

# 交差穴のバリ取りに関する研究（第1報）

—ボールバニッシングによるバリ除去—

大島 郁也\*, 村田 良司\*\*, 前川 克廣\*

(平成2年8月31日受理)

## Removal of Machining Burrs at Cross Holes (1st Report)

—Deburring by Ball Burnishing—

Ikuya OHSHIMA\*, Ryoji MURATA\*\* and Katsuhiko MAEKAWA\*

**ABSTRACT**—Ball burnishing method is described which made it possible to remove machining burrs at cross holes. When drilling a carbon steel (SS41) and an aluminum, characteristics of the burrs generated inside the main hole at the intersection have been examined. A steel ball, of which diameter is slightly larger than that of the main hole, is pressed down to remove the burr. The aluminum used in the experiments is less ductile than SS41. This is why the aluminum burr is more efficiently taken away by the ball burnishing.

### 1. ま え が き

機械加工に伴って加工物端面に発生するバリは部品の形状精度や寸法精度を低下させ、部品そのものの機能を損ったり、組立精度を低下させたりする。さらにこのようなエッジの品質不良は製品の美観をそこねたり、使用上の危険性も含むために、生産工程においてバリの除去工程が不可避的に介在せざるを得ない。切削バリは製品の付加価値にも大きく影響するために古くから種々のバリ取り方法が用いられている<sup>1)</sup>。しかしバリ生成機構の検討<sup>2),3)</sup>やその発生を抑止、バリ発生を考慮した設計や加工法<sup>4)</sup>といった系統的な研究が行われるようになったのは最近のことである。

一般に、被削材の外部平面に発生するバリについては、その制御や除去は比較的容易である。しかしバリが切削端面の曲面部や材料内部に発生する場合には、その形状の同定や除去にかなりの困難さが伴う。特に液体や気体を利用する流体素子、あるいは流体機器では交差した穴を利用する場合が多く、比較的高い寸法精度が要求される。ところが穴内部に発生したバリは特に寸法的な制約のために、バリ取り加工を著しく難しくしている。また高圧機器等で使用時にバリがはく離したり、あるいはシリンダにバリがまき込まれた場合には大きな事故が発生する危険性がある。このようなバリの除去方法として砥粒流動、ブラッシング、噴射、熱衝撃、電解等が応用されている<sup>5)</sup>。しかし交差穴

\*茨城大学工学部機械工学科（日立市中成沢町）

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ibaraki University, Hitachi 316, Japan

\*\*東京理科大学理工学部機械工学科（野田市山崎）

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Science and Engineering, Science University of Tokyo, Noda 278, Japan

に生成するバリ自体の寸法や形状についてさえよく把握されていないばかりでなく、簡易で効果的な除去方法も確立していない現状にある。

本報告では、まず仕上げ加工した丸穴（主穴）に交差した穴をドリル加工したときの主穴に発生するバリの生成状況を調べる。すなわち穴内部に発生したバリの寸法と形状を観察・測定する。次にこのバリの簡便な除去方法としてボールバニッシングを応用したバリ取りについて述べ、その可能性を実験的に検討する。

## 2. 実験方法

### 2.1 交差穴の加工

試験片（被削材）として、Table 1 に示す機械的性質を持つ市販の軟鋼（SS41）および耐蝕アルミニウム（A1）の棒材を切断してそのまま用いた。

Table 1 Mechanical properties of specimen and ball.

Material (JIS)	Dimension	Tensile strength MPa	Elongation %	Hardness
Carbon steel (SS41)	□32.0 mm	461	37	HRB=69
Aluminum (A5056BD)	φ32.0 mm	294	22	HRB=42
Steel ball	φ12.7 mm	—	—	HRC=60

試験片の主穴（直径の大きい方の、仕上げ加工をしている穴）加工は、SS41 材では直立ボール盤でφ12.5のドリル穴加工後アジャスタブルリーマ仕上げをし、A1 材では旋盤でφ12.5のドリル加工後中ぐり仕上げをした。主穴表面の切粉と切削油剤は圧縮空気除去した。いずれも穴内面の表面粗さは  $R_{max} \leq 2 \sim 3 \mu m$  である。主穴径の測定にはデジタル式の三点マイクロメータを用いた。主穴に直交する直交穴（φ6, 8, 10, 12）と傾斜穴（φ6, 8, Fig. 1 に示す傾斜角  $\theta = 10, 20, 30 \text{ deg}$ ）は立フライス盤を利用しドリルであけた。使用した工具はいずれも市販のままのストレートシャンクのツイストドリルである。

