

水潤滑による脱潤滑油深絞り加工法の開発

千葉工業大学 工学部 精密機械工学科
 教授 中村和彦
 (平成8年度研究開発助成 AF-96018)

1. はじめに

薄板の深絞り加工では、一般に破断限界の向上と表面損傷を防ぐために油性潤滑剤が素板と金型間に用いられている。そのため、成形後、表面に付着した潤滑油の洗浄・脱脂が行なわれる。しかし、その洗浄・脱脂剤に広く使われていた有機溶剤が、地球環境保護の立場から最近規制が厳しくなり、環境に優しい洗浄技術とともに洗浄・脱脂の要らない潤滑剤や潤滑技術の開発が望まれている。

本研究は、洗浄工程を除き、且つ地球環境に優しい潤滑法として金型を冷却することにより金型表面に自然発生する霜・氷を潤滑剤として利用する霜・氷潤滑深絞り法を提案し、その潤滑機構と特性を調べ、脱潤滑油深絞り法の可能性を明らかにすることを目的とする。

既報¹⁾において、ダイ肩部の曲げ・曲げ戻し変形を考慮した帯板の摺動試験機を製作して基本的な霜の潤滑特性を調べた。その結果、適切な条件下で霜と氷を発生させれば市販の油性潤滑剤と同程度の潤滑性能を示すことを明らかにした。

そこでここでは、その結果を考慮して円筒容器の霜・氷潤滑深絞り装置を製作し、金型表面に発生する霜と氷の状態を変化させて深絞り実験を行い、霜・氷潤滑による脱潤滑油深絞り法の可能性を検討する。

2. 実験装置と実験方法

霜・氷潤滑深絞り装置は、図1に示す金型と冷媒流量制御装置、湿度制御装置をインナ196kN、アウト98kNの複動油圧プレスに取り付けた構造である。金型の冷却は、実験装置の簡便さから液体炭酸ガスを金型冷却板に送り込み、ダイとしわ押さえ板を任意の温度(-30℃まで)に制御する方法とした。また、金型周辺環境は、金型全体をアクリル板で囲い、外部にある加湿器で一定湿度に制御した暖気を金型室内に送風し、ダイ穴部を通して金型外へ排気する方法で任意の湿度と温度を得ている。

使用した金型は、表1に示す円筒絞り金型で、表面粗さはダイ、しわ押さえ板ともに $Ra=0.10\mu\text{m}$ である。

図2に本装置を用いてダイとしわ押さえ板を密着

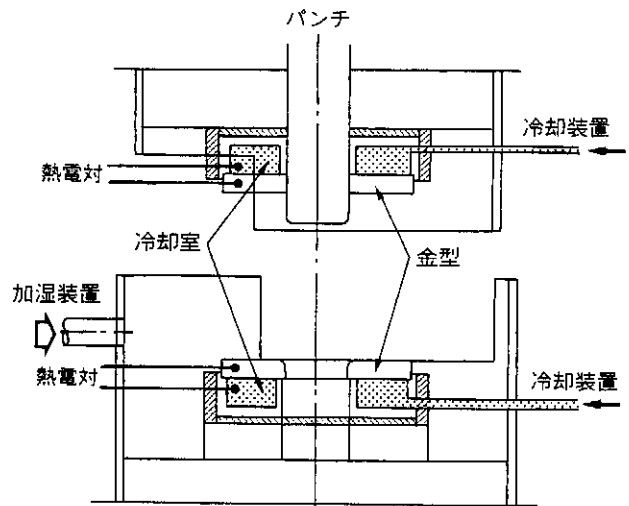


図1 霜・氷潤滑深絞り装置

表1 円筒絞り用工具寸法

パンチ	直径	d_p / mm	50.0
	肩部半径	r_p / mm	5
ダイ	直径	d_p / mm	52.0
	肩部半径	r_p / mm	4
	表面粗さ	$R_f / \mu\text{m}$	0.10
しわ押さえ板	直径	d_p / mm	52.0
	表面粗さ	$R_f / \mu\text{m}$	0.10

