潤滑被膜処理と周水圧深絞り法による アルミニウム板の脱潤滑油深絞り特性

中村 和彦*・大倉 幸伸**

Journal of Japan Institute of Light Metals, Vol. 51, No. 6 (2001), pp. 313-317

Lubricating oil-less deep drawing of aluminum sheets assisted by lubricating resin film coating and water pressure

Kazuhiko NAKAMURA* and Yukinobu OHKURA**

A newly developed deep drawing method is friendly to environment, because it does not need cleaning and degreasing as after treatment. The properties and the limit of deep drawing process have been investigated using 1100 and 5052 aluminum alloy sheets. On the method, the original sheet is covered by lubricating resin film and then formed by a radial-pressure-assisted hydraulic counterpressure deep drawing method using water as a pressure medium. When a lubricating resin film covers whole area of both sides, the fracture-suppressive effect by friction generated in punch and formed side wall is decreased. So that, the limiting drawing ratio becomes smaller than that of original sheet without lubricating oil. However, if lubricating resin film covers not bottom and punch profile radius, but covers only flange zone, the limiting drawing ratio indicates larger than that of original sheet without lubricating oil. The above method shows good effect of lubricating resin treatment.

(Received October 4, 2000)

Keywords: deep drawing, hydraulic counterpressure, water pressure, lubricative coated metal, environment

1. 緒 言

地球環境保護が叫ばれる中、塑性加工の分野においても環境に優しい洗浄技術とともに洗浄・脱脂のいらない潤滑技術の要求が高まっている。

これまでに著者は、水を圧力媒体とした液圧深絞り法から脱潤滑油深絞り加工の可能性を検討してきた。水を圧力媒体とした対向液圧法や周液圧深絞り法を用いると、摩擦保持効果、流体潤滑効果およびフランジ押込み効果等により十分脱潤滑油深絞り加工が可能であり、成形条件によっては潤滑油を塗布した従来の金型法に比べて限界絞り比が向上することを示した¹⁾。

一方、金属板にあらかじめ脱脂不要の潤滑性能を持たせた膜を被覆させ、成形限界を低下させることなしに無洗浄化を図ろうとする潤滑被膜処理板²⁾が開発されている。この潤滑被膜処理板を水を圧力媒体とした液圧深絞り法にて成形すれば、フランジ部の潤滑効果が增加するため脱潤滑油深絞り加工限界がさらに向上することが期待できる。しかし、液圧深絞り法は、パンチと成形品との間に生じる摩擦保持効果を有効に利用して破断を抑制することを基本とした成形法である^{3),4)}。そのため、潤滑被膜処理板のパンチ側の潤滑膜が、液圧深絞り限界に悪影響を与えることも予想される。

そこで本報では、潤滑被膜処理アルミニウム板を用い、パンチ側の潤滑膜の有無と水を圧力媒体とした周液圧深絞り法（周水圧深絞り法）の成形限界との関係を調べ、潤滑被膜処理板と周水圧深絞り法との組合せによる脱潤滑油深絞り法の有効性を示すとともに潤滑被膜処理板の周水圧深絞り特性を明らかにする。

2. 供試材と実験方法

供試材は、公称板厚 1 mm の A1100-O 板, A1100-H24 板, A5052-O 板, A5052-H34 板を用い、Fig. 1 に示す被膜処理を行った潤滑被膜処理板とその原板である⁵⁾。Table 1 に各原板の機械的性質を示す。なお、被膜処理による機械的

Fig. 1 Schematic illustration of lubricative coated sheet.

* 千葉工業大学工学部精密機械工学科 (〒275-0016 千葉県習志野市津田沼 2-17-1)。Chiba Institute of Technology (2-17-1, Tsudanuma, Narashino-shi, Chiba 275-0016)。

** 千葉工業大学大学院生 (習志野市)。Graduate student, Chiba Institute of Technology (Narashino-shi, Chiba)。

Table 1 Mechanical properties of original sheets

Material	Angle to rolling direction (°)	σ_B (MPa)	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	δ (%)	n value	r value
A1100-O $t_0=1.00$ mm	0	100	36	35	0.32	0.59
	45	89	32	45	0.26	1.41
	90	96	36	46	0.24	0.61
A1100-H24 $t_0=1.00$ mm	0	134	132	17	—	—
	45	127	127	10	—	—
	90	139	139	14	—	—
A5052-O $t_0=0.98$ mm	0	216	110	22	0.28	0.70
	45	209	112	26	0.27	0.62
	90	209	111	27	0.25	0.84
A5052-H34 $t_0=0.98$ mm	0	260	136	9	—	—
	45	255	148	11	—	—
	90	255	155	11	—	—

