ステンレス薄鋼板の深絞り加工における 潤滑油の挙動について

竹 内 栄 一* 田 中 益 夫*

Eiichi Takeuchi and Masuo Tanaka : On the Behavior of Lubricants in the Deep Drawing of a Stainless Steel Sheet. This study was conducted to scrutinize the behavior of lubricants in the deep drawing of a stainless steel sheet.

The coefficient of boundary friction and the oil film strength were investigated on three kinds of polybutene of different viscosity and the same lubricants to which stearic acid as an oiliness improver and dibenzylpolysulfide or chlorinated paraffin as an extra-pressure agent were added. Then the effect of the lubricants on the workability of materials was studied chiefly by means of checking the "metal transfer" phenomena of the materials which appeared on die blocks when deep drawn under a blank holding force of 200 kg and a punch speed of 18 cm/min.

In case of the deep drawing of a SUS-27 stainless steel sheet, which belongs to one of materials which can hardly be processed, the use of a lubricant having an extremely high viscosity presented a wide hydrodynamic lubrication range on the contact surface between the material and die block, and this range seems to suppress the "metal transfer" phenomenon of material. However, the lubricants of low or medium viscosity to which oiliness improver or extra-pressure agent is added, does not show any remarkable tendency to improve the maximum drawing force or the roughness of the outer surface of the cup wall of the material, in spite of the improvement in their coefficients of boundary friction or oil film strengths. In case of the treatment of materials under a condition where the lubricative efficiencies of the additives exert a favourable influence, "metal transfer" phenomena of materials can scarcely be detected, resulting in greatly improving the drawability of materials. In the present study it has been confirmed that only the addition of chlorinated paraffin which brings out a chemical reaction with steel at a comparatively light load can meet such a condition.

(Received July 5, 1971)

I. 緒 言

金属薄板材の深絞り加工における潤滑油の挙動はきわめて複雑な現象をとまなうものであり、金型の仕様、成形時の加工条件あるいは潤滑油の粘度⁽¹⁾、添加剤⁽²⁾などの影響を受けることが容易に推察される。例えば速度効果に関する Coupland および Wilson⁽³⁾ または 福井、吉田、今岡⁽⁴⁾らの研究によると、加工速度が速い場合高粘度系の潤滑油ほど金型と被加工材の接触部付近における液体潤滑の領域が増加し、したがって加工性は供試潤滑油の粘度の影響を受け易く、油性向上剤などの添加剤の効果は現われにくくなる。しかし、低速条件のもとで加工するときには境界潤滑領域が多くなり、これにともなって添加剤の影響が現われてくることを認めている。

本研究においては深絞り条件を低速状態に一定した場合の 18-8 ステンレス鋼板の加工性に及ぼす潤滑油の挙動を検討したものである。すなわち、供試潤滑油として粘度の異なる 3 種類のポリブテンならびにこれらに油性向上剤または極圧剤を添加したものを使用し、それらの粘度、境界摩擦係数、油膜強さあるいは添加剤に含まれている潤滑性

向上成分である硫黄、塩素などと鋼との反応性を吟味するとともに、深絞り加工における潤滑油の挙動を被加工材の金型への金属転移現象 (metal transfer) などから検討したものである。

II. 実験に用いた試料ならびに方法

1. 供試潤滑油

供試潤滑油には Table 1 に示す粘度の異なった 3 種類のポリブテンを基油 (ベースオイル) として用い、これに境界摩擦係数または油膜強さの改善を目的として油性向上剤に属するステアリン酸、あるいは極圧添加剤のダイベンジル・ポリ・サルファイド (硫黄分: 約 36%)、塩素化パラフィ

Table 1 Property of polybutene

	LV-50	HV-100	HV-1900
Mean molecular weight	470	850	2350
Viscosity (cSt, at 37.8°C)	115	11500	—
(cSt, at 99°C)	10	235	4150
Specific gravity (15/4°C)	0.847	0.889	0.913
Flash point (COC, °C)	152	204	240
Total acid (mg KOH/g)	0.02	0.01	0.01
Pour point (°C)	-38.5	-7.0	22

* 東京都立工業技術センター (The Tokyo Metropolitan Industrial Technology Center, Tokyo)

(1) L.H. Butler : J. Inst. Petrol., 48, -458 (1962), 32.