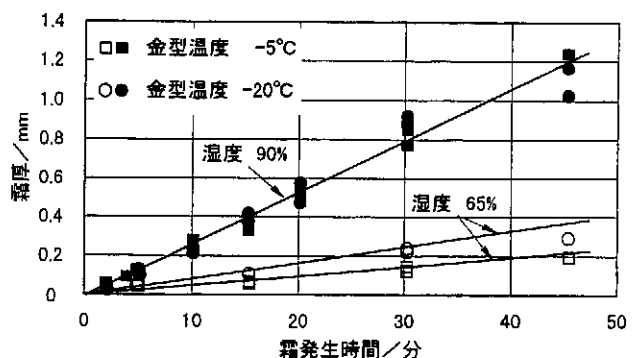


図2 霜発生時間と霜厚さとの関係

させた状態で任意の温度に金型を冷却した後、金型を開放して霜を発生させた場合の霜厚(10kNのしわ押え力を作用させた状態で測定)に及ぼす金型室

表2 供試材の機械的性質

材質	圧延方向	σ_B MPa	$\sigma_{0.2}$ MPa	δ %	n値	r値
A1070-O $t_b=0.8$	0°	66	25	44	0.71	0.17
	45°	71	26	63	0.33	0.22
	90°	65	26	42	1.07	0.20

内湿度、金型温度、霜発生時間（金型開放時間）の関係を示す。いずれの条件においても霜発生時間が長いほど霜厚が直線的に増加し、湿度が高いほど霜の発生が早まっている。また、湿度が低い場合には、金型温度を低くすることにより霜の発生が早まるが、湿度が高くなると金型温度による影響がなくなることがわかる。

今回検討を加えた供試材は、公称板厚0.8mmのA1070-Oで、その機械的性質を表2に示す。成形速度は約5mm/s、しわ押さえ力10kN一定にて実験を行った。

3. 霜発生方法

今回検討を加えた霜発生条件は、図3に示す次の3通りである。

a) 自然冷却法 ダイとしわ押さえ板を開放した状態で金型冷却と加湿器からの送風を開始し、目的温度まで金型を冷却した後、任意の霜厚になるまで金型温度を維持する。この方法により得られる霜の構造は、金型表面近くは比較的湿度の高いときに液化した水が凝固してできる氷の層となり、上層に行くに従い昇華してできる霜の層が多くなる連続帯を形

成している。（図3-a参照）

b) 予備冷却法 ダイとしわ押さえ板を密着させた状態で金型冷却と加湿器からの送風を開始し、金型が任意の冷却温度に達した時点で金型を開放し、そのまま金型温度を維持しながら霜を発生させる。この方法で得られる霜構造は、昇華によって形成される単一層となる。（図3-b参照）

c) 湿度制御法 初期条件は、自然冷却法と同様であるが、金型温度が-5℃に達した時点で金型温度を降下させながら加湿器からの送風を5分間停止（10℃降下するのに要する時間）し、再び送風を行いながら霜を発生させる。この方法を用いると自然冷却法に比べて液体から固体になった氷の層と昇華してできた霜の層との境界が比較的明瞭な2層構造を作ることができる。（図3-c参照）。

4. 実験結果および考察

4.1 成形特性

図4に各種の霜発生方法における金型温度-5℃と-15℃の成形状態を霜厚で整理して示す。なお、自然冷却法と湿度制御法は、目的冷却温度に達する前に霜厚が、金型温度-5℃で約0.05mm、-15℃で約0.10mmを越えるために実験不可能領域が存在している。

a) 自然冷却法 -5℃、-15℃ともにあまり霜厚を厚くすると霜が転写されたことによる凹凸模様が生じたり、フランジ部に発生するしわを抑制できず、限界絞り比が低下する。しかし、フランジ部にしわが発生するまでは、霜厚が厚いほど限界絞り比が向

