

超高圧ガスによる板材の穴あけ加工における板厚の影響

電気通信大学

村田 眞

(平成3年度研究開発助成 AF - 91018)

1. はじめに

塑性加工は大量生産において最適な加工法であり、金属加工製品の多くはこの加工法によって製造されている。その塑性加工においてせん断加工法は板材加工において必ず存在する加工であり、その加工法については多くの研究がなされて来ている。このせん断加工において薄い板に小径の穴をあけることは困難であるとされている。超高圧ガスによる薄板への穴あけ加工法を開発し、その有用性について検討した¹⁾、その中で本加工法によって穴あけ加工を行った場合、穴あけに必要な圧力は予め予想可能であること、穴あけされた製品は良好な破断面を有すること、また、弾性体パンチを使用した穴あけの特徴であるせん断部のくびれ変形により板面方向へのかえりが生じないことが確かめられ、小径穴あけが比較的安価で実現可能であることを述べた。本報においては、本加工法の特徴をより明らかにし、実用性を評価するために、穴の径の範囲を大きくとり、被加

工材である金属薄板の板厚が、穴あけ機構・寸法精度・穴あけに必要なガス圧力にどのような影響を及ぼすか、さらに、穴あけ時に抜きかす部分に作用されるガスの圧力がどのように上昇していくかについてアルミニウム薄板を対象として実験的に検討をした結果を記述する。

2. 実験装置と実験手順

Fig. 1は実験装置のシステム概略図である。実験装置は、超高圧ガスを発生する圧縮システム部と、穴あけを行うワーク部に分けられる。圧縮システム部では、空気圧によりポンプ①を作動させ圧縮シリンダ内②にオイルを供給し窒素ガスを圧縮する仕組みとなっており、最高200MPaまで昇圧可能である。昇圧された窒素ガスはワーク部の容量300cm³のリアクター③に貯められる。リアクター内の圧力はひずみゲージ式圧力変換器④を使用して測定される。リアクター内が必要な圧力に達したところで圧縮システム

