

超高圧の水による潤滑油を用いない板材加工

電気通信大学 知能機械工学科

助教授 村田 眞

(平成11年度研究開発助成 AF-1999008)

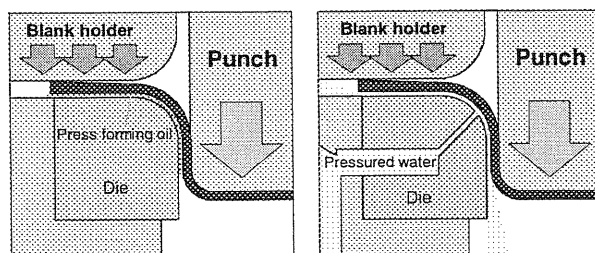
キーワード：板材成形，潤滑，高圧水

1. 研究の目的と背景

深絞り加工においては、工具と材料との間の潤滑が製品の品質、加工力および成形限界に大きな影響を与える。しかしながら、成形後に製品に付着した潤滑剤を洗浄しなければならず、環境に負荷を加えるとともに洗浄のためのコストも必要となる。近年ではこれらの観点から深絞り加工における潤滑法が研究されている。例えば対向液圧深絞り法や周液圧深絞り法において圧力媒体に水を用いた成形法¹⁾が考案されている。しかし、型締め力の大きなプレス装置が必要となり、またプレス容量分の潤滑液を補充する必要があるためプレス成形のサイクルタイムが長くなり、生産性が落ちることが明らかとなっている²⁾。そこで対向液圧成形の利点の一つであるしわ押さえ部の摩擦低減効果を容易に実現する方法として、被加工材と工具との隙間に高圧の液体を供給しながら成形を行う“液圧潤滑成形法(H. P. L. L. 法)が考案されている^{3)~6)}。一方、後藤ら^{7), 8)}によれば深絞り加工においては、フランジ部に比べダイス肩部の摩擦係数が高くなることが示されている。そこで本研究では、ダイスの肩部、フランジ部に複数の微小なノズルを配置し、ここから直接、高圧水を強制的に送り込み潤滑を行う加工機を開発した。そして、この加工法の可能性について実験的に検討し、その特徴を明らかにした。

2. 水圧潤滑による深絞り加工の原理

従来の深絞り加工では、Fig.1に示すように、ダイスとブランクの間にプレス油の潤滑膜を介在させることで成形が行われる。このため成形後に溶剤等を用いて洗浄する必要があり、地球環境への悪影響及び製造コストの負担を強いられる。そこで脱脂、洗浄工程を省略できる水を潤滑剤として使用する深絞り加工法を考案した。しかしながら、水の粘性はプレス油に比べ極めて小さいため、そのままダイスに塗布した状態では潤滑効果はほとんど期待できな



(1) Conventional deep drawing (2) New deep drawing

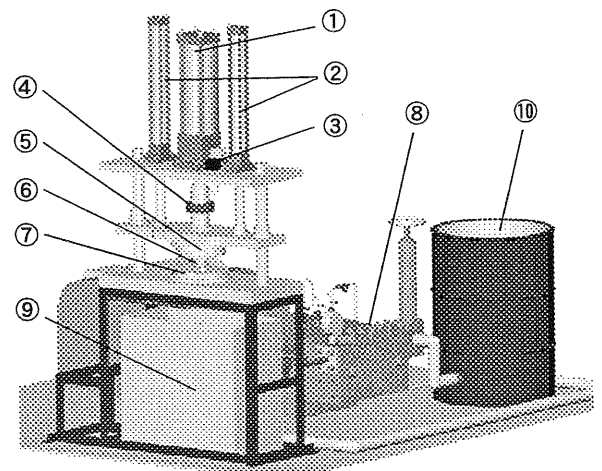
Fig.1 Conventional deep drawing using press forming oil and New deep drawing using high pressure jet water

い。そこで本深絞り法では、水を高圧にした状態でダイス肩部部分あるいはフランジ部からノズルを通して噴射する方法をとった。噴射された水はダイスとブランクの間に強制的に送り込まれ、潤滑膜としての役割を果たす。

