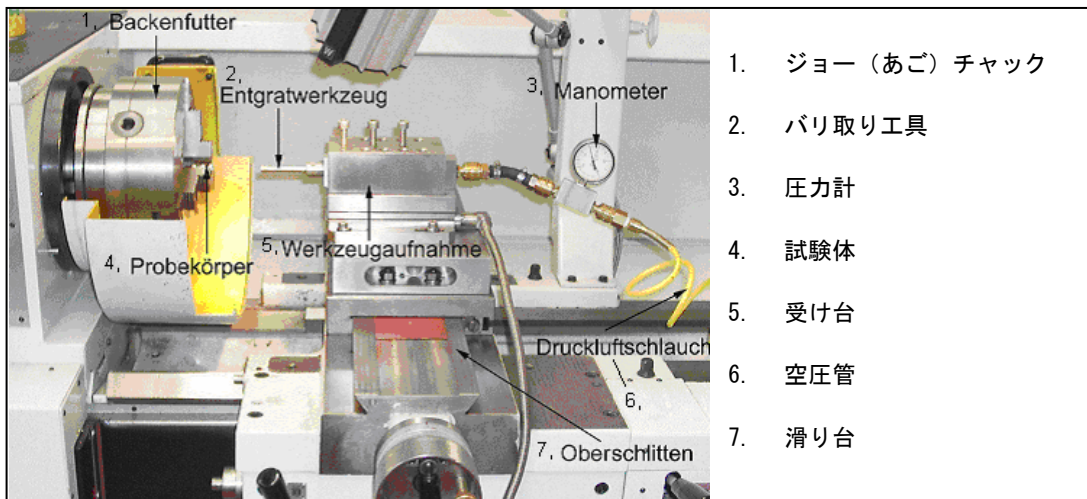
ダイレクトコントロール可能なバリ取り工具を使った実験を行い、その各項目が検証された。

1. 軸穴の径は常に 9.8mm。そして、そこに 1.0mm~8.0mm の交差穴が開いている状態でバリ取りを行い、そのバリ取りの品質と速度
2. 交差穴のバリ取りを行う際の軸穴の表面変化（面粗度）
3. 送り「あり」と「なし」の条件下での軸穴入り口の角度を定めたエッジの R 加工

この実験にはアルミニウム、快削鋼（SUM21）、炭素鋼（S15C）、クロモリ鋼（SCM440）、ステンレス（SUS304）が使用された。カッピングエッジをコントロールする媒体にはエアが使用された。

5.1 交差穴バリ取り実験結果

実験装置は図解 5 に示す。



図解 5 実験装置

この実験装置では、バリ取り工具が圧力をかけられた状態（カッピングエッジが外に出た状態）で送り出され、正回転している試験体の軸穴に入り込む。全ての交差穴を通過した後は送りが止められ、試験体の回転方向（旋盤）が逆回転になる。その後、工具は軸穴の外に送り戻される。

このバリ取り実験は、材料により異なるが $800 \sim 2000 \text{ min}^{-1}$ の回転数、また送りは $0.106 \sim 0.608 \text{ mm/rev}$ 、そして圧力領域 $0.4 \sim 1.0 \text{ Mpa}$ の範囲で行われた。

それぞれのパラメータ設定においてすべての交差穴は完全にバリ取りされた。

表 1 にはバリ取り実験の際に行われた全てのパラメータ領域が記載されている。

材料	回転数 (min^{-1})	送り (mm/rev)	圧力 (Mpa)
アルミニウム	1000-2000	0.244-0.608	0.4
快削鋼(SUM21)	1000-2000	0.244-0.608	0.6-0.8
炭素鋼(S15C)	1000-2000	0.244-0.608	0.6-0.8
クロモリ鋼(SCM440)	1000-2000	0.244-0.608	0.8
ステンレス(SUS304)	800-2000	0.106-0.608	0.6-1.0