このように試験片の主穴に直交または傾斜して交差する貫通穴をドリル加工し、主穴内部に発生するバリについて検討する。このバリの形状や寸法の観察・測定は主に工具顕微鏡を用いた。

### 2.2 ボールバニッシングによるバリ取り法

Fig. 1 はボールバニッシングによるバリ除去法を模

式的に示す。本方法は主穴径と同径または僅かに寸法の異なる鋼球を通して、主穴の仕上げ程度にできるだけ影響を与えずに、バリの除去を行うのが特徴である。

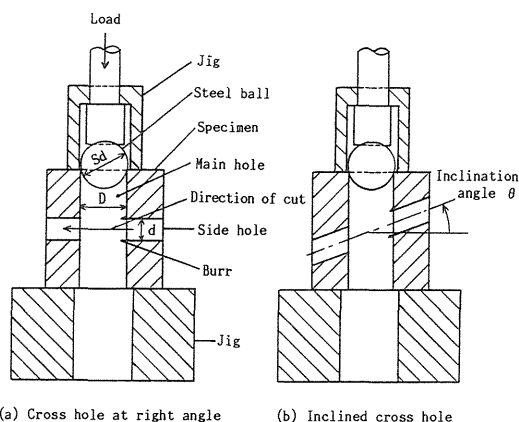


Fig. 1 Schematic diagram of deburring at cross holes by ball burnishing.

主穴直径を  $D$ 、バニッシング用鋼球の直径を  $S_d$ 、両者の直径差を  $\Delta$  とすると

$$\Delta = S_d - D \geq 0 \quad (1)$$

の条件が成立すれば、発生したバリは除去することが可能である。実験では一種類の鋼球を用い、穴加工において主穴径を変化させた。ボールバニッシングのための鋼球の押し込みは油圧式万能試験機を利用し、室温で押し込み速度が  $14 \text{ mm/min}$  の条件で行った。ボールバニッシングに用いた鋼球は呼び径φ12.7mm, HRC=60の市販のもので、一回の実験ごとに新品を用いた。

一部の実験では鋼球および主穴にマシン油を塗布した。

## 3. 交差穴に発生するバリの形態

Fig. 2 は交差穴部に発生したバリ形状の典型的な例をSS41 材について示す。同図は主穴側から交差穴を見たものである。主穴に交差してドリルが入る時に主穴にバリが発生し、部分的に大きく成長したり、あるいは交差穴外周にわたる小さなバリが見られる。



Fig. 2 Burrs generated inside main hole before ball burnishing.

Fig. 3 は主穴上部より工具顕微鏡で観察・測定しスケッチしたバリの代表例である。本報告ではこのバ리를一次バリと呼び、主穴円周からバリ先端までの最大高さ  $h_1$  をバリ寸法とする。ドリルで交差穴をあける場合、主穴への貫通時の抜け際は平面の場合と異なり、ドリル先端のチゼルが抜けてから主穴の円周曲率の変化に対応して切削幅が変化する。このために発生するバリの大きさが端面各位置で異なり、形状も複雑である。しかし大別すると図示のようにSS41 材, A1 材ともにバリ先端部がとれた形態 (Aタイプ) とバリ先端部が付いた形態 (Bタイプ) がある。量的にはAタイプが多く観察された。ドリル加工時に主穴の壁を貫通した時に発生する一次バリはBタイプに近いものが多いと考えられる。しかしさらに主穴を横切り次の穴加工が進められると、ここで発生した切粉は主穴内部に押し出され、そこに溜り、ついには逃げ場を探して動きまわり、主穴内部に発生した一次バリと接触し、一次バリの先端部を除去あるいは押しつぶす。その結果、Bタイプのバリ形状はAタイプに変化する場合が多いものと考えられる。

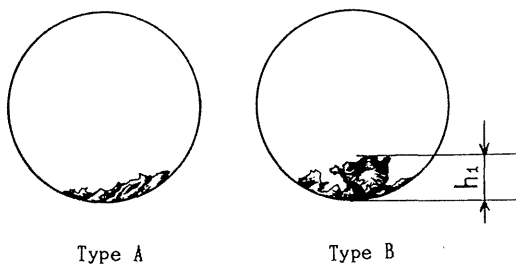


Fig. 3 Burr morphology generated inside main hole.