(2) 吉田, 今岡, 福井 : 理化学研究所報告, 37 (1961), 306.

(3) H.T. Coupland and D.V. Wilson : Sheet Metal Ind., 34 (1958), 85.

(4) 福井, 吉田, 今岡 : 日本機械学会誌, 62-489 (1959), 47.

ン(塩素分: 約 40%), 塩素添加したアルキルフォスファイト(磷分: 約 20%, 塩素分: 約 30%)などをそれぞれ単独で加えたものを使用した。

2. 供試潤滑油の油性ならびに油膜強さの測定

T字型振子式摩擦試験機を用い、油温 20°, 50°, 100° および 140°C のもとで各潤滑油の境界摩擦係数を測定した。また油膜強さあるいは添加剤の反応性については高速 4 球式摩擦試験機を使用し、ASTM, D-2596-67 T 法により求めた荷重-摩擦痕直径曲線から吟味するとともに、溶着時において固定球と回転球の溶着面間に生ずる潤滑油と鋼の反応などを X 線マイクロアナライザ(以下 X.M.A. と略記する)により観察した。

3. 深絞り加工実験

Fig.1 に示す直径 32 mm, 頭部肩半径 5 mm の平底ポンチならびに孔直径 34.4 mm, 肩半径 5 mm (Fig.1 (A) 部)の平面ダイスを用い、コルトハウス全自動万能薄板材試験機により SUS 27 薄板材の底付円筒深絞り実験を両面潤滑状態のもとで行なった。

Fig.1 Schematic diagram of the deep drawing tool, and (b) surface roughness along die radius (marked (A))

すなわち、金型については深絞り加工にともなう被加工材のダイス肩半径部への金属転移現象を X.M.A. による Ni-Kα および Cr-Kα 線から検討する関係上、特に合金元素を含まない SK-3 炭素工具鋼を選び、これを所定の寸法、形状 (Fig.1 参照) に加工したのち焼入、焼もどし処理して硬さ HRC 63~64 としたものを用いた。なお、深絞り加工前におけるダイス肩半径部の表面状態は Fig.1 (b) に示したごとく鏡面仕上げとした。

また、被加工材は 1050°C で溶体化処理を施した厚さ 1 mm の SUS 27 薄板材について、最も潤滑性能が低いと考えられる低粘度系ポリブテン LV-50 単体を供試油に用いたときの限界絞り比から深絞り加工の可能な最大直径 60 mm を求め、これに統一した円形平板 blanks をもってすべての実験を行なった。なお、潤滑油の塗布方法は blanks の両面をベンゼンで十分洗滌、乾燥したものについてこれを供試油中に浸漬したのち取出し、垂直に 30 秒間

保持した。このほか、加工条件は定圧しお押し力 200 kg, 加工速度 18 cm/min に一定とし、加工にともなう最大絞り力、被加工品の円筒側壁における表面粗さの変化などを求めるとともに、被加工材の金型への金属転移現象が金型の摩耗損失を促進させる主要因子の一つになるものとの考えから⁽⁵⁾、ダイス肩半径部への被加工材の金属転移現象に及ぼす潤滑油の影響を吟味した。

III. 供試潤滑油の境界摩擦係数

従来の研究⁽²⁾⁽³⁾から類推して比較的低速条件のもとで深絞り加工を行なう場合、被加工材とダイスの肩半径部付近とが接触を起こすとき、その接触面間に数分子層の潤滑油膜が存在すると仮定すれば、供試潤滑油の境界摩擦係数は加工性および深絞り後の被加工品の円筒側壁における表面粗さなどに影響をもたらすものと考えられる。