表 1 バリ取り実験の際のパラメータ

その際明らかになったことは、パラメータの選択がエッジ（軸穴と交差穴の交差部のコーナー）の成形に影響を及ぼしていることである。

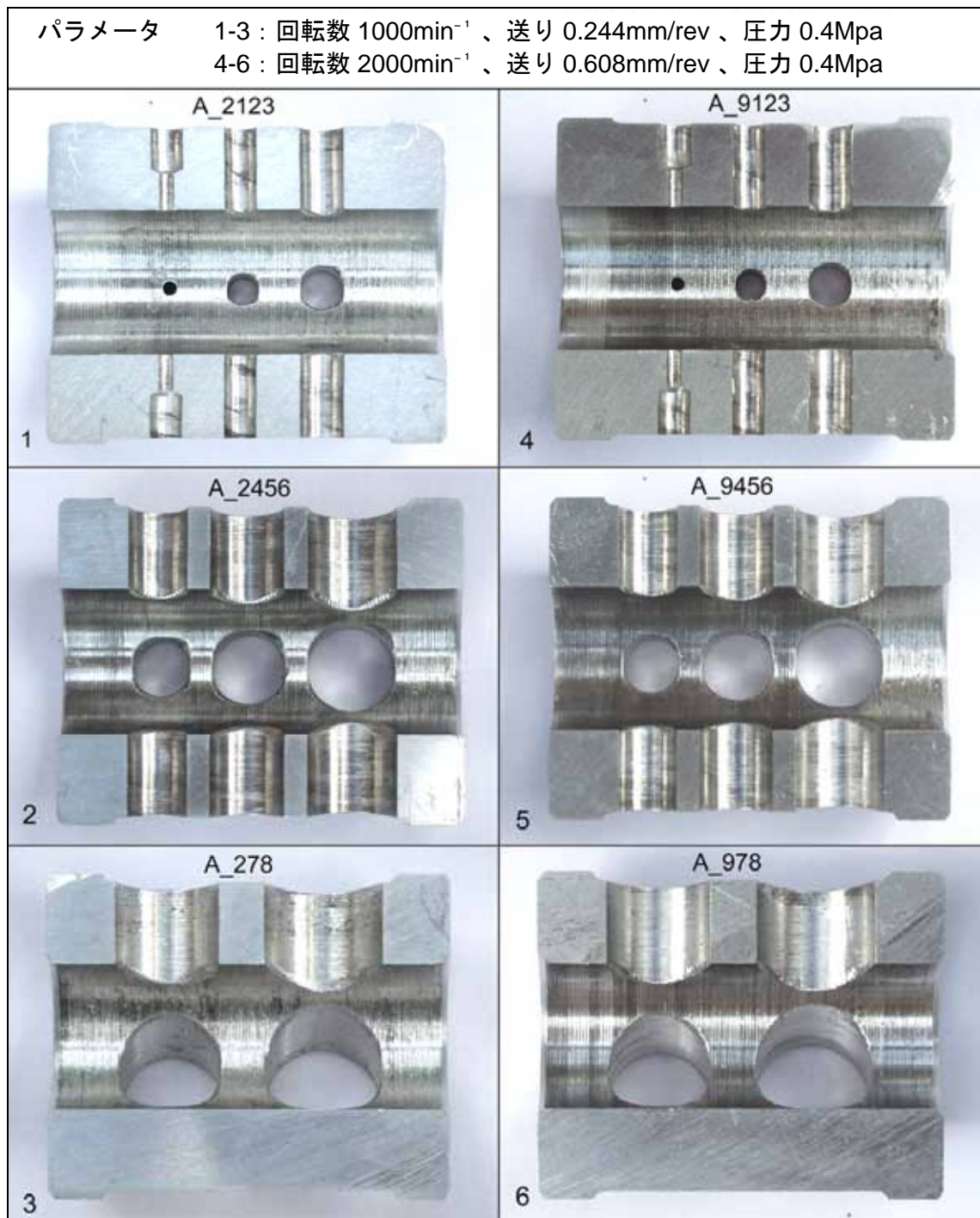
エッジの成形が大きくなる要因は下記の条件と深く関連する：

1. 送りが一定の時の圧力の増加
2. 圧力が一定の時の送りの低下
3. 送りの低下と圧力の増加

さらにエッジの成形が小さくなる要因は下記の条件と深く関連する：

1. 送りが一定の時の圧力の低下
2. 圧力が一定の時の送りの増加
3. 送りの増加と圧力の低下

送りの増減がエッジの成形に大きな影響を与えることが確認された。その成形されたエッジの形状が異なる例として、図解6にそれぞれ大きくエッジが面取りされたもの（No.1-3）とあまり面取りがされていないもの（No.4-6）を示す。