Fig. 4 (a) はSS41 材について交差穴のドリル径を変更した場合の主穴部の一次バリ寸法  $h_1$  の測定結果を示す。1 mm以下のバリが多く見られるが、これは前述のAタイプのバリが多いことを示す。極端に大きなバリは偶然に切粉の影響を受けなかったものと思われる。バリ取り法の検討にはこの大きなバリが存在することも考慮に入れる必要がある。ドリル径が異なってもバリ寸法に大きな差は認められないが、傾斜穴の場合には直交穴に比べて大きなバリとなる割合が多くなることがわかる。

Fig. 4 (b) は A1 材の場合を示す。SS41 材に比較して全体にバリ寸法はやや小さくなっている。φ8mm のドリルの場合にはバリが生じないものもあり、生じてもかなり小さい。これは主穴径と交差穴径の比の関係、加工条件の影響もあるが、Table 1 の伸びを見ればA1 材の方がSS41 材に比べてより小さいこと、すなわち、よりぜい性材であることと関連している。ぜい性材料の切削バリは大きく発達しない<sup>9)</sup>ことが知られているからである。

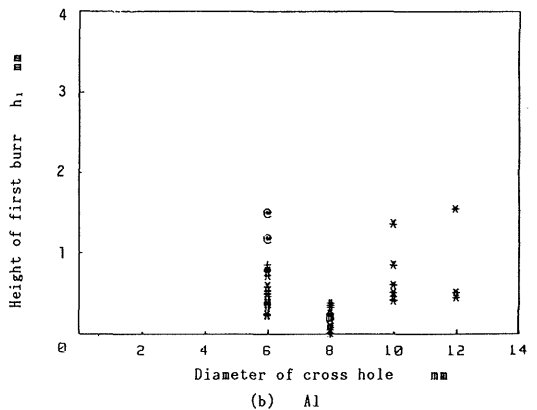
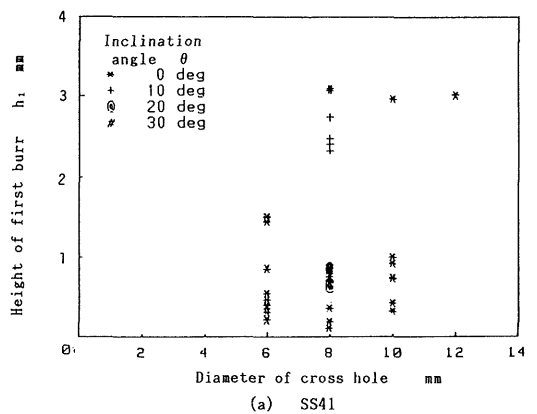
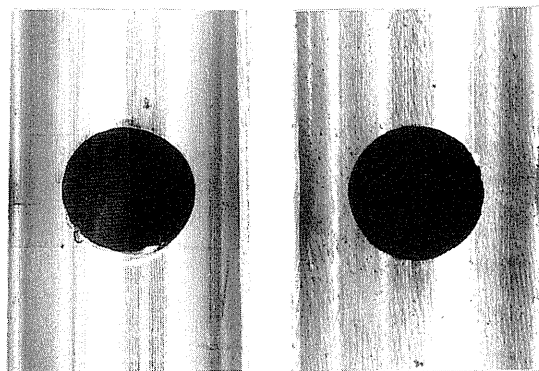


Fig. 4 Relationship between height of first burr and diameter of hole.

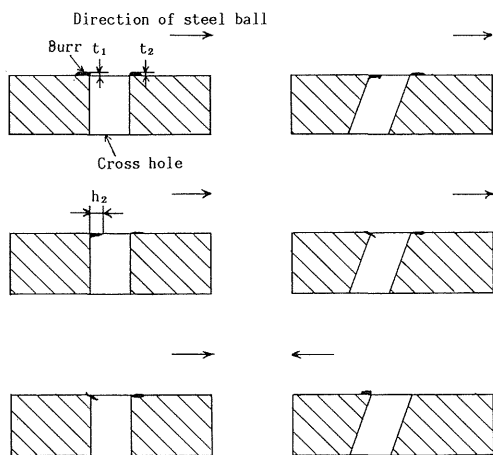
#### 4. 実験結果と考察

ボールバニッシングによるバリ取り後、試験片を主穴の軸方向に切断し、バリ部の観察・測定を行った。その一例を Fig. 5 に示す。鋼球の押し込みにより交差穴円周のほぼ80%以上にバリが存在していないのがわかる。しかし、そのバリ部の一部に種々の欠陥が生じる場合も多く見られた。例えばバリが押しつぶされる場合、押し延ばされる場合、縁欠けの場合等が観察された。さらに鋼球と主穴の直径差 $\Delta$ が大きくなるとボールによる焼付きやかじりといった現象も見られた。このようなボールバニッシングによる一次バリの変化を模式的に Fig. 6 に示す。