Table 2 Dimensions of drawing tools

Punch	Diameter	d_P (mm)	29.5
	Profile radius	r_P (mm)	5
	Surface roughness	R_a (μ m)	0.84
Die	Diameter	d_D (mm)	32.4
	Profile radius	r_D (mm)	6
	Surface roughness	R_a (μ m)	0.06
Blank holder	Diameter	d_H (mm)	32.0
	Profile radius	r_H (mm)	6
	Surface roughness	R_a (μ m)	0.07

性質の変化は見られていない。

実験装置は、既報¹⁾の装置に Table 2 に示す金型を取付けた構造である。その成形機構を Fig. 2 に示す。圧力媒体として使用した水は、金型管理を考えて水道水に市販の防錆油を体積比で0.1%混ぜたもので、その動粘度は20°Cで1.007 mm²/sである。液圧付加方法は、素板にパンチを接触させた状態で工程初期から補助ポンプ（最大圧力20 MPa、吐出量5 l/min）で加圧し、リリース弁の設定液圧まで増圧した後、ポンプを作動させた状態でパンチを押込む強制加圧法で行った。また、しわ抑え方式は、スペーサリングを用いてしわ抑え隙間 C_h を一定に保つ固定隙間方式を用いた。その値は、 C_h が狭いとしわ抑制効果が強過ぎ、また、広すぎると液体流出による液圧不足が生じたり、フランジしわが発生して限界絞り比を低下させるため、今回の供試材の最適しわ抑え隙間である $C_h/t_0=1.06\sim1.10$ の間で検討を加えた。

成形前の脱脂は、金型および原板はアセトンを用い、潤滑被膜処理板は潤滑膜がアセトンに反応したため乾拭きのみとした。なお、成形速度は約3 mm/sである。

Fig. 2 Drawing mechanism for counterpressure drawing assisted by radial water pressure.

Fig. 3 Effect of lubrication methods on limiting drawing ratio in conventional drawing.

3. 実験結果および考察

3.1 慣用金型法における潤滑被膜の効果

Fig. 3 に水を抜いた Fig. 1 の装置を用い、しわ抑え隙間 $C_h=1.07$ mm で素板に潤滑油を塗布しない条件で両面被覆した各種の潤滑被膜処理板を成形した場合の限界絞り比を示す。また、比較のため原板の無潤滑および原板のフランジ部に市販の高粘度潤滑油（動粘度50°C、280 mm²/s）を塗布した場合も合わせて示す。なお、不安定領域は、同一成形条件で成功と破断が発生した領域を示している。

今回試みた潤滑膜の性能は、高粘度潤滑油と比較すると A1100-H24 板と A5052-H34 板ではほぼ同等の限界絞り比を示すが、A1100-O 板で0.92倍、A5052-O 板で0.98倍と若干高粘度潤滑油の性能には及ばない。しかし、完全に成形できる領域で原板の無潤滑における限界絞り比と比較すると A1100-O 板で1.18倍、A1100-H24 板で1.23倍、A5052-O 板で1.13倍、A5052-H34 板で1.14倍を示し、十分潤滑膜を被覆した効果が得られている。

Fig. 4 Effect of lubricating resin film on behavior of water pressure generated during radial pressure drawing.