3. 実験条件

3.1 実験装置および実験方法

実験装置の概略図をFig.2に示す。本体の上部には①パンチ用シリンダが設置されており、④ロードセルを挟んで⑥パンチが取り付けられている。またパンチ用シリンダには位置検出用の③ストローク用エンコーダが備え付けられている。本体上部両脇には②しわ押さえ用シリンダが設置されており、⑤しわ押さえが取り付けられている。油圧ポンプのしわ押さえ用シリンダの圧力制御弁を制御することによってしわ押さえを上下させることができ、⑦ダイスに置いた試験片を押さえつけることができる。なお、しわ押さえ力は圧力制御弁を制御することによって1.0~13.0kNに設定する。また、⑧高圧プランジャポンプの圧力制御弁を制御することによって⑩潤滑剤のタンクに満たされた水を吸い込み、加工中にダイス表面に作製したノズルから潤滑水を強制的に送り込むことができる。潤滑水の圧力は高圧プランジャポンプの圧力制御弁を制御することによって5~40MPaに設定する。使用した潤滑水は⑨受水槽に貯えられる。また、ストローク用エンコーダからストロークデータを、ロードセルから加工力データをパソコンに取り込むことができる。



①Cylinder for punch ②Cylinder for blank holder ③Encoder
④Load cell ⑤Blank holder ⑥Punch ⑦Die ⑧High pressure pump
⑨Tank for exhaust water ⑩Tank for lubricant water

Fig.2 Prototype deep drawing equipment

使用した工具寸法を Table 1 及び Fig.3 に示す。なお、実験 3. 1 についてはパンチ、ダイス共に肩半径 2.5mm でタイプ A のダイスを用いた。実験 3. 2 ではパンチ、ダイス肩半径 5.0mm としタイプ A, B, C のダイスについて検討した。図に示すように各ダイスには潤滑水を噴射するため、φ0.6mm のノズルが円周方向等間隔に 8 個作製してある。またタイプ C についてはダイス肩部とフランジ部のノズルは互いに 22.5° ずれるように配置した。

Table 1 Dimensions of tools

Punch	Diameter	D_p / mm	30.0
	Radius of corner	D_p / mm	2.5, 5.0
Die	Diameter	D_d / mm	32.30
	Radius of corner	r_d / mm	2.5, 5.0
Blank holder	Diameter	D_b / mm	32.2
	Corner of radius	r_b / mm	5
Clearance		c / mm	1.15

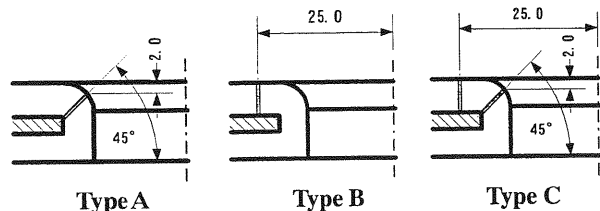


Fig.3 Position of water holes

Table 2 に実験に使用した試験片の機械的性質を示す。なお試験片は公称板厚 1.0mm である。

Table 2 Mechanical properties of sheet metal

Sheet metal	Tensile strength MPa	Elongation %	n value	F value MPa
A1050-H24	135	6	0.12	214

3. 実験結果

3.1 潤滑水成分による影響

高圧水のみを潤滑剤として用いた場合、プレス油に比べ水の粘性が低くまた、潤滑膜が薄く切れやすいため成形品表面の損傷が発生する。そこでここでは、潤滑性の向上と防錆効果の期待できる植物性石鹼を潤滑水に加えることにより、成形性に与える影響について検討を行った。使用した植物性石鹼の性状を Table 3 に示す。なお pH 値は添加量 0.05% のとき 7.6、0.5% のとき 8.8 であり、弱アルカリ性を示した。