(a) SS41 (b) A1

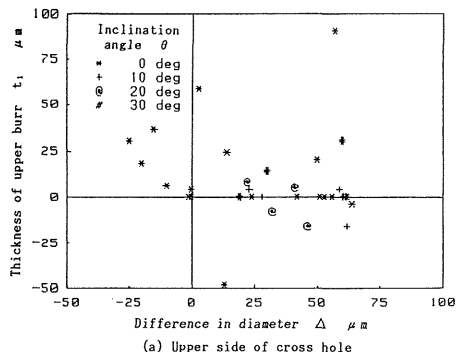
Fig. 5 Burrs after ball burnishing.



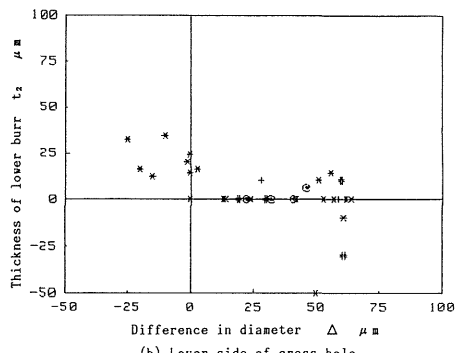
(a) Cross hole at right angle (b) Inclined cross hole

Fig. 6 Schematic diagram of various types of burrs after ball burnishing.

バリ取り効果の評価のために、粗さ計により主穴壁面に残留した一次バリ厚さ $t_1$ と、顕微鏡により交差穴二次バリ寸法 $h_2$ を測定した。Fig. 7 はSS41 材の場合の残留一次バリ厚さと直径差 $\Delta$ の関係である。Fig. 6 に示すように鋼球が最初に通過した後のバリの残留厚さを $t_1$ 、次に通過後のバリの残留厚さを $t_2$ とする。原理的にも直径差のマイナス、すなわち鋼球の直径が主穴径より小さい場合にはバリは取れないことから、 $\Delta$ が負の領域での $t_1$ と $t_2$ はともに大きい。 $\Delta=25\sim 50\mu\text{m}$ の直径差の場合にバリは取れやすいことがわかる。SS41 材については今回の実験条件の範囲では大部分のバリは取れるが、交差穴部を含む主穴に欠陥も多く生じることも判明した。例えば Fig. 7 (a) の $t_1$ の負の値は凝着によって、バリだけでなく主穴の壁面まで除去されたことを意味する。なお、穴あけ後に予めボールバニッシング仕上げ加工をした主穴について同様の実験をしてみた。交差穴には二次バリが僅かに生じたが、主穴壁面には欠陥が生じなかった。これは壁面が加工硬化したために凝着摩耗が抑止されたためと考えられる。



(a) Upper side of cross hole



(b) Lower side of cross hole

Fig. 7 Difference in diameter between main hole and ball vs. thickness of residual burr in the case of SS41.

Fig. 8 はA1材の場合の残留一次バリ厚さと直径差の関係である。 $t_1, t_2$ ともSS41材に比べてさほど大きくなっていないことがわかる。すなわち一次バリのほとんどが除去されるか、あるいはわずかに交差穴側の二次バリとなって残留し、主穴面にはSS41材の場合のような欠陥はほとんど生じない。しかし直径差が $10\mu\text{m}$ 以下になるとバニッシング効果が少なくなり、バリの折り曲げ、押しつぶしが生じ、バリの除去効率は $\Delta=40\mu\text{m}$ 付近と比べると悪化している。一般的に、A1材のボールバニッシングによるバリ取り効果はSS41材に比べて良好である。