そこで本実験においては、まず各供試潤滑油として用いられるポリブテン単体あるいはこれに油性向上剤または極圧剤を加えたときの境界摩擦係数を測定した。Fig.2 はその一例として各種ポリブテンにステアリン酸を 0.2% まで添加したときの油温 20° および 100°C における添加量と境界摩擦係数の関係を示したもので、いずれも添加量の増加にともなって境界摩擦係数の低下がみられ、しかもこの傾向は粘度の低いポリブテンほど顕著である。しかしながら、基油あるいは油温のいかににかかわらず添加量 0.1~0.2% においてはほぼ一定した境界摩擦係数を現わすようになり、したがって本実験においてはステアリン酸の添加量を 0.2% として以後の実験を行なった。

他の添加剤についても同様な方法によりその添加量を求めた結果、ダイベンジル・ポリ・サルファイドおよびアル

Fig.2 Effect of stearic acid on the coefficient of boundary friction of various lubricants of polybutene

キルフォスファイトはともに0.2%, 塩素化パラフィンでは2.0%付近においてそれぞれ境界摩擦係数の安定化が認められた。

Fig.3は粘度を異にする3種類のポリブテンにそれぞれ上述の各種添加剤を加えたときの境界摩擦係数と油温の関係を示したものである。これによると低粘度系のLV-50はきわめて高い境界摩擦係数を現わすが、油性向上剤または極圧剤の添加により著しい減少がみられ、ことにステアリン酸を0.2%添加したものについては本実験の範囲で油温の高くなるほどその効果が顕著に現われることを認めた。このような現象は他の中、高粘度系ポリブテンの場合にも観察される現象であり、ステアリン酸が優れた油性向上剤であるとする従来の研究結果と一致する⁽⁶⁾。しかるに極圧剤に属する各種添加剤は接触面の温度がそれぞれの添加剤と鋼との反応に必要な温度に達していないことが推測され、そのため各添加剤に特有な境界摩擦係数が得られず、基油の粘度あるいは油温に関係なく、おおよそ0.13~0.18付近に集約された結果が得られた。

Fig.3 Effect of various additional agents on the coefficient of boundary friction of polybutene

IV. 供試潤滑油の潤滑効果

供試潤滑油の摩擦に及ぼす潤滑効果については高速4球

(6) 例えば, F.P. Bowden and D. Tabor: *The Friction and Lubrication of Solids*, Oxford Univ. Press, London, (1954), 184.

式摩擦試験機を用い, ASTM-D-2596-67 T 法に従って検討した。すなわち, 各潤滑油について $\frac{1}{2}$ "φ 回転球の回転数を 1800 rpm に一定とし, 所定の荷重を 10 秒間負荷して摩擦を行なったときの 3 個の固定球に生ずる摩擦痕の平均直径を求め, これと荷重との関係を図示することによって荷重の増加により変化する摩擦損失ならびに摩擦機構を観察した。

Fig.4はポリブテン LV-50 を基油とし, これにステアリン酸, ダイベンジル・ポリ・サルファイドまたは塩素化パラフィンを添加したときの荷重-摩擦痕直径曲線を示したものである。これによると, LV-50 を単体で使用したものは荷重 80 kg 以下では実験直後から溶着の起こることがほとんどなく, 80~90 kg の範囲で局部的に溶着の生ずる領域に移行し, この状態が継続して発生したのち, 荷重 141 kg においてすべり面全体にわたる油膜の完全な破断のため全面的溶着を生ずることが認められた。また, 油性向上剤のステアリン酸を 0.2% 添加した潤滑油は部分的溶着が比較的軽負荷領域から検出されるが, 完全な溶着を生ずる荷重は LV-50 単体の場合と同様 141 kg であり, ステアリン酸が溶着のごとき熱的摩擦の抑制にほとんど効果のないことを確認した。しかしながら, ダイベンジル・ポリ・サルファイドまたは塩素化パラフィンのような極圧剤を添加したものは全面溶着時の荷重がより高負荷側へ移行し, 0.2% ダイベンジル・ポリ・サルファイド添加油の場合 198 kg, 塩素化パラフィンを 2.0% 加えたものについては