Table 3 Mechanical properties of sheet metal

Products name	pH	Main ingredients
Natural cleanser	7.6-8.8	palm oil 24%

Fig.4 は潤滑剤をプレス油、水及び水+石鹼 (0.05%) とした場合におけるパンチストロークとパンチ荷重との関係を示している。水のみを潤滑剤とした場合、荷重に 3 つのピークが発生する。(以下それぞれを Peak1, 2, 3 と呼ぶ) Peak1 は、パンチ肩部での曲げ、ダイス肩部での曲げ曲げ戻し、ダイスフランジ部分での圧縮による変形抵抗、及びダイス表面との摩擦抵抗の合力として発生する。これは通常のプレス油を用いた場合にも観られる現象である。Peak2 については、絞り工程において増加した板材周辺部をダイスとパンチのクリアランスにより、アイオニングが行われるため発生するものである⁹⁾。噴射された潤滑水はダイスとパンク間に入り込まず、パンチ周辺から上方へ抜けてしまう。このためプレス油に比べ荷重は高くなる。またアイオニング時の潤滑状態が悪いため、素板の一部がダイスにより削られる。削られたアルミ粉は加工後期においてダイス側壁部に蓄積され、これらが加工後期において潤滑状態を悪くした結果 Peak3 が発生ものと考えられる。そのため成形品の側壁部に表面損傷が見られた。一方、水+石鹼 (0.05%) を潤滑剤とした場合では全体的にパンチ荷重が低下し、成形品の表面損傷も改善された。これは併用した石鹼の主成分である、パーム油による効果と考えられる。加工後期では水のみを使用した場合と同様、潤滑水はパンチと押しあえの間から抜けてしまうが、石鹼自体の潤滑性があるため圧力が加わらなくても Peak2, 3 が低下するものと考えられる。

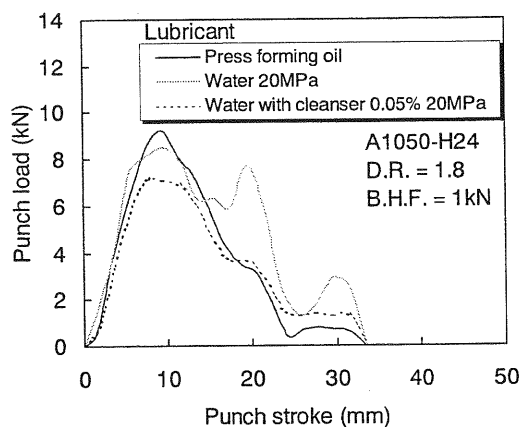


Fig.4 Relationship between punch stroke and punch load

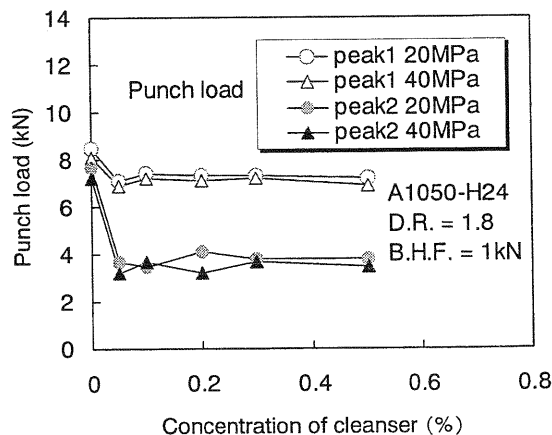


Fig.5 Relationship between concentration of cleanser and punch load

Fig.5は水に添加する石鹼の濃度と、Peak1,2の関係を示したものである。潤滑剤に加える圧力に関わらず、0.05～0.1%程度の添加でパンチ荷重が大幅に下がっている。特に、Fig.4で見られた場合と同様にPeak2での荷重低下が著しい。これは潤滑剤に含まれていた石鹼成分がダイス表面に吸着し、膜を生成していたためと考えられる。また0.1%以上の場合については、十分な潤滑膜を生成されるものの余剰の界面活性剤はミセルを潤滑水中で生成する¹⁰⁾。そのため潤滑状態に影響を与えることはなく結果としてパンチ荷重には変化が見られなかったものと考えられる。