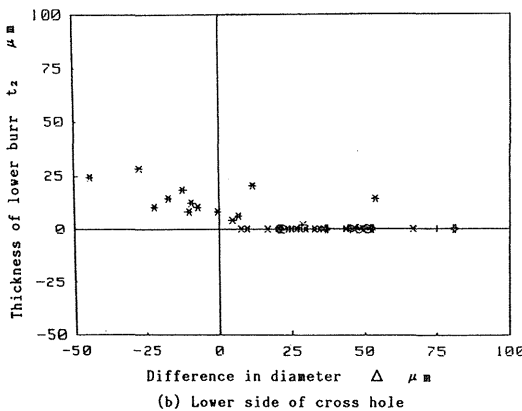
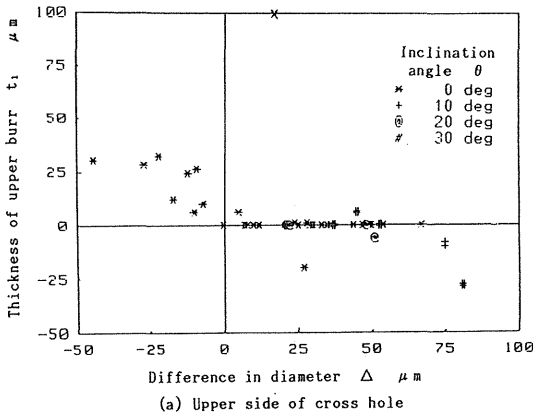


Fig. 8 Relationship between thickness of residual burr and diameter difference in the case of A1.

Fig. 9 は主穴に発生した一次バリ寸法  $h_1$  とボールバニッシング後に交差穴内部に残留した二次バリ寸法  $h_2$  の関係を示す。図中の直線は一次バリと二次バリの

比が1対1の場合である。 $h_2=0$  は一次バリが交差穴側にでなかったことを示す。同図 (a) のSS41材の場合には全体的に見て二次バリがない場合が半数以上あることがわかる。一方、同図 (b) のA1材の場合にはSS41材に比べて  $h_1, h_2$  の絶対値は小さいものの二次バリが一次バリと同程度に生ずる場合が多い。

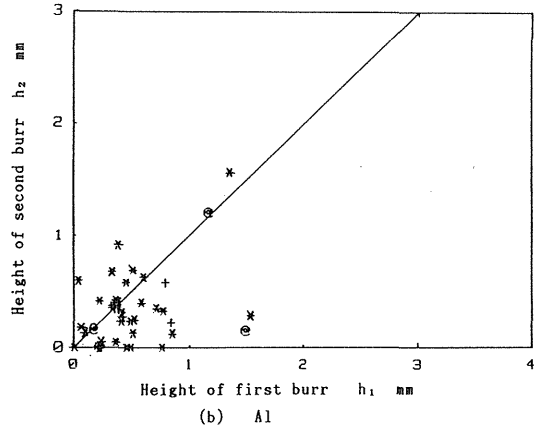
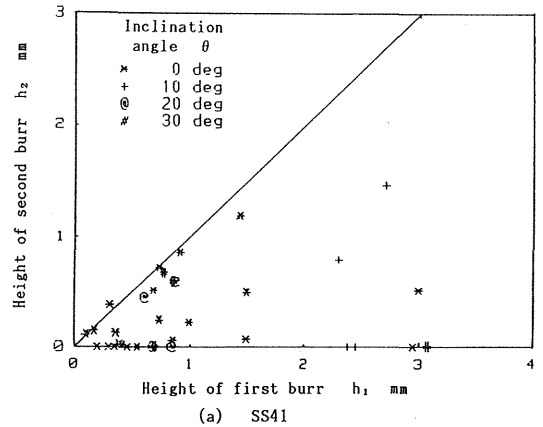


Fig. 9 Relationship between height of first burr and that of second burr.

Fig. 10 はボールバニッシング時の鋼球の押し込み荷重の変化を示す。押し込み速度は $14\text{mm}/\text{min}$ 前後である。入口側と出口側で主穴径がわずかに異なるために荷重は一定とはならない。しかも一次バリの部分ではやや荷重は増加する傾向がみられ、また交差穴部では減少している。なお、両者とも直径差は $\Delta=25\mu\text{m}$ と同一でありながらSS41材の方が押し込み荷重が大きいのは、引張強さが大きいだけでなく摩擦係数も大きいためと考えられる。Fig. 11 は主穴と鋼球の直径差 $\Delta$