3.2 両面被覆板の周水圧深絞り特性

3.2.1 液圧工程線図

周水圧深絞り法の摩擦保持効果、流体潤滑効果、フランジ押込み効果は、すべて液圧室内に発生する液圧によって生じる。そのため潤滑被膜処理板の周水圧深絞り特性を検討する

上で潤滑膜を被覆することにより液圧挙動がどのように変化するかを調べるのが重要となる。

Fig. 4 に周水圧深絞り法の液圧挙動に及ぼす潤滑膜の影響を A5052-O 板, $D_0/d_p=2.34$, しわ抑え隙間 $C_h/t_0=1.07$, リリーフ設定液圧 20 MPa について原板と比較して示す。補助ポンプで加圧すると素板がパンチ進行方向と逆方向に張出されるためにしわ抑え板肩部に押付けられて液体流出が阻止され、リリーフ弁の設定液圧まで増圧される。その後、パンチ押込みを開始するとリリーフ弁から水を流出させながら成形が進行する。しかし、しわ抑え板肩部に生じていた逆張出変形による液体シール効果がパンチ押込みによって薄れると、素板としわ抑え板間から水が流出して液圧減少を示す。この液圧の低下は、 C_h が広いほど大きい。これらの液圧挙動は、潤滑膜を被覆しても、これまで水や油圧作動油を圧力媒体として報告されている原板の結果^{1),6)}と定性的には違いが見られない。しかし、潤滑膜を被覆すると原板に比べ液体流出開始点に遅れが生じ、それに伴う液圧低下も減少している。このことは、潤滑膜を被覆すると液体シール効果が向上して周水圧深絞り法における流体潤滑効果が生じにくくなることを意味している。一方、液圧低下が少ないことは、摩擦保持効

Fig. 5 Relation between limiting drawing ratio and maximum water pressure in radial pressure drawing of original sheet and both-side lubricative coated sheet.

Fig. 6 Comparison of limiting drawing ratios for various deep drawing methods.

果, フランジ押込み効果が有効に作用することであり, 成形限界向上にとって正の要因ともいえる。

3.2.2 成形限界に及ぼす最大液圧の影響

Fig. 5 に潤滑油を塗布しないで $C_h=1.07\text{mm}$ で成形した場合の限界絞り比に及ぼす最大設定液圧値の影響を両面潤滑被覆板と原板について示す。A1100-O 板, A5052-O 板の潤滑被覆板と原板, それに A5052-H34 の原板では, 20 MPa までは設定液圧が高いほど素板外周部からのフランジ押込み効果, 成形側壁部の摩擦保持効果が増加し, フランジ部とダイ肩部における流体潤滑効果が発生しやすくなるため限界絞り比に向上が見られる。しかし, A5052-H34 の潤滑被覆板は, 液圧を付加しても限界絞り比に変化が見られない。また, A1100-H24 板の潤滑被覆板と原板は, 最適液圧値の存在が見られ, 20 MPa では限界絞り比が慣用金型法より低下している。この液圧が高いほどフランジ押込み効果や摩擦保持効果が増加するにもかかわらず限界絞り比が向上しない理由としては, 液圧によって成形丸み部 (ダイ肩部に相当) に発生するパンチ進行方向と逆方向の張出変形による板厚減少が, 加工硬化板の延性不足により局部に集中することが挙げられる。

一方, 潤滑膜を被覆した効果は, 液圧値の低い領域では潤滑膜によりフランジ部の摩擦抵抗が減少するため原板に比べ潤滑被覆板の限界絞り比が高くなっている。しかし, 液圧を高くしていくと液圧を付加したことによる破断抑制効果が, 潤滑被覆板に比べ原板のほうに大きく現れ, 潤滑被覆板に比べ原板の限界絞り比が高くなっている。Fig. 6 に各種素板の

Fig. 7 Effect of lubricating resin film coating methods on limiting drawing ratio in radial water pressure drawing.

最適成形条件における周水圧深絞り限界を高粘度の潤滑油を用いた慣用金型法と比較して示す。いずれの材質でも潤滑被覆板の周水圧深絞り法では, 完全に成形できる領域においては潤滑油を用いた慣用金型法以上の限界絞り比 (A1100-O 板で1.10倍, A1100-H24板で1.03倍, A5052-O 板で1.08倍, A5052-H34板で1.00倍) を示す。しかし, 原板の周水圧深絞り法に比べると, A1100-O 板で0.89倍, A1100-H24板で0.96倍, A5052-O 板で0.95倍, A5052-H34板で0.95倍と減少し, 周水圧深絞り法では, 潤滑膜を被覆するとかえって限界絞り比に悪影響を与えることがわかる。この原因として, パンチ側の潤滑膜の存在が考えられる。