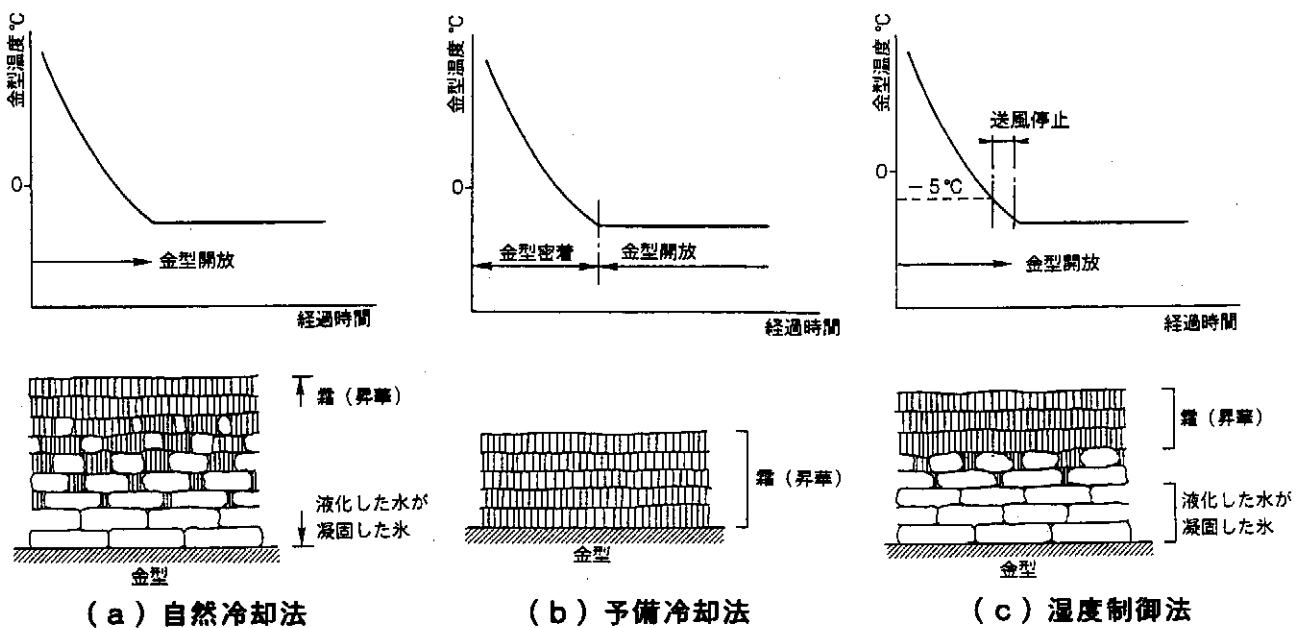
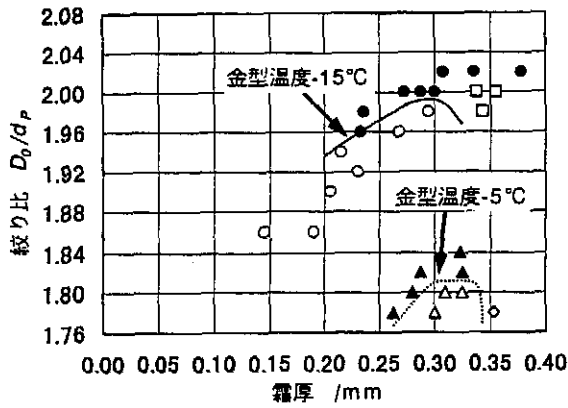
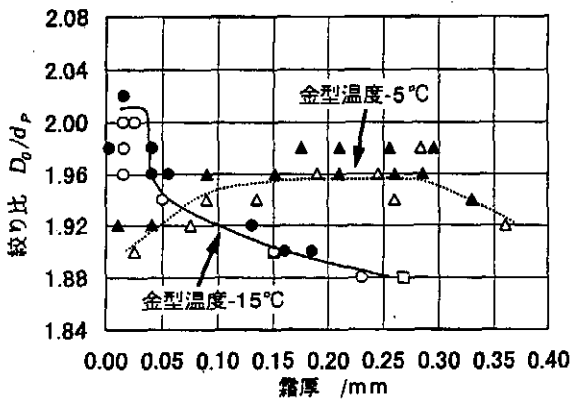