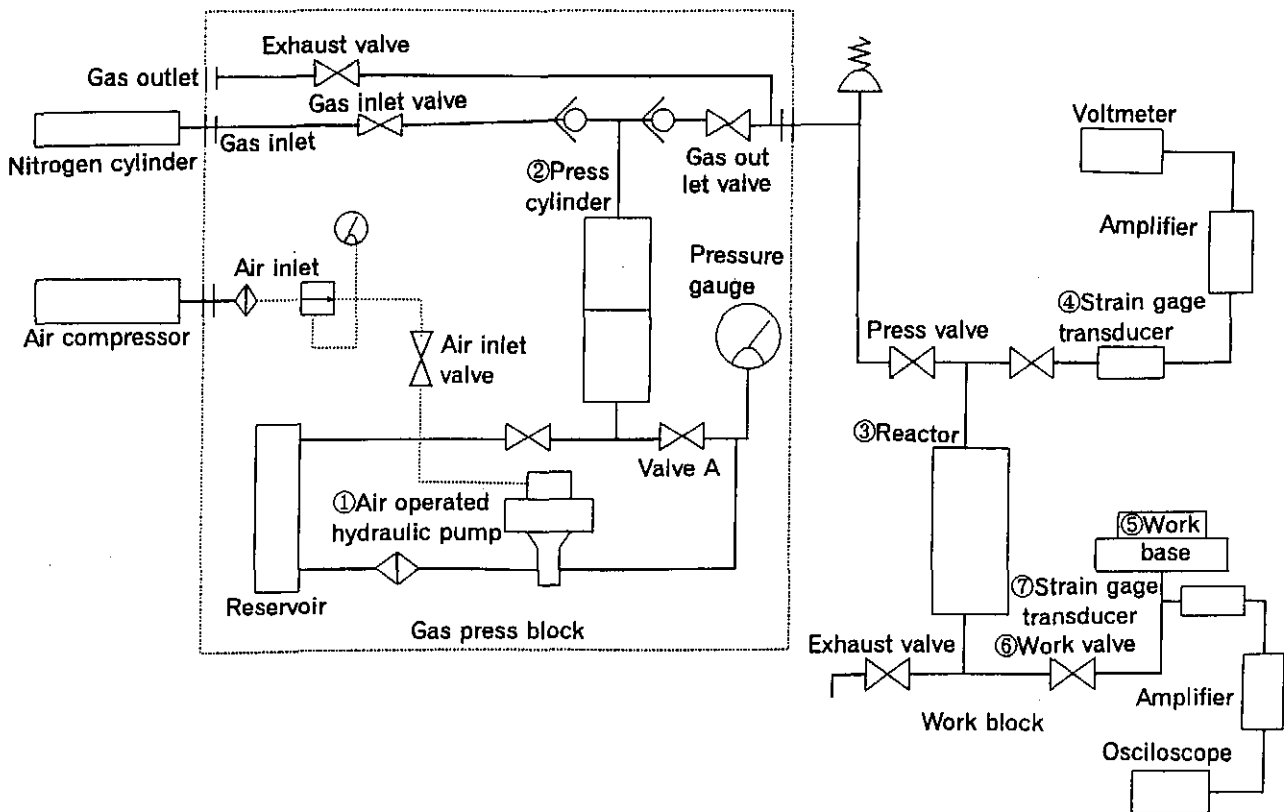


Fig. 1 Block diagram of system of punchless punching of a circular hole in thin sheet metal by ultrahigh pressure gas.

部とワーク部は分断され、以後、ワーク部の操作のみで穴あけ加工は行われる。穴あけ試験は Fig. 1 におけるワークベース⑤上に Fig. 2 に示すようにワークベース、パッキングシート、試料薄板、ダイスの順に重ねボルトで固定し、セットした後リアクターとワークベースを繋ぐワーク弁⑥を開き、試料薄板に衝撃的にガス圧力を負荷する事で完了する。この時の昇圧の様子を加圧ノズル手前に取り付けたいはずみゲージ式圧力変換器⑦により測定しオシロスコープに取り込み観察する。ダイスには1.0~15mmの11種の穴をあけたものを用意した。

また、穴寸法の測定には工具顕微鏡を使用した。

試料薄板は、一辺50mm正方形で、材質はアルミニウムA1050-H18およびA1060-H18を使用した。

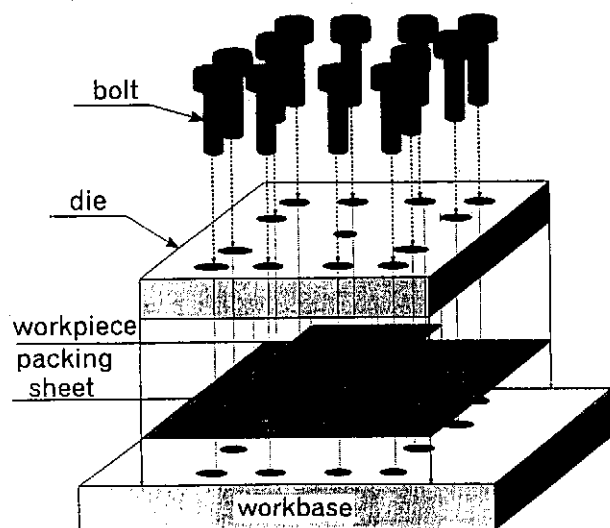
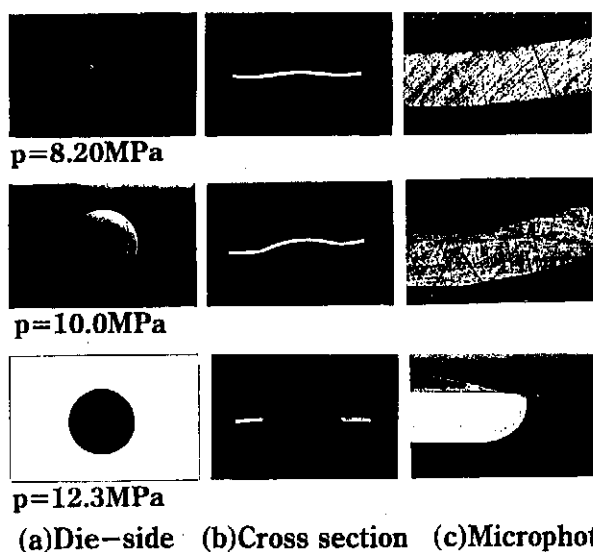