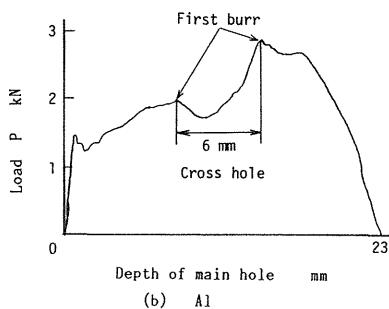
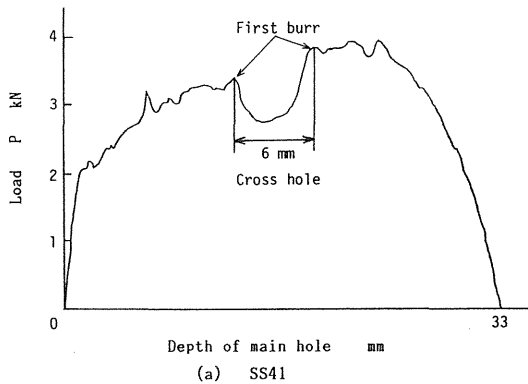


Fig. 10 Change of load required for pressing a steel ball.

とバニッシングの最大荷重  $P_{max}$  の関係を, Fig. 12 には直径差 $\Delta$ とバニッシング後の主穴径の拡大代 $\varepsilon$ の関係をそれぞれ (a)SS41材, (b)A1材について示す。何れの値も $\Delta > 0$ の範囲では直径差にほぼ比例して増大している。すなわち $\varepsilon$ は $\Delta$ にほぼ正比例するが,  $P_{max}$  は $\Delta$ の2乗に比例するようである。これは押し込み荷重が除去断面積に比例するためである。バニッシング時にマシン油を用いた実験も行ったが, その効果ははっきりと認められなかった。A1材の場合もおおむねSS41材と似た傾向を示している。

Fig. 13 は使用した鋼球の表面状態を調べた結果である。鋼球表面には擦過痕が生ずるが, その平均幅と直径差 $\Delta$ の関係を (a)SS41 材, (b)A1 材について示している。なお, 測定には移着した相手金属も含めた。図中の「回転」とは押し込み中に鋼球が回転しながらバニッシングが行われたことを意味し, この場合の擦過痕は二本以上あるので大きい方の値をとった。SS41材はA1材に比べて回転が多い。また回転は傾斜穴の場合に多くなっている。

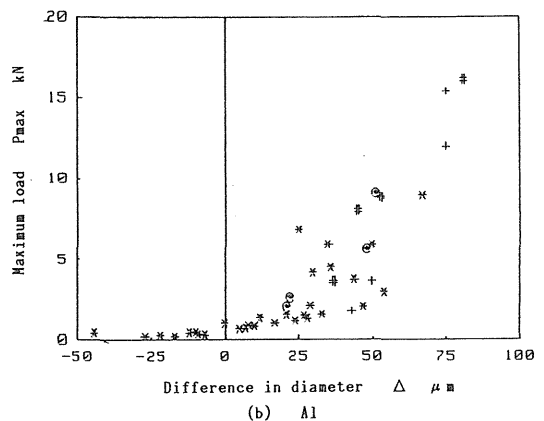
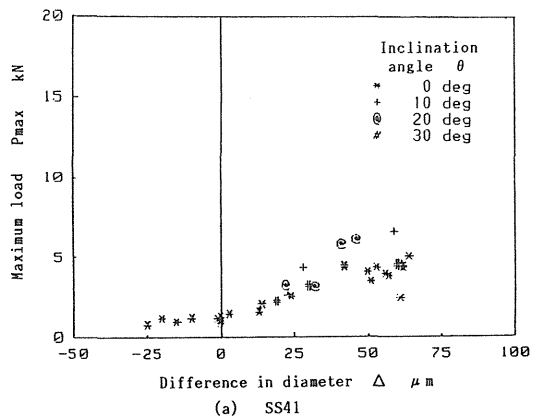


Fig. 11 Maximum burnishing load vs. difference in diameter between steel ball and main hole.