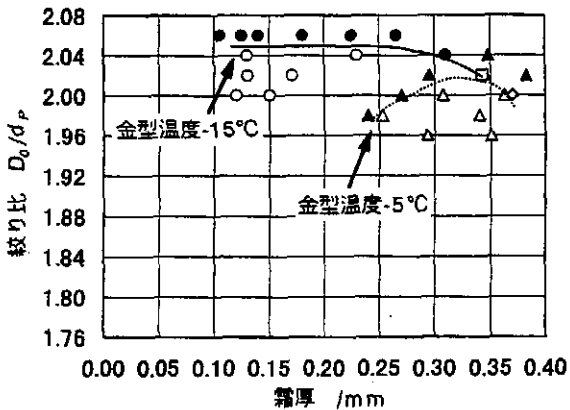
図3 霜・氷の発生方法



(a) 自然冷却法



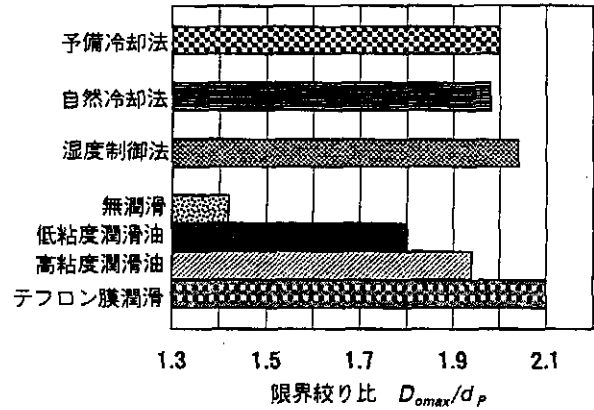
(b) 予備冷却法



(c) 湿度制御法

図4 各種の霜発生方法による深絞り状態

上し、霜厚0.30mm付近において最大値を示し、-5°Cで1.80、-15°Cで1.98の限界絞り比を得ている。
b) 予備冷却法 金型温度が比較的高い-5°Cでは、霜厚が薄いと成形時において霜が解けて潤滑膜切れが生じやすい。そのため霜厚が増加するに従い限界絞り比が向上し、霜厚0.20~0.25mmで最大の1.96が得られている。一方、金型温度が低い-15°Cでは、霜厚0.02mmと薄い領域で最大の絞り比2.00を示し、



低粘度潤滑油：動粘度50°C，56mm²/s
 高粘度潤滑油：動粘度50°C，280mm²/s

図5 各種の潤滑法における限界絞り比

霜厚が厚くなるに従い限界絞り比が低下している。この現象は予備冷却法で発生する霜が、金型表面に昇華することによって形成される単一層であるために金型表面との接着性が悪くなることに原因している。すなわち、霜が移動しやすいため絞り変形とともに霜がダイ肩部付近に集まり、霜が多いほどその量が増えてしわ押さえ力が集中するためと考えられる。

予備冷却法は、いずれの金型温度においても自然冷却法より限界絞り比が向上している。

c) 湿度制御法 -5°Cの傾向は、自然冷却法と同様であるが、霜厚0.30~0.36mmの領域において限界絞り比2.00と自然冷却法、予備冷却法より大幅に向上している。また、-15°Cでも霜厚0.10~0.25mmと広範囲にわたって最大の限界絞り比2.04を示す。このことは硬い氷の層の上に昇華してできた霜が存在し、成形が進行するとともに氷の上を霜が移動することができる2層構造形式が、霜の潤滑効果に優れていることを示唆している。

4.2 従来の潤滑油との比較

図5に各種の方法で霜を発生させた場合と従来の潤滑油との限界絞り比の比較を示す。いずれの霜潤滑法もアセトン脱脂による無潤滑、低粘度潤滑油（動粘度50°C，56mm²/s）、高粘度潤滑油（動粘度50°C，280mm²/s）に比較して限界絞り比が向上している。特に、-15°Cの湿度制御法は、テフロン潤滑と比較すると0.97倍とわずかにおよばないものの、高粘度潤滑油の1.05倍、低粘度潤滑油の1.13倍、無潤滑の1.44倍の限界絞り比が得られ、十分実用に供する値が得られ、脱潤滑油深絞り加工が可能であることを示している。

5. まとめ

霜・氷潤滑深絞り法の可能性を調べるために成形条件を変化できる霜・氷深絞り実験装置を製作し、霜の発生方法を変化させて深絞り実験を行い次のことを明らかにした。

- 1) 霜の潤滑効果に及ぼす金型温度の影響は、高すぎても低すぎても安定性、潤滑性に劣り最適金型温度-10℃~-15℃の存在が見られる。
- 2) 霜厚は、厚すぎるとフランジしわの原因となり、薄すぎると潤滑不足が生じ、最適値が存在する。
- 3) 霜による潤滑は、霜が移動することにより潤滑効果が発揮される場合が多く、そのため霜と金型との境界層が潤滑効果に大きく影響する。
- 4) 霜の発生条件としては、硬い氷の上に昇華した霜ができる2層構造が、最も安定した潤滑効果が得られ高い限界絞り比を示した。
- 5) 霜潤滑法を用いると、従来の油性潤滑剤より破断限界を向上させることができる。
- 6) A1070-O材のような軟質材においては、できた氷の表面が荒れていたり、ダイ肩部の水が均一につけることができない場合には成形品の側壁部表面に

凹凸模様が転写されたり、硬い氷や金型表面（ダイ肩部）で擦られた引掻きキズが生じ、成形限界を悪化させる場合がある。

今後、霜・氷潤滑深絞り法を実用化させるには、金型表面、特にダイ肩部に均一で滑らかな氷を如何につけるかが重要な課題となる。

謝 辞

本研究は、天田金属加工機械技術振興財団の研究開発助成を受けて行われたものであることを記して、感謝申し上げます。

本研究成果の公表状況

- 1) 棚橋裕樹・中村和彦：平9年塑加春講論，(1997)，185。
- 2) 棚橋裕樹・中村和彦：平10年塑加春講論，(1998)，437。

参考文献

- 1) 中村和彦・棚橋裕樹・田村司：平8年塑加春講論，(1996)，446。