3.3 成形限界に及ぼすパンチ側潤滑被膜の影響

パンチに対向する液圧を利用する深絞り法では, 素板がパンチに順次押付けられて成形が進行する。そのため, 成形側壁部が成形中に移動しようとするのを妨げる摩擦力が成形側壁部とパンチ間に発生し, 成形側壁部の移動を阻止する摩擦保持効果が発生する。この摩擦保持効果は, パンチ肩部に生じる破断を抑制し, より加工硬化した成形側壁部に破断位置を移行させる。そのため対向液圧深絞り法では, 破断限界が大幅に向上することが知られている^{3),4)}。この摩擦保持効果を有効に作用させるには, パンチと成形側壁部間の摩擦が大きいほどよい。しかし, 今回用いた両面潤滑被覆板は, パンチと成形側壁部間にも潤滑膜が存在し, 摩擦抵抗を減少させている。

Fig. 7 に20 MPa の水圧を作用させた周水圧深絞り法の摩擦保持効果に及ぼす潤滑被膜の影響を $C_h=1.07\text{mm}$ で成形

した場合について示す。片面被覆板は、両面被覆板のパンチ接触面側の被膜をすべてアセトンを用いてふき取ったもの、フランジ被覆板は、フランジ部を残してパンチ底部とパンチ肩部に接する部分（直径約40 mm）のみをアセトンにてふき取ったものである。パンチ側の潤滑被膜を取り除くと両面被覆板に比べ片面被覆板、フランジ被覆板ともに限界絞り比が向上している。特にフランジ被覆板は、しわ抑え板面で潤滑膜による摩擦低減効果が得られ、パンチ肩部の破断危険部で摩擦保持効果が得られるために原板よりも限界の向上が見られ、すべて成形できる領域においてA1100-O板で両面被覆板の1.18倍、原板の1.05倍、A1100-H24板で両面被覆板の1.03倍、原板の1.00倍、A5052-O板で両面被覆板の1.11倍、原板の1.06倍、A5052-H34板で両面被覆板の1.07倍、原板の1.02倍の限界絞り比を得ている。このことは、周水圧深絞り法のフランジ部潤滑にとって素板に潤滑膜を被覆することは正の要因となることを示している。しかし、液圧深絞り法の破断抑制効果にとって最も重要である摩擦保持効果にとっては負の要因となり、破断限界を向上させるという観点から見ると潤滑膜の被覆箇所に工夫がいることを示唆している。

4. 結 言

潤滑被膜処理アルミニウム板を固定しわ抑え方式による金型法と水を圧力媒体とした周液圧深絞り法により成形し、潤滑被膜処理板の周水圧深絞り特性と脱潤滑油深絞り法の可能性について検討し、次のことを明らかにした。

(1) 適正な潤滑被膜処理を素板に施せば、従来の金型法で

潤滑油を用いなくても、原板に潤滑油を塗布した場合と同程度の深絞り加工が可能となる。

(2) 周水圧深絞り法において潤滑膜を素板に被覆すると液体シール効果が向上する。

(3) 周水圧深絞り法において、潤滑膜を両面に被覆するとパンチと成形側壁部に発生する摩擦保持効果が有効に作用しなくなり、原板の潤滑油を塗布しない周水圧深絞り法より限界絞り比が低下する。

(4) 潤滑被膜処理板と周水圧深絞り法とを組合せ、脱潤滑油深絞り限界の向上を図るには、フランジ部のみ潤滑膜を被覆し、パンチ底部およびパンチ肩部と接触する面には被覆しない方法が限界の向上につながる。

最後に、本研究は、軽金属学会プレコート材・表面処理材のプレス加工技術研究部会（部会長 大澤泰明）において行われた研究の一部であることを記して関係各位に謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 中村和彦：塑性と加工，41 (2000)，84.
- 2) 特集プレコート金属のプレス加工ノウハウ：プレス技術，33 (1995).
- 3) 中村和彦，中川威雄：塑性と加工，25 (1984)，831.
- 4) M. G. El-Sebaie and P. B. Mellor: Int. J. Mech. Sci., 15 (1973), 485.
- 5) プレコート材・表面処理材のプレス加工技術研究部会編：プレコート・表面処理アルミニウム板材の成形性データブック，軽金属学会，(2000)，156.
- 6) 中村和彦，中川威雄：塑性と加工，26 (1985)，73.