図解6 エッジの形成例：アルミニウムの試験体のバリ取り後の状態

5.2 軸穴の表面粗さに対するバリ取り工具の与える影響

バリ取り工具によってもたらされる軸穴内の表面粗さの変化を認識するために、バリ取り実験前後の軸穴の表面粗さ値 R_a と R_z が検証された。

実験から割り出された平均面粗さ値 R_a と R_z より、バリ取り後の表面粗さがほとんど変化していないことは明白である。表面が粗い場合はそれどころか表面粗さは部分的にとても低くなる。(表面をわずかに平らにする効果)

この事から、バリ取り工具は軸穴の表面にほとんど影響を与えないことがわかる。実験からもたらされた平均面粗さ値 R_a と R_z は図1と図2に表されている。

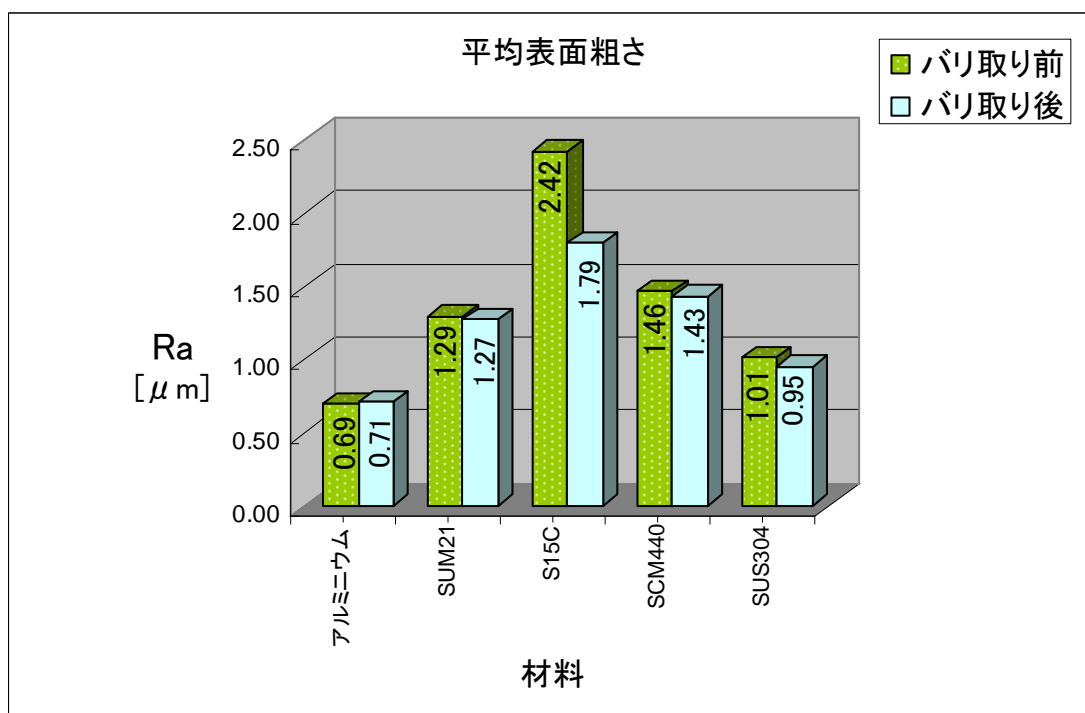


図1 平均表面粗さ値 R_a バリ取り前および後

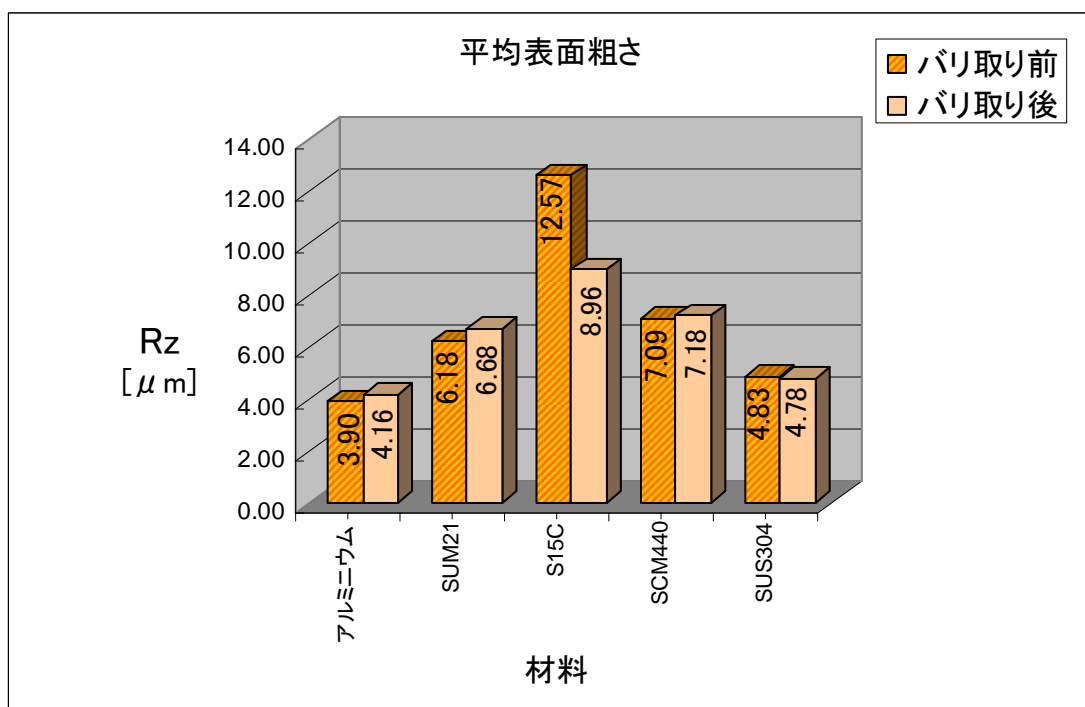


図2 平均表面粗さ値 R_z バリ取り前および後

5.3 角度を定めたエッジ（軸穴の入口）の R 加工