177.5 kg となり, 鋼との反応温度が高い添加剤ほど高負荷条件のもとですべり面全体にわたる溶着の発生することが認められた。

また, 中粘度系のポリブテン HV-100 を基油とし, 上述と同様な添加剤を加えた潤滑油について求めた荷重-摩擦痕直径曲線を Fig.5 に示す。それによると, いずれの潤滑

Fig. 4 Effect of various additional agents on load and scar diameter curves of polybutene LV-50
Measuring method; ASTM, D-2596, 67-T
Oil temperature; 20°C-

油とも溶着現象はおおよそ荷重 70~80 kg の範囲において生成されるようになり、より高負荷側では摩擦直後から局部的な溶着が検出される。また全面溶着時の荷重は基油の粘度に関係なく LV-50 を基油としたときと同様な結果が得られた。すなわち、HV-100 単体およびこれに 0.2% のステアリン酸を添加したものは 141 kg、塩素化パラフィン添加油では 177.5 kg、ダイベンジル・ポリ・サルファイドを添加したものは 198 kg となることが認められた。

Fig. 5 Effect of various additional agents on load and scar diameter curves of polybutene HV-100 (with a curve of polybutene HV-1900, for reference)
Measuring method; ASTM, D-2596, 67-T
Oil temperature : 20°C-

また、高粘度系のポリブテン HV-1900 を単体で使したときの荷重-摩耗痕直径曲線は Fig. 5 に併記したごとく 70~80 kg の範囲で溶着摩耗の生成する領域に移行し、141 kg において全面溶着を生ずる。

したがって、すべり面全体にわたり溶着現象が生ずるときの負荷は添加剤により影響されるもので、基油の粘度は

ほとんど関係のないことが明らかとなった。

つぎに吉本、二宮、知久らの行なった方法⁽⁷⁾と類似の方法により添加剤と鋼との反応を検討した。すなわち、本実験においてはダイベンジル・ポリ・サルファイドあるいは塩素化パラフィンのごとき極圧剤の潤滑効果に寄与する成分である硫黄および塩素が接触面間において生ずる鋼との反応を吟味するため、まず局部的溶着の発生する摩耗域に移行する直前、直後ならびに全面溶着を生ずる直前の負荷状態で摩耗を行なったのち、それぞれの固定球の摩耗痕における反応状態を X.M.A. により SKα または ClKα 線を走査させて観察した。

それによると、ポリブテン LV-50 に 0.2% のダイベンジル・ポリ・サルファイドを添加したときの摩耗痕上の硫黄成分は Photo. 1 および 2 に示すごとくなる。すなわち、Photo. 1 にみられるごとく局部的溶着が生成される領域で最も軽負荷条件に相当する 63 kg では明らかに硫黄の存在が認められるが、溶着の存在しない 56 kg で摩耗を行なったときの摩耗痕からはこれを検出できなかった。また逆

Photo. 1 S-Kα X-ray image observed on the scar of fixed ball (Wear conditions : Applied load; 63 kg, revolution; 1800 rpm, applied time; 10 sec, lubricant; polybutene LV-50 added by 0.2% dibenzylpolysulfide)

Photo. 2 S-Kα X-ray image observed on the scar of fixed ball (Wear conditions : Applied load; 177.5 kg, revolution; 1800 rpm, applied time; 10 sec, lubricant; polybutene LV-50 added by 0.2% dibenzylpolysulfide)

(7) 吉本、二宮、知久：潤滑，12(1967)，201。

に、上述の条件よりも高負荷側にある全面溶着直前の 177.5 kg を負荷した場合は Photo.2 にみられるごとく溶着の生成したと考えられる領域に硫黄成分を多く含んだ反応生成物の存在を確認することができた。