Fig 2 Schematic illustration of method of setting up workpieces.



Aluminum(JIS A1060-H18), $t=0.8\text{mm}$, $d_0=15\text{mm}$

Fig 3 Bulge deformation and Punching of work-piece.

3. 実験結果

3.1 穴あけ機構

Fig. 3 は0.8mmのアルミニウム板にガス圧力を逐次増大させて直径15mmの穴あけを行った場合の板のダイス側表面および断面の写真である。Fig. 3 (a) は、加工された試料薄板のダイス側表面を、(b) は断面を、(c) は (b) における切刃近傍の拡大図を示している。これらは本加工法における被加工材の変形過程を表しており、高圧ガスが作用したとき、ダイス穴部に対面する試料薄板の一部がバルジ変形し穴部周辺にある試料がくびれを起こすとともに、ダイス切刃によってせん断されていく様子が見られ、ガス圧力を用いた典型的な穴あけの様子がよく表されている。板厚が変わっても、この穴あけの様子には差が見られないため、本加工機を用いて穴あけを行った場合、板厚の変化によらず試料薄板は上記のような過程を経て穴あけがなされるといえる。ただし、板厚が0.05~0.5mmの場合はまったくバリは見られなかったが、0.6~0.8mmでは穴の一部に小さなバリが生じることがあった。

Fig. 4 は板厚が0.4、0.6、0.8mmの試料薄板にダイス穴径5mmの穴あけを行ったときの穴あけ部断面写真である。同図 (a)、(b)、(c) とともにその形状に大きな差が見られない。したがって、板厚変化による穴部断面の形状変化はないと考えられる。すなわち、板厚が変化しても先の Fig. 3 と全く同様なプロセスを経て穴が生成されることがこれらの写真から推測される。

Fig. 5 は加圧ノズル手前に取り付けたいはずみゲージ式圧力変換器で測定したガスの圧力を電圧変換してオシロスコープで観察したものである。この穴あけでは板厚0.6mmのアルミニウム (A1050) で、リアクター内圧力 $p=1280$ (MPa)、ダイス径3mmで穴あけを行ったときの電圧と時間の関係を示している。横軸は時間を、縦軸は圧力を示し、目盛りはそれぞれ50ms・20MPaを示している。試料に作用する圧力は開弁とともに指数関数的に昇圧し、ピーク値約72MPaに達すると、圧力は急激に減圧していき、さらに時

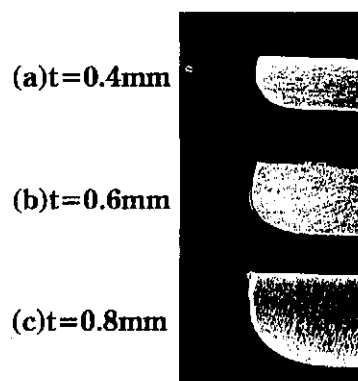


Fig 4 Cross sections of workpieces.