Fig.6に潤滑剤を、水及び水+石鹼(0.1%)とした場合の、潤滑剤に加える圧力と限界絞り比の関係を示す。このグラフに示すように、圧力の上昇に伴い限界絞り比はどちらの場合にも上昇する。水のみの場合、液圧30MPaで限界絞り比1.85、石鹼との併用では20MPa以上で限界絞り比2.0であった。このことは水と石鹼の併用によりダイス表面上に膜が生成されれば、低い液圧でも良好な潤滑状態が得られることを示している。一方、水のみの場合、圧力を40MPaとすると限界絞り比は逆に低下した。これは水圧が高くなりすぎたため潤滑状態が不安定になるためである。

同じ条件において、しわ押え力と限界絞り比の関係を示したものがFig.7である。石鹼を併用した場合のほうが、水のみによる潤滑に比べ潤滑状態が良いため限界絞り比が全体的に高くなる。どちらの場合にも、しわ押え力の増加に

従い限界絞り比は低下する。これはダイス肩部から噴射された潤滑水が、ダイスフランジ部分まで到達しないため、しわ押え部分での潤滑状態が悪くなるためと考えられる。

3.2 潤滑用ノズル位置の影響

Fig.8は潤滑用ノズル位置を変化させた場合におけるパンチストロークとパンチ荷重の関係を示すグラフである。使用したダイスはFig.3に示したダイスA, B, Cの3種類である。このグラフに示すように、フランジ部のみに潤滑ノズルを配したダイスを用いた場合パンチ荷重は最も高い値を示した。これは深絞り加工において最も接触が厳しいといわれるダイス肩部の潤滑状態が悪いためである。一方、ダイス肩部、あるいは肩部とフランジ部に潤滑用ノズルを配したダイスでは、ダイス表面全域に渡り潤滑が良好となるため荷重は低い値を示した。

Fig.9はしわ押え力と最大パンチ荷重の関係を示す図である。肩部のみの潤滑ではしわ押え力の増加に伴い荷重の増加の割合も大きくなる。これは肩部から噴射された潤滑剤がフランジ部分まで行き渡らないためである。一方、フランジ部のみの潤滑ではしわ押え力が比較的小さい場合ではパンチ荷重が最も大きくなる。荷重の上昇割合は肩部のみのものに比べフランジ部での潤滑状態が良好なため緩やかである。肩部とフランジ部の両方に潤滑ノズルを配した場合はパンチ荷重が全体的に小さくなる。これは肩