### 5. まとめ

交差した穴加工において穴内部に発生するバリについて詳細な測定を行い, その形態を明らかにした。次に交差穴のバリを取るための簡便な方法としてボールバニッシングによる除去加工法を提案し, SS41 材とA1 材についてその効果を実験的に評価した。

SS41 材では鋼球と主穴の直径差が小さい場合にバリの除去効率が高いこと, A1 材ではバニッシング効果により主穴に発生する交差穴のバリがほぼ完全に除去できることが判明した。総合的に, ボールバニッシングによるバリ取り法はかなり実用性が期待される。今後, 広範囲の被削材に対して本方法の適用度を調べるとともに, 理論的な検討を加える予定である。

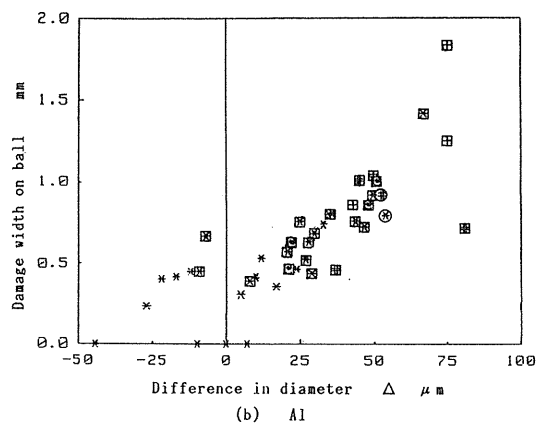
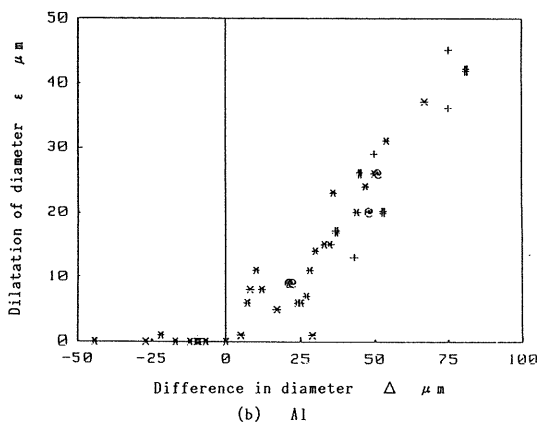
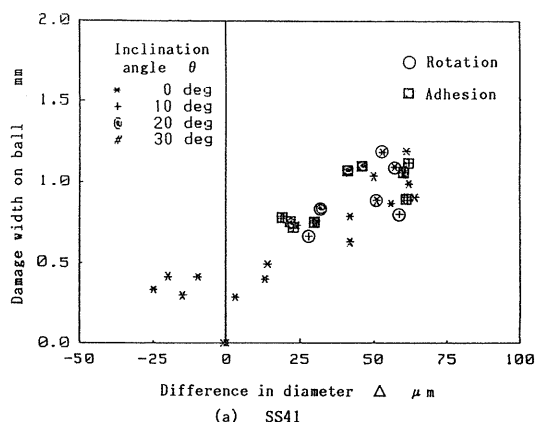
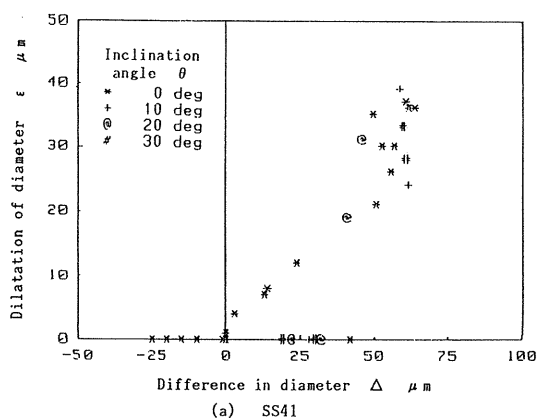


Fig. 12 Dilatation of diameter after ball burnishing vs. difference in diameter between steel ball and main hole.

Fig. 13 Damage width on steel ball vs. difference in diameter between ball and main hole.

### 謝 辞

本実験に終始協力した平成元年度卒業研究生の金蔵浩君(現,京セラ株)に深甚なる謝意を表します。

### 参 考 文 献

- 1) 高沢孝哉: バリテクノロジー, 朝倉書店, (1980) 73
- 2) 大島郁也, 川船和儀: バリテクノロジーの研究

(第4報), 日本機械学会・精密工学会共催日立地方講演会講演論文集, (1986.9) 103

- 3) 岩田一明, 上田完次, 奥田孝一: 走査型電子顕微鏡直接観察によるバリ生成機構の解析, 精密機械, 48, 4 (1982) 510
- 4) 文献1)のpp.51-61
- 5) L.K.Gillespie and P.T.Blotter: The Formation and Properties of Machining Burrs, Trans. ASME, J. Eng. for Industry, 98, February (1976) 66