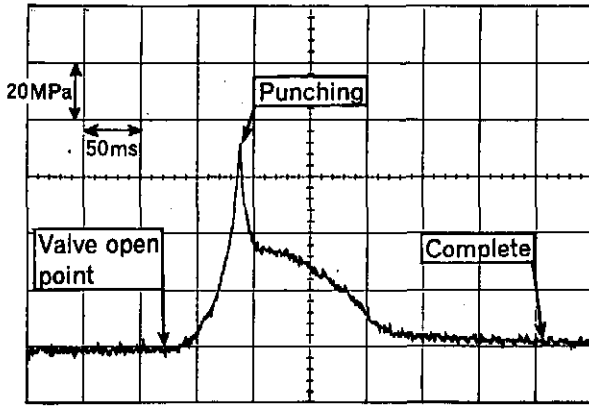


Fig 5 Osirodiagram of gas pressure as a function of time

間が経過するとゆるやかな減圧を見せ、最終的に大気圧に戻る。これを前述の各変形段階と対応させると、まず、圧力の指数関数的な昇圧とともにバルジ変形を起し、ピーク値で抜きかすが分離され、穴あけは完了し、ガスは解放されて急激な減圧をする。この場合、同図より弁開放後約0.1secで穴あけは完了している。ピーク値は後述する穴あけ最小圧力よりも僅かに高い値となっているが、これは衝撃的にガスが圧力変換器の測定面にぶつかるので実際に負荷される圧力とは異なる値が出力されるためであると考えられる。減圧過程において穴あけ後直ちに大気圧には戻らないが、これは、開弁から穴あけまでの時間が0.1~0.15secと非常に短いため弁の開閉において、穴あけ後もリアクターから高圧ガスの放出が続いているためである。この現象は、穴径あるいは板厚が変化した場合ピーク値や減圧傾向に多少の差は見られるものの、ほぼ同様に観察される。

3.2 寸法精度

この穴あけ加工法において、加工後の製品の寸法精度を表す指標として Δd を採用した。ただし、 $\Delta d = d_0$ (ダイス直径) - d (穴あけ製品の肉径) である。

Fig .6はガス圧力を変えて直径3mmの穴を板厚0.3、0.5、0.8mmの試料薄板に開けたときの寸法精度を調べた結果である。最小穴あけ圧力付近において寸法精度の低下が見られるが、これは穴あけが可能な最小の圧力より僅かに大きな圧力で穴あけを行った場合、材料の流動が他の場合よりも多くなるためである。この点を除けば、ガス圧力による寸法精度の変化は見られずほぼ一定値を取っており、板厚が増加しても寸法精度はガス圧力により影響を受けないことを示している。そこで、この方法で穴あけを行う場合は、最小圧力よりも10MPa程度高い圧力を使用することがより好ましく、必要以上に圧力を負荷しても精度の向上は望めない。

Fig. 7は、ダイス穴径が3.0、6.0、12.0mmのときの各

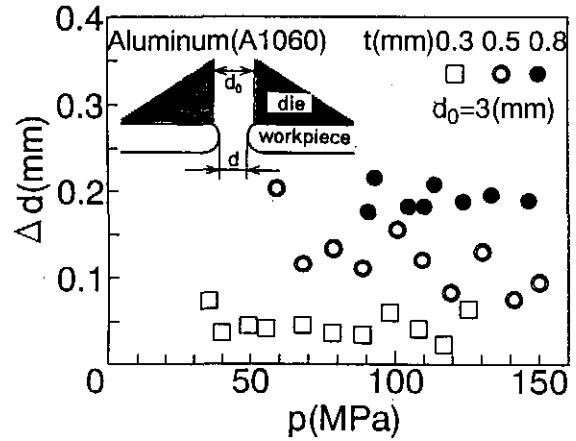


Fig 6 Relationship between pressure p and accuracy of diameter of punched hole Δd for different thickness t .

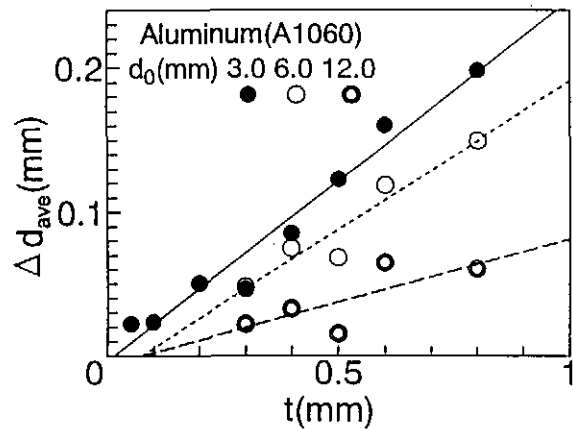


Fig 7 Relationship between thickness t and average of accuracy of diameter of punched hole Δd for different diameter of dies hole d_0 .