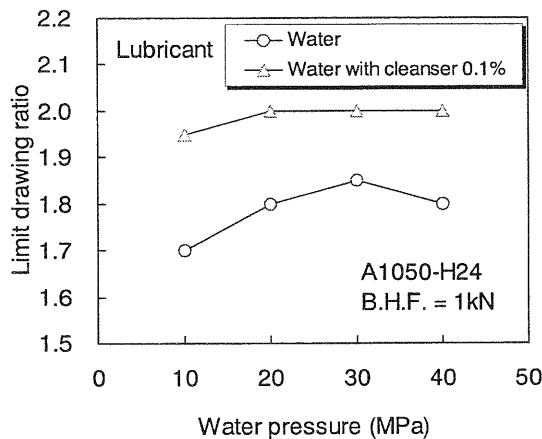


Fig.6 Relationship between water pressure and limit drawing ratio

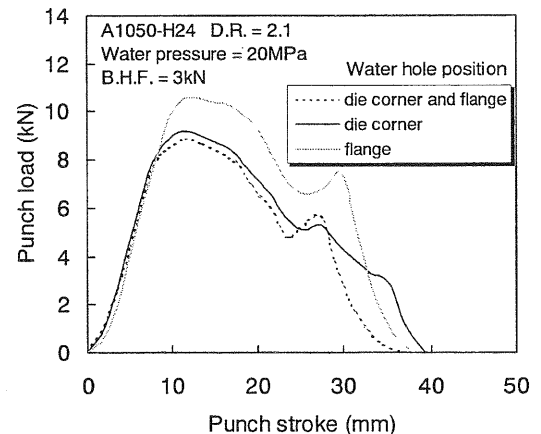


Fig.8 Relationship between punch stroke and punch load

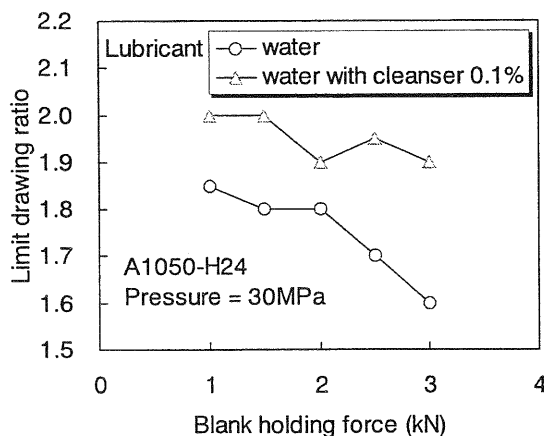


Fig.7 Relationship between blank holding force and limit drawing ratio

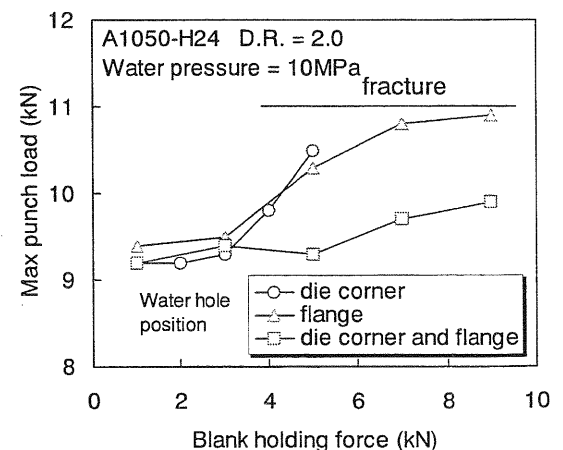


Fig.9 Relationship between blank holding force and max punch load

部の潤滑とフランジ部の潤滑状態がともにより良好となるためである。以上のことから潤滑用ノズルをダイス肩部及びフランジ部の両方に配した場合が、最もよい潤滑状態が得られるといえる。

しわ押さえ力と限界絞り比の関係を Fig.10 に示す。ノズルの位置にかかわらず、しわ押さえ力の増加に従い限界絞り比は低下している。しかし、フランジ部のみでは限界絞り比の低下は 0.05 にとどまっている。これはフランジ部分の潤滑状態が良好となるためである。一方、両方に潤滑ノズルを設けた場合、しわ押さえ力が小さい場合には 3 パターン中最高の限界絞り比 2.1 に達している。

Fig.11 は潤滑剤に加える液圧と最大パンチ荷重の関係を示している。フランジ部のみでの潤滑ではダイス肩部での潤滑状態が悪いためパンチ荷重が大きくなる。また液圧を上げてこの傾向に変わりはない。一方、ダイス肩部に潤滑ノズルを配したものはその部分の潤滑が良くなるため液圧を上げるによりパンチ荷重を低く押さえることが可能である。また水圧 20MPa 程度で、ほぼ荷重が最低となることからこの程度の水圧で理想的な潤滑状態が達成されたものと考えられる。

Fig.12 は潤滑剤に加える圧力と限界絞り比の関係を示したものである。フランジ部のみでの潤滑では水圧を上昇させても限界絞り比は 2.05 で一定であった。これは肩部の潤滑状態が悪く、破断してしまうためである。また肩部、及び