これに対して塩素化パラフィンを 2.0% 添加したものについては Photo.3 のごとく溶着現象がほとんど検出されない摩耗条件の荷重 63 kg においてすでに塩素成分が認められ、より荷重が増加して溶着摩耗の生成領域になるとこの存在は一層明確に観察されるようになる。なお全面溶着直前の負荷状態における塩素の反応は硫黄の場合とやや異なり、摩耗痕全体にわたって反応生成物の生成されることを認めた。

Photo.3 Cl-K α X-ray image observed on the scar of fixed ball (Wear conditions : Applied load; 63 kg, revolution; 1800 rpm, applied time, 10 sec, lubricant; polybutene LV-50 added by 2.0% chlorinated paraffin)

なお、すべり面全体が溶着を起こす直前の負荷条件で摩耗を行なったときの固定球の摩耗痕の表面粗さは塩素化パラフィンを添加したものに比べてダイベンジル・ポリ・サルファイド添加油を用いたときの方がやや粗面となることを観察し、これが前述のごとく反応生成物の生成状況に相違をもたらすものと判断された。

V. 供試潤滑油の溶着領域における挙動

難加工材を深絞り加工する場合、被加工材と金型との接触面は甚だしく苛酷な負荷状態となることが予測され、このような状態のもとでは機械的強さに劣る被加工材の一部がダイス肩半径部 (Fig.1 (A) 部) へ容易に金属転移を起こすものと推考される。

そこで、本実験においては上述のような苛酷な加工条件のもとで潤滑油が金型または被加工材の表面状態に及ぼす影響を吟味した。すなわち、実験には高速 4 球式摩擦試験機を用い、全面溶着を起こさせた固定球と回転球の溶着領域を含む中心付近を溶着面に対して垂直方向に切断し、溶着部の炭素濃度変化を求めたものである。Photo.4 は一例として LV-50 単体の潤滑油中で完全に溶着を起こさせたときの溶着部付近の光学顕微鏡写真を示したものであり、

各潤滑油中で同様な溶着を起こさせたものの断面を X.M.A. により C-K α 線を走査させて線分析を行なったときの炭素濃度分布を Fig.6 に示す。なお実験に用いた鋼球の炭素量は 0.98~1.06% である。

Fig.6 (a) は LV-50 単体、同図 (b) はこれに 0.2% のステアリン酸を添加したものを使用して全面溶着させたときの

Photo.4 Microphotograph on the welded zone of fixed and rotated ball (Wear conditions : Applied load; 141 kg, revolution; 1800 rpm, applied time; 10 sec, lubricant; polybutene LV-50 only)

Fig.6 Changes of carbon contents of a ball fixed (shown at the left side in the diagram) and a ball rotated (at the right) around their welded zone obtained by the method of ASTM, D-2596, 67-T
SA ; Stearic acid
P-Cl ; Chlorinated paraffin
DBPS; Dibenzylpolysulfide
AP ; Alkylphosphite and chlorine

Experimental conditions :

Accelerating voltage	15 kV
Absorbed electron current	0.1 μ A
Analyzing crystal	LS
X-ray detector	F.P.C.
X-ray size	2.0 $\mu\phi$
(a) ~ (c) ; 100 counts/sec for full scale	
(d) ~ (e) ; 500 counts/sec for full scale	

溶着領域における炭素濃度の変化を示したもので、固定球と回転球が溶着を起こした境界付近の炭素量はいずれも増加の傾向を呈する。しかしながら、Fig.6(c)の0.2%ダイベンジル・ポリ・サルファイド添加油にはこのような現象がほとんどみられず、その反面2.0%の塩素化パラフィンあるいは塩素を加えたアルキルフォスファイトを0.2%添加した潤滑油の場合はFig.6(d)または(e)にみられるごとく溶着部の炭素濃度の増加ならびに炭素の侵入深さとも他の潤滑油に比べて遙かに大きい値を示すことが確認された。