板厚と平均寸法精度の関係を示している。直線はそれぞれの穴径についての最小二乗法による近似直線を示している。寸法精度は板厚に比例して低下し、穴径が大きくなるにしたがって増加幅が減少することを表している。すなわち、本加工法では同じ穴径においては板厚が小さい場合、また同じ板厚においては穴径が大きい場合に高精度な穴あけが可能となることを示している。

Fig. 8は、各板厚における平均寸法精度と穴径の関係を示している。穴径が増大するにつれて寸法精度は向上し、板厚による差も小さくなっている。しかし、文献(1)において0.1mmと0.05mmの板厚のアルミニウムについて寸法精度を検討した場合には、板厚の差による寸法精度の差は生じなかった。これは板厚が小さい場合は、穴径が小さくても材料の流動に大きな影響はないが、板厚が大きくなるとその影響が大きくなるためであると考えられる。

次に、寸法精度に大きな影響を及ぼすだれ込みについて検討する。だれ込みの評価を行うにあたり、だれ込み部分を試料薄板垂直上方から見たときの長さ(以後、この値を

e 値とする) の測定を行った。

Fig. 9は、ダイス径3mmの穴あけを行ったときのe値を各板厚についてガス圧力を変化させて調べた結果である。e値は圧力による影響はなく一定値を取り、かつ板厚が増加するにつれて、e値も増加している。すなわち、e値はガス

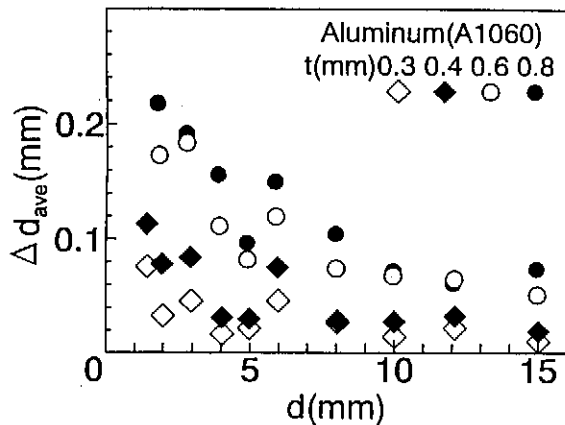


Fig 8 Relationship between diameter of dies hole d_0 and average of accuracy of diameter of punched hole Δd for different thickness t .

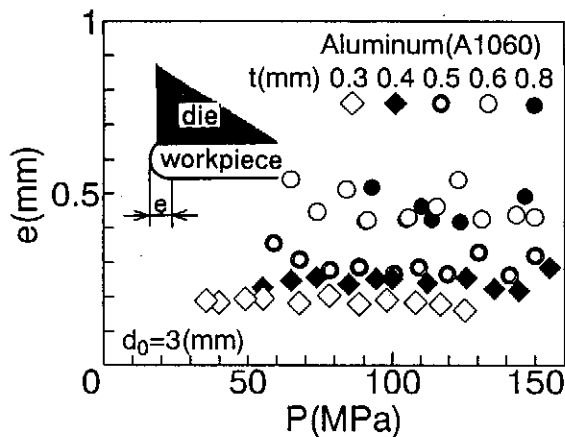


Fig 9 Relationship between pressure p and shear droop width e for different thickness t .