- 送りあり：軸穴へ送りながら面取りを行う

バリ取り工具を軸穴に送り込むと、軸穴の入口のエッジが面取りされていることが確認された。面取りされたエッジの形はC面に近いものか（表2と3）または部分的にRがついている。送りを増加することでエッジのバリ取りによって削られる範囲が少なくなる。成形されたエッジはそれぞれの送りと試験体の材質によって0.07mmから0.46mmの間で削られ、そのエッジの角度はおよそ27度から62度であった。

表2と3にはアルミニウムとクロモリ鋼を使った実験において確認されたエッジの形が表されている。

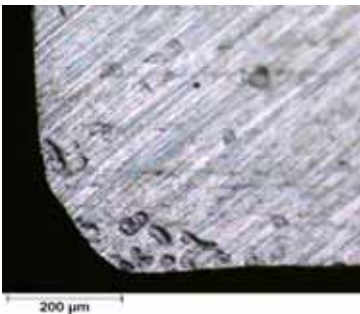
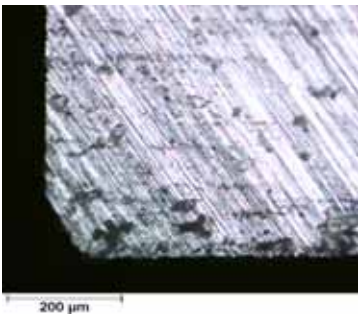
材料	アルミニウム	
検査番号	A_2123	A_9123
回転数 [min ⁻¹]	1000	2000
圧力 [Mpa]	0.4	0.4
送り [mm/rev]	0.244	0.608
エッジ形状		
エッジ寸法 [mm]	0,14 x 0,24 ; ca. 56°	0,07 x 0,13 ; ca. 62°