上述のごとく摩擦熱によって急速に熱分解を起こした潤滑油のため生成される表面炭素濃度の増加現象は、被加工材として鉄系合金を使用した場合これが耐食性を低下させる原因の一つになるものと考えられる。すなわち、上述のごとき現象が後述するSUS-27のような低炭素オーステナイト系ステンレス鋼板の深絞り加工において生成されるときは、従来塑性加工を施したステンレス鋼板の耐食性低下の原因が応力腐食に依存するものと考えられてきたが、本実験の結果から類推して加工面への炭素の侵入現象もその一つに挙げられることが予測された。

VI. 深絞り加工における潤滑油の挙動

上述のごとき潤滑性能を有する粘度の異なった3種類のポリブテンおよびこれらにステアリン酸、ダイベンジル・ポリ・サルファイド、塩素化パラフィンなどの油性向上剤または極圧剤を添加したものを供試潤滑油として用い、SUS-27薄板材の深絞り実験を行ない、主としてダイス肩半径部への被加工材の金属転移現象から加工性に及ぼす潤滑油の

影響を検討した。

実験はコルトハウス全自動万能薄板材試験機により、前掲Fig.1の金型を用い、60φ×1mm円形平板ブランクを深絞り加工した。

まず、加工の際の最大絞り力に及ぼす各供試潤滑油の影響を求め、その結果をFig.7に示した。これによると、Fig.7(a)の低粘度系ポリブテンLV-50を基油とした場合、LV-50単体、0.2%ステアリン酸および0.2%ダイベンジル・ポリ・サルファイド添加油はいずれも加工数が増加するにともなって最大絞り力の低下する現象がみられる。しかるに塩素化パラフィンを2.0%添加した潤滑油は上述と異なった傾向を現わし、加工数15前後までは漸次最大絞り力が増加し、それ以後はほぼ一定した値となり、いずれも6800 kg付近に集約することを認めた。

しかるにダイスの肩半径部における被加工材からの金属転移現象をX.M.A.により観察した結果はPhoto.5および6に示すごとくなり、ポリブテン単体、ダイベンジル・ポリ・サルファイド、ステアリン酸、塩素化パラフィン添加油の順に金属転移領域の減少する傾向のあることが認められた。すなわち、本実験のごとき低速条件のもとで深絞り加工を行なう場合、低粘度系ポリブテンを単体で使用することは油膜の破断にともなう固体接触が生じ易く、したがって被加工材の一部がダイスに金属転移したものと判断される。また、ダイベンジル・ポリ・サルファイド添加油については添加剤中の硫黄成分が鋼と反応を起こすのに必要な表面温度に達していないため基油単体と類似した結果が得られたものと推察される。しかしながら、ステアリン酸添加油の場合は前述のごとく境界摩擦係数の低下に対して有効であるが、油膜強さの向上についてはほとんど効果がなく、このため金属転移が相対的に多く現われているものと判断される。これらの潤滑油と比べて塩素化パラフィン

Fig.7 Effect of various lubricants of polybutene and other additives on the maximum drawing force Material; SUS-27. Blank size; 60φ×1mm.

Testing machine; Roell and Korthaus's sheet metal testing machine

Deep drawing conditions: Punch diameter; 32 mm φ, punch radius; 5 mm, die diameter; 34.4 mm φ, die radius; 5 mm, punch speed; 18 cm/min, and blank holding force, 200 kg constant

Photo.5 Metal transfer phenomenon on the die radius (Blank material; SUS27, die; SK-3, deep drawing conditions : Punch speed; 18 cm/min, blank holding force; 200 kg, drawing number; 30, and lubricant; polybtene LV-50 only. Measuring conditions : Accelerating voltage; 20 kV, absorbed electron current; $0.05 \mu\text{A}$, analyzing crystal; LiF, and X-ray detector; Kr Exatron)

(a) 2 nd electron image, (b) Ni-K α image, (c) Cr-K α image

Photo.6 Metal transfer phenomenon on the die radius (Blank material; SUS-27, die; SK-3. Deep drawing conditions : Punch speed; 18 cm/min, blank holding force; 200 kg, and drawing number; 30. Measuring conditions : Accelerating voltage; 20 kV, absorbed electron current; $0.05 \mu\text{A}$, analyzing crystal; LiF, and X-ray detector; Kr Exatron)