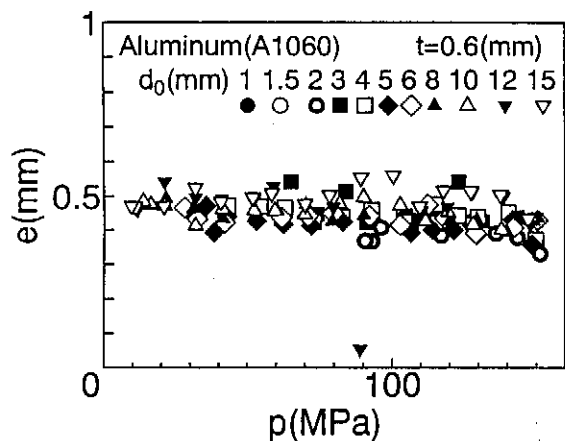


Fig 10 Relationship between pressure p and shear droop width e for different diameter of dies hole d_0 at a thickness of 0.6mm.

圧力に対し常に一定値を取り、板厚が増加してもその傾向は変化しない。

Fig. 10は、板厚0.6mmの試料薄板にガス圧力を変化させて1.0~15mmの各ダイスで穴あけを行ったときのe値の変化を示している。±0.1mm程度のばらつきはあるが、全ての穴径でガス圧力の変化によらずeの値は0.48mm程度の一定値を取っている。他の板厚についても同様な結果を得ている。

Fig. 11は、e値の平均値と穴径の関係を各板厚について調べた結果である。e値は板厚が増加すると全ての穴径にほぼ比例して大きくなる。これは、板厚が増加するにつれ材料の流動範囲が広がるためである。また、同じ板厚でも穴径が大きくなるにしたがってわずかに増加する傾向がある。穴径が小さい場合と大きい場合ではバルジ変形の形状がわずかに異なることが確かめられた。つまり、穴径が小さい場合は試料薄板の加圧側はFig. 12 (a)のように山型に近い形状をしているのに対し、穴径が大きい場合は(b)のように球面の一部のような形状になるため、だれ込みは通常バルジ変形時の引っ張りにより材料が流動し、くびれを起こして形成されるため、板厚に対する穴径の比が小さくバルジ変形の規模が小さいときは材料の流動範囲も小さくなりe値は板厚と穴径の比が大きいために比べて小さくなる。

3.3 穴あけ最小ガス圧力

穴あけに必要な最小ガス圧力を求めることは装置の設計時には必要不可欠であるばかりではなく、ガスの浪費を押さええるという点でも大変重要である。そこで、所要の寸法の穴の穴あけに必要な最小圧力を実験および計算から求める。計算値はせん断部のつり合いにより求められる。つまり、穴あけ機構(3章1節)で前述したように、抜きかすがダイス切れ刃によってせん断されるとすれば、穴あけ部に

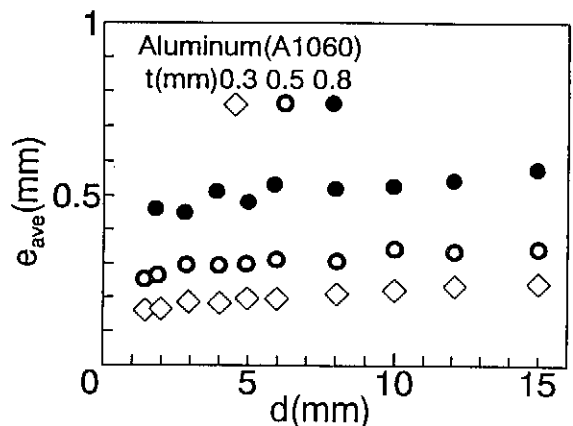


Fig 11 Relationship between diameter of dies hole d_0 and the average shear droop width e for different thickness t .