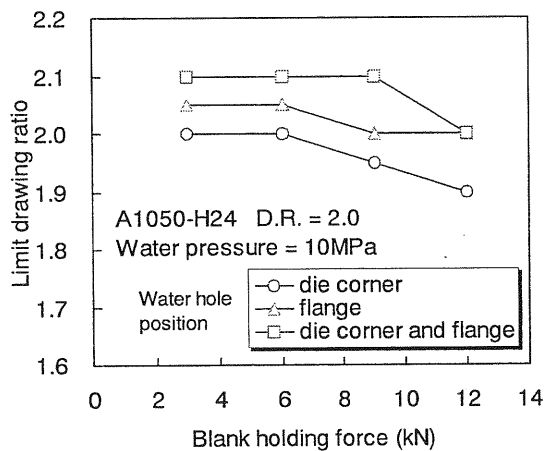


Fig.10 Relationship between blank holding force and limit drawing ratio

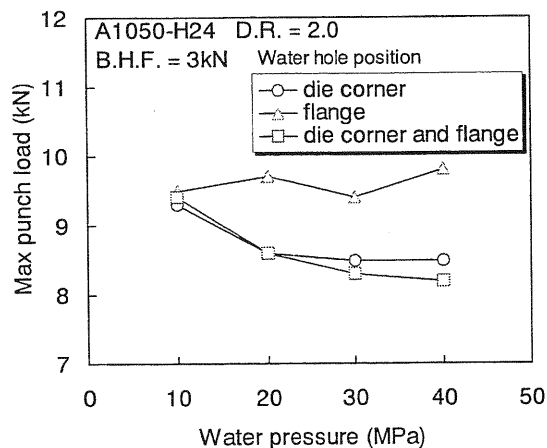


Fig.11 Relationship between water pressure and max punch load

肩部とフランジ部に潤滑ノズルを配置したものでは液圧 20MPa 以上で限界絞り比 2.1 であった。以上のことから潤滑用ノズルをダイス肩部、あるいは肩部とフランジ部に設けた場合、良好な潤滑状態が得られる。

4. 結論

従来のプレス油の代わりに、高圧水を潤滑剤として用いた深絞り加工機を試作し、その可能性と加工法における特徴を明らかにした。種々の項目について実験的検討を加えた結果を以下に示す。

- 1) 水と石鹸の併用により潤滑状態が向上した結果、成形品の表面損傷が改善された。
- 2) 微量の洗剤を併用することにより、ダイス表面上に膜が生成され、パンチ荷重が低下し限界絞り比が向上した。
- 3) 潤滑用ノズルをダイス肩部とフランジ部に配した場合に、最もパンチ荷重を低く押さえることができる。また広範囲なしわ押さえ力での成形が可能である。
- 4) フランジ部のみ液圧を加えた場合、最大パンチ荷重及び限界絞り比に変化は見られなかった。肩部、あるいは肩部とフランジ部に液圧を加えた場合では液圧の上昇に従い、荷重が低下し限界絞り比は向上した。

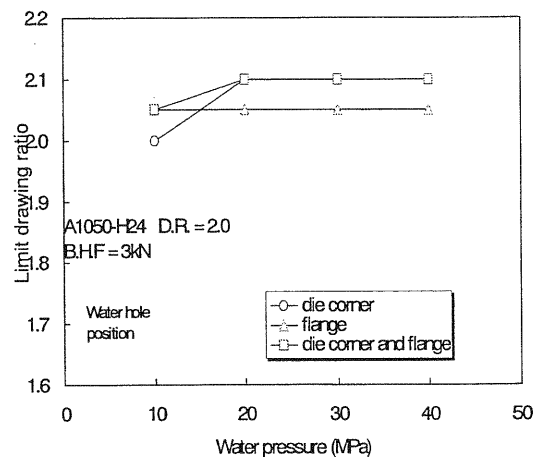


Fig.12 Relationship between water pressure and limit drawing ratio

参考文献

- 1) 中村和彦：塑性と加工，41-471 (2000)，84-88。
- 2) 日経メカニカル，(2001，3)，日本経済新聞社，74。
- 3) 山崎雄司・由田征史：48回塑加連講論，(1997)，341-342。
- 4) 山崎雄司・由田征史：48回塑加連講論，(1997)，343-344。
- 5) 山崎雄司・由田征史：49回塑加連講論，(1998)，347-348。
- 6) 山崎雄司・由田征史：49回塑加連講論，(1998)，349-350。
- 7) 後藤学・山下実・鈴木淳・佐藤丈士：51回塑加連講論，(2000)，405-406。
- 8) 後藤学・山下実・鈴木淳：平13塑加春講論，(2000)，405-406。
- 9) 鈴木弘：塑性加工 (改訂版)，株式会社裳華房，263。
- 10) 荻野圭三：表面の世界，株式会社裳華房，58。