(a) Ni-K α image (Lubricant; add 0.2% dibenzylpolysulfide to polybutene LV-50)

(b) Ni-K α image (Lubricant; add 0.2% stearic acid to polybutene LV-50)

(c) Ni-K α image (Lubricant; add 2.0% chlorinated paraffin to polybutene LV-50)

を添加したポリブテンを使用するときには被加工材として用いたステンレス鋼のダイス肩半径部への金属転移が著しく減少している。この原因は前項で述べた実験結果から明らかなごとく添加剤中の塩素が比較的軽負荷条件において鋼と反応することから類推して、深絞り加工時ダイスと被加工材の接触面に塩素系反応生成物が生成し、これが金属転移現象を抑制しているものと考えられる。

また、上述の実験で得られた被加工品の円筒側壁部における表面粗さは Fig.8(a) にみられるごとくいずれも加工数の増加にともなって粗面となり、ことにポリブテン LV-50 を単体で使したときにこの傾向が最も顕著に現われることを認めた。

つぎに中粘度系のポリブテン HV-100 またはこれに各種

添加剤を加えた潤滑油を用い、上述と同様な条件で深絞り加工を行なった。その結果は Fig.7(b) および 8(b) に示すごとくいずれの供試潤滑油を使用した場合も最大絞り力ならびに被加工品の円筒側壁における表面粗さの変動がともに少ない。しかしながら、ダイス肩半径部における金属転移は基油に LV-50 を使用したときとほとんど変化なく、HV-100 単体およびこれにステアリン酸またはダイベンジル・ポリ・サルファイドを添加した潤滑油は Photo.7(a) にその一例を示すごとく相当量の金属転移現象を観察した。これに対して塩素化パラフィン添加油は Photo.7(b) にみられるように金属転移現象はほとんど検出されない。

なお、高粘度系ポリブテン HV-1900 を単体で使したときも最大絞り力および被加工品の円筒側壁における表面

Fig. 8 Effect of polybutene and other additives on the surface roughness of outer cup wall of material

Material; SUS-27. Blank size; $60\phi \times 1$ mm

Testing machine; Roell and Korthaus's sheet metal testing machine

Deep drawing conditions: Punch diameter; $32\text{ mm } \phi$, punch radius; 5 mm, die diameter, $34.4\text{ mm } \phi$, die radius; 5 mm, punch speed; 18 cm/min, and blank holding force; 200 kg constant

粗さは Fig. 7 (c) または 8 (b) に併記したごとくなり、かつダイス肩半径部の金属転移も Photo. 7 (c) にみられるように僅少で、上述の HV-100 に塩素化パラフィンを加えたものと類似した結果が得られた。

以上の結果から、比較的難加工材に属するものと判断される SUS-27 を低速条件で深絞り加工する場合、著しく高粘度系の潤滑油において被加工材とダイスとの接触面に広範囲な液体潤滑領域が存在し、これが凝着などによる金属転移を抑制しているものと推考される。また、油性向上剤や極圧剤の添加による効果については境界摩擦係数あるいは油膜強さの向上が特定な傾向をもって最大絞り力の軽減または被加工品の円筒側壁における表面粗さの改良に影響を及ぼしているとは考えられない。しかしながら、本実験における塩素化パラフィンのごとく添加剤のもつ特性が効果的に作用し得るような条件のもとで加工を行なった場合、顕著な深絞り性の改善がなされることを確認した。したがって、供試潤滑油が深絞り加工に適するか否かを判定するには吉田の研究結果⁽⁸⁾からも明らかなごとく、最終的には実際の深絞り加工またはそれに適応した試験装置を用いて行なった結果から判断することが合理的であり、その方法としてダイス肩半径部に相当する領域に生ずる被加工材の金属転移現象を観察することがきわめて効果的であることを認めた。