表2 試験体：アルミニウム、軸方向への送り：一定

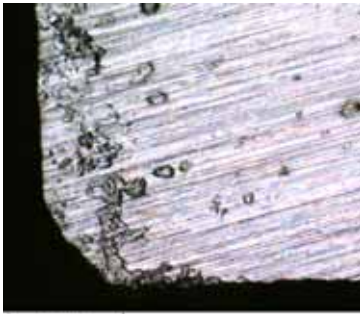
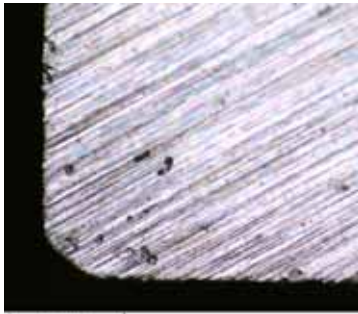
材料	クロモリ鋼	
検査番号	N_3123	N_10123
回転数 [min ⁻¹]	1000	2000
圧力 [Mpa]	0.8	0.8
送り [mm/rev]	0.244	0.425
エッジ形状		
エッジ寸法 [mm]	0,11 x 0,17 ; ca. 55°	0,10 x 0,10 ; r = 0,21 ; ca. 60°

表3 試験体：クロモリ鋼、軸方向への送り：一定

- 送りなし：軸穴入口で送りを停止させて面取りを行う

この実験は全ての被削材において、バリ取り工具を使ってC面加工が可能であることを実証した。軸方向への送りなしで成形されたエッジは（表4と5）およそ0.23mm～0.5mmの間で削られ、そのエッジの角度は45度～64度の間であった。

C面やR面の角度はカッティングエッジの角度にも左右される。表4と5はアルミニウムとクロモリ鋼を使った実験において確認されたエッジの形状が表されている。

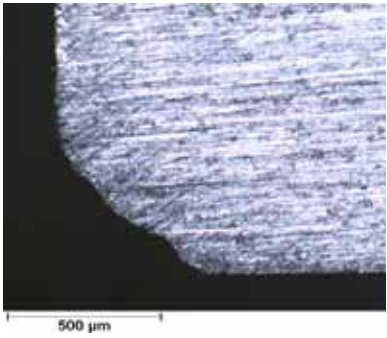
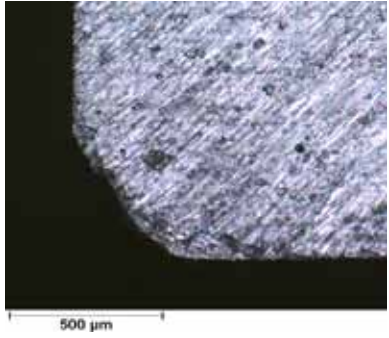
材料	アルミニウム	
検査番号	A_278	A_978
回転数 [min ⁻¹]	2000	2000
圧力 [Mpa]	0.4	0.4
加工時間 [S]	5.1	5.2
エッジ形状		
エッジ寸法 [mm]	0,49x0,48 ; ca. 45°	0,35x0,45 ; ca. 53°

