

論 文

UDC 629.113.5-43 : 621.983.016 : 539.374 : 669.14.018.26

自動車車体部品のプレス成形における
材質や作業条件の状態図への影響*

飯 田 博 孝**・佐 藤 完 往**

Effect of Sheet Metal Grades and Operating Conditions on Deformation
Constitutional Diagram in Stamping Autobody Parts

Hirotaka IIDA and Sadayuki SATO

Synopsis:

In the press forming of autobody parts with various shapes and dimensions, the change in pattern on the deformation constitutional diagram was observed to evaluate the strain distribution in a longitudinal section of a fracture region or a nearly critical portion. Comparison of cylindrical formation with the press forming of autobody parts was made through the effect of steel sheet grade, blank holder pressure and lubrication on the strain distribution. Principally, similar behaviors were found between these two kinds of press forming, as shown in the following results.

- 1) The greater the blank holder pressure and the more inappropriate the lubricating condition, the larger the difference in the strain behaviors among steel sheet grades is.
- 2) The strain on the stretching side becomes smaller in the order, rimmed steel, OCA and killed steel.
- 3) As for the shrinkage flange strain, the order of magnitude is reverse to that in 2); it is the largest in killed steel and the smallest in rimmed steel.

(Received Oct. 1, 1971)

1. 緒 言

自動車車体の主として大物部品プレス成形における材料の変形挙動を解析するひとつの手法として、スクライブドサークル法により変形量の抽出を行ない、その測定結果を変形状態図に表現し、状態図¹⁾の図形変化として変形挙動を理解し、検討する方法を試みた。

変形状態図上で変形と破断現象との関連を論ずる場合には、破断危険部の変形量と破断限界、ならびにその周辺の変形状態と破断限界との対比によつて論じられる。この破断ひずみに関する調査研究としては、破断部分のひずみ変化経路すなわち変形の履歴による破断ひずみ(破断限界と呼ぶ)の変化²⁾や破断断面部分のポンチ肩半径の影響³⁾などについて検討してきた。この破断限界と変形状態図とを対比させることにより、プレス成形時の材料の変形や破断に至る挙動を図形的にとらえることができ、型具トライアルやプレス作業性の安定化をはかるための判断基準とすることも可能となる。

薄鋼板がプレス金型によつて成形される場合の変形挙

動は、成形々状や素板材質ならびに、しわ押え力、潤滑、加工速度などの成形条件によつて影響を受けているが、これらの影響について、自動車車体部品のような複雑な形状では、定量的に取り扱うことが非常にむずかしく、また公表された資料もごく少ない。一方、プレス加工現場における技術者ならびに作業者の日常業務のひとつである不具合対策の中では、これらの諸条件を適正に評価選定する業務は、非常に大きなウェイトを占めている。すなわち、不具合発生時や型具トライアル時には、しばしば形状変更や材質変更ならびに潤滑条件やしわ押え力条件の検討などが行なわれており、できるだけ低級材で、しかも安定した作業条件の追求がなされている。

この報告は自動車車体部品の実際作業における変形状態への材質や潤滑、しわ押え力などの影響を明らかにし、型具トライアルや、作業の安定化、不具合対策への基礎資料となることを目的として整理したものである。

* 昭和45年10月 本会講演大会にて発表
昭和46年10月1日受付

** 東洋工業(株)

2. 自動車車体部品の変形状態

2.1 実験方法

量産に使用しているプレス機械とプレス型を用いて実験を行なった。実験材料は、量産材の中から任意にリムド鋼、キルド鋼、脱炭リムド（以下OCA材と呼ぶ）の3種類を用いた。同一材料等級でも、部品ごとに、メーカーやチャージが異なっている。したがって、部品ごとに同一材料等級内のバラツキを含んだものである。

ブランク形状は、材質の違いとは無関係に量産時と同一のものを用い、しわ押え力は、各部品ごとに破断条件または、それに近い条件と、しわ発生条件、その中間の成形可能条件の3段階を選び、それぞれしわ押え力「大」「小」「中」と表示する。材質や潤滑条件を変える場合しわ押え力は定められた一定のものとした。使用プレスがダブルアクションプレスのもは、しわ押え隙間の変化で表示したものもある。トン数表示したものは、機械付属の圧力計から計算したものである。

潤滑条件は、高粘度のプレス油と灯油ベースの洗浄防錆油付着状態との2種類について実験を行なった。プレス加工量産現場における一般の潤滑条件としては、洗浄防錆油のみで、特別のプレス油を塗布しない場合が多い。したがって、潤滑条件の基本としては、洗浄防錆油付着状態を標準潤滑条件と考える。それで前者を「潤滑」状態と呼び、後者を「無塗油」とし、標準潤滑条件をさす。

成形後の変形量は、素板に直径10mmのスクライブドサークルを描き、そのサークルの変形量として測定した。自動車車体部品の成形ではブランク形状やダイフェース面も複雑であり、測定値のバラツキも大きい。そのため測定結果にはひずみ量として ± 0.03 程度の誤差を含んでいる。

素板に描いたスクライブドサークルで求める主ひずみの方向は成形により素板が型具内に流入する材料流れの方向をX方向とし、それと直角方向をY方向としてスクライブドサークルの変形量を測定し、対数歪でそれぞれ ϵ_x , ϵ_y と表示する。

単純引張り、純粋張出し、深絞り、ならびに伸びフランジなど基本的な変形の変形状態は、Fig. 1に示すような変形状態座標¹⁾によって示される。この座標系では、体積一定の法則から、板厚ひずみ ϵ_z も等板厚軸からの距離として表現することができる。

2.2 実験結果

自動車車体部品のように複雑な形状の場合、部品の場所によって変形状態は著しく異なる。Fig. 2はリヤーフ

エンダーの各部分がどのような変形をしているかを変形状態図で示した例である。

A断面は、センターピラーに相当する部分で、ゆるやかなカーブの引張り曲げと伸びフランジ変形とが隣接して、平面歪変形から等2軸、伸びフランジと変形状態図はいろいろな基本変形の組み合わせ形状になっている。

B断面は、材料流入方向に2つの段を有し、直角方向にゆるやかな凸カーブを有する形状で、ダイス角 r_d 部分から、側壁にかけては、ほぼ平面歪状態の引張りを受けているが、ポンチ角 r_p 部では局部的に張出し変形を受けている。この r_p 部の段近辺が破断危険部分である（番号で5に相当するところ）。変形様式としては、平面歪変形と張出し変形とが組み合わせられている。

C断面は、バンパー取付部下の曲面部分で、形状的には、浅い角筒コーナー部に相当する。ポンチ頭部に接する番号1は平面歪状態である。側壁部は、ゆるやかなポンチのカーブの影響で縮みフランジ変形をしながら絞り込まれている。変形様式としては絞りである。

D断面は、コンビネーションランプ取付部コーナーで、絞り一張出しの複合成形の典型的な部分である。側壁部は、ほぼ等板厚歪線に添って変形し、絞り込みが大きく、側壁破断危険部である。

F断面は、D断面に隣接した段絞り部分で、オーバーハング部側壁にボディしわが発生しやすい部分である。

下断面は、ポンチ角部分に段を有するゆるやかな伸びフランジ変形の形状であるが、ポンチ面のふくらみとダ