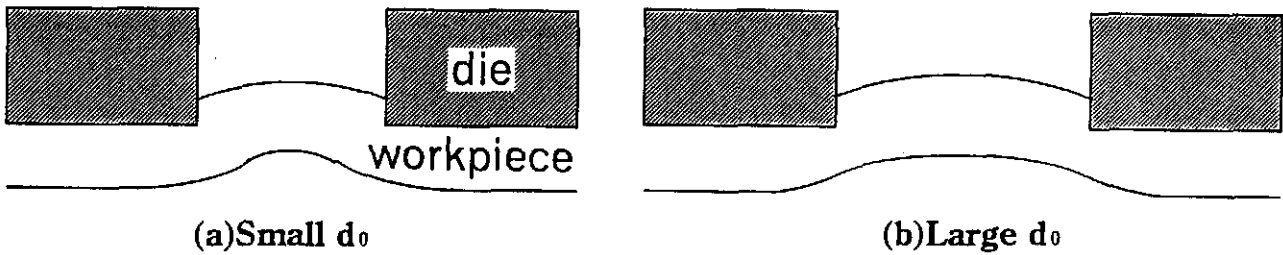


Fig. 12 Changes in shape of bulge by difference of hole diameter d_0 .

加わる力とせん断加工するための力のつり合いより式 (1) が成立する。

$$\frac{\pi d_0^2 p}{4} = \pi d_0 t k_s \quad (1)$$

式 (1) より穴あけを行うための圧力 p は式 (2) で示す条件が満たされれば可能となる。

$$p \geq \frac{4k_s t}{d_0} \quad (2)$$

ただし、 K_s : せん断抵抗、 d_0 : ダイス穴直径、 t : 板厚
 p : 穴あけガス圧力

なお、せん断抵抗 K_s は通常引張強さの 0.8 倍が使用される²⁾が、本加工法ではポンチとダイスを用いた慣用的な穴あけ加工法とは異なりポンチとダイス間の摩擦による損失などが無いこと、トレスカの条件に合致することから引張強さの 0.5 倍の値を採用した。

Fig. 13 は、板厚 0.4、0.6、0.8mm の試料薄板についてのダイス穴径と最小ガス圧力の関係についてを示しており、図中の点と曲線はそれぞれ実験値、計算値を表している。実験値と計算値は傾向が同じであるだけでなく近い値を取り、穴径が増加するにつれて最小ガス圧力は減少し、板厚の増加とともに圧力も増加する傾向がある。これらは、板厚が薄い場合と同じ結果であり、板厚あるいは穴径が大きくなった場合でも本加工法における最小圧力は式 (1) より算出可能である。

4. 結 言

超高圧ガスを用いた穴あけ加工法において板厚・穴径が増加した場合について調べた結果をまとめてみた。

(1) 板厚が増加しても穴あけは可能であり穴あけの機構に

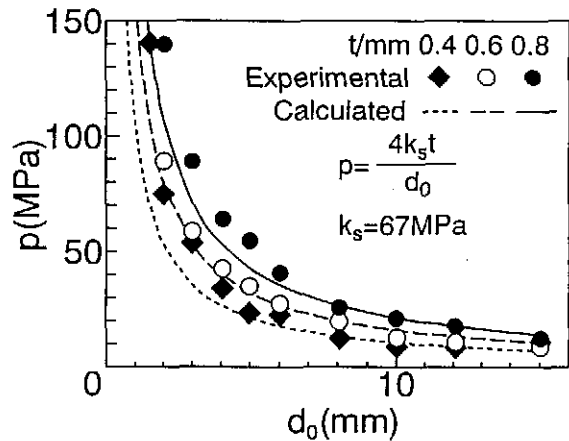


Fig. 13 Minimum pressure p required to punch circular holes with diameter d_0 for different thickness t .

変化はないが、0.6mm 以上になると穴部にかえりが生じ不良現象を発生する傾向にある。

- (2) 圧力の高低によらず寸法精度・だれ幅は一定している。
- (3) 板厚増加に比例して、また、穴径に反比例して精度は低下する傾向がある。
- (4) 板厚が増加しても最小圧力は上記計算式 (1) より算出可能であり、実験値と計算値は良く一致する。

謝 辞

この研究は天田金属加工機械技術振興財団の援助によってなされたことを示すと同時に同財団に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 村田 眞、上出 靖、鈴木秀雄、平 5 塑加春講論集 (1993), 737.
- 2) 前田禎三: 塑性加工, (1972), 208, 誠文堂新光社