表 4 試験体：アルミニウム、軸方向への送り：なし

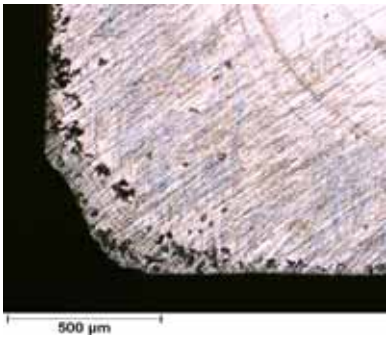
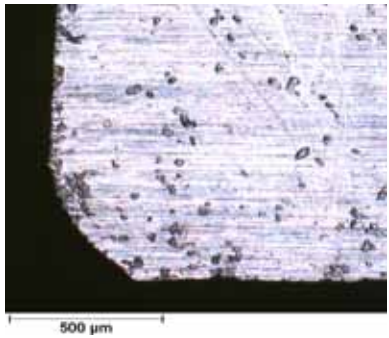
材料	クロモリ鋼	
検査番号	N_378	N_1078
回転数 [min ⁻¹]	1000	1000
圧力 [Mpa]	1.0	1.0
加工時間 [S]	60	60
エッジ形状		
エッジ寸法 [mm]	0,28 x 0,43 ; ca. 56°	0,29 x 0,37 ; ca 59°

表 5 試験体：クロモリ鋼、軸方向への送り：なし

6 ダイレクトコントロールが可能なバリ取り工具の実験結果と従来のバリ取り工具との比較

下記の表 6 は軸穴径 9.8mm のワークにおける交差穴のバリ取りを行った際の A 社、B 社、Beier Deburring Technology 社のゴムタイプおよびダイレクトコントロール可能なバリ取り工具の性能・特性と実験結果を比較したものである。

軸穴の内径 d=9.8mm					
製造者	A社		B社	Beier Deburring Technology 社	
バリ取り工具	A社①	A社②	B社	ゴムタイプ	空圧／油圧 コントロールタイプ
機能原理	交差穴を通るため、交差穴ひとつにのみ有効			軸穴を通るため、軸穴に開いている全ての交差穴に対して有効	

回転方向	一方向のみ (二次バリを発生させる)						正回転・逆回転 (二次バリの発生を回避)				
	≧3:1		≧2:1				≧1:1				
比率 (軸穴:交差穴)											
交差穴の内径(mm)	2.0-3.0		3.0-5.0		4.0-5.0		2.0-9.8		1.0-9.8		
刃の枚数	1-2		1-2		1-2		2-4		1-4		
切削条件	送り (mm/rev)	回転数 (min ⁻¹)	送り (mm/rev)	回転数 (min ⁻¹)	送り (mm/rev)	回転数 (min ⁻¹)	送り (mm/rev)	回転数 (min ⁻¹)	送り (mm/rev)	回転数 (min ⁻¹)	
アルミニウム	0.2	600	0.2	900	0.4	600	0.2	400	0.6	>2000	
鋼	Rm<600	0.2	600	0.2	600	0.4	600	0.2	400	0.6	>2000
	600<Rm<900	0.14	800	0.14	600	0.4	600	0.2	400	0.6	>2000
	Rm>900	0.1	300	0.1	300	0.4	600	0.2	400	0.6	>2000
ステンレス	0.1	200	0.1	200	0.4	600	0.2	400	0.6	>2000	

表6 バリ取り工具比較

この表を見ると、調整可能なバリ取り工具の方がばね要素を利用した工具と比較して、より使用領域が広いことが明らかである。ここに表されている回転数の限界は実験に使用した旋盤の限界である。そのような理由から回転数、送り速度、媒体圧力の限界値はいまだ完全に求められていない。

7 要約

これまでは交差穴のバリ取りシステムとして、ばね要素を使ったものしか知られていない。回転数と送りは、そのばねの慣性に制限されてしまう。それにより長いバリ取り時間と高コストを引き起こす。水圧やエアなどの圧力媒体によって、カッティングエッジを直接コントロールするばね要素を使わない内径・外径のバリ取り工具の開発は、高速バリ取りを実現する。表面変化を引き起こすことなく回転数と送りの著しい増加を実現した。圧力と送り、また回転数の組み合わせにより、バリ取り品質を調整できる事を確認した。バリ取り工具の構造を適応させることにより加工表面に与える影響をなくすことも可能である。

参考文献

- [1] Beier, H.-M. 内径・外径用のバリ取り工具
PCT 特許 W003/084702 (2003.10.16)
- [2] Jäntschi, St. 直接コントロール可能なバリ取り工具実験
Stollin, M. ベルリン工業経済大学, 学位論文 (2003)

翻訳：山田マシンツール株式会社