VII. 結 言

粘度の異なるポリブテンあるいはこれに油性向上剤、極圧剤をそれぞれ単独で添加した供試潤滑油を用い、ステンレス薄鋼板の深絞り加工を行ない、その結果から加工性に及ぼす潤滑油の影響を吟味した。つぎにその結果を要約すると

Photo. 7 Metal transfer phenomenon on the die radius (Blank material; SUS-27, die; SK-3. Deep drawing conditions: Punch speed; 18 cm/min, blank holding force; 200 kg, and drawing number; 30. Measuring conditions: Accelerating voltage; 20 kV, absorbed electron current; $0.05\text{ } \mu\text{A}$, analyzing crystal; LiF, and X-ray detector; Kr Exatron)

(a) Ni-Kα image (Lubricant; add 0.2% stearic acid to polybutene HV-100)

(b) Ni-Kα image (Lubricant; add 2.0% chlorinated paraffin to polybutene HV-100)

(c) Ni-Kα image (Lubricant; polybutene HV-1900 only)

(8) 吉田: 科研報告, 34 (1958), 53.

(1) 供試潤滑油に用いたポリブテン単体のものについては高粘度系のものほど境界摩擦係数の低下がみられる。また油性向上剤の一種であるステアリン酸を添加した潤滑油は基油の粘度にかかわらず低い境界摩擦係数を示し、かつ油温 140°C 以下ではこれが高いほど低下する傾向が認められた。しかし、極圧剤を添加した場合はいずれも $0.13 \sim 0.18$ にほぼ一定した値となり、接触面温度が低いため反応性を異にする添加剤の効果は現われていない。

(2) 油膜強さは添加剤の影響を受け、ことに極圧剤については潤滑効果に寄与する成分である硫黄、塩素などと鋼との反応温度が高いものはど向上することを認めた。

(3) また、塩素系極圧剤は局部的溶着現象がほとんど検出されないような軽負荷条件から鋼との反応生成物が観察されるが、硫黄系極圧剤についてはより苛酷な摩耗域の溶着が部分的に生成されるような時点に達してはじめて反応を生ずることが明らかとなった。

(4) 全面溶着を起こしたときの固定球と回転球の溶着部境界付近における炭素濃度の変化を検討した結果、ポリブテン単体、ステアリン酸、塩素化パラフィンあるいは塩素を添加したアルキルフォスファイトの添加油において炭素量の増加がみられ、ことに塩素を含有するものにおいてこの傾向が顕著に認められた。しかし、ダイベンジル・ポリ・サルファイドのごとき硫黄系極圧剤を加えたものについて

は上述の現象はほとんど検出されない。

(5) 上述の各種潤滑油を用い、SUS-27 薄鋼板の深絞り加工を行なった。その結果、最大絞り力は基油が高粘度系のものほど低下するが、添加剤の影響はほとんど認められない。また、被加工品の円筒側壁における表面粗さについても類似の傾向がみられる。

(6) しかしながら金型の耐用期間あるいは被加工品の精度などに最も顕著な影響を及ぼすものと考えられる被加工材の金型への金属転移現象は、著しい高粘度系の潤滑油もしくは塩素系極圧剤を添加したものを供試油として使用したときに明瞭な抑制作用が現われることを認めた。しかし、低炭素ステンレス鋼板のごとき鉄系薄板材を加工する場合、塩素系極圧剤を用いることは苛酷な加工条件のもとで(4)項で述べた接触面に炭素の侵入することが考えられ、これが生ずるときは被加工品の耐食性を低下させる原因の一つになるものと推察されるため十分な配慮が必要である。

なお、本研究は昭和 44 年度中小企業庁技術開発研究補助金を受けて行なったものであり、研究を遂行するに当たり試料の提供ならびに実験に協力して下さった日石樹脂化学、出光興産、モービル石油、日本冶金、島津製作所、日立製作所機械研究所の関係者諸氏ならびに東海大学学生横井秀正君に深く感謝の意を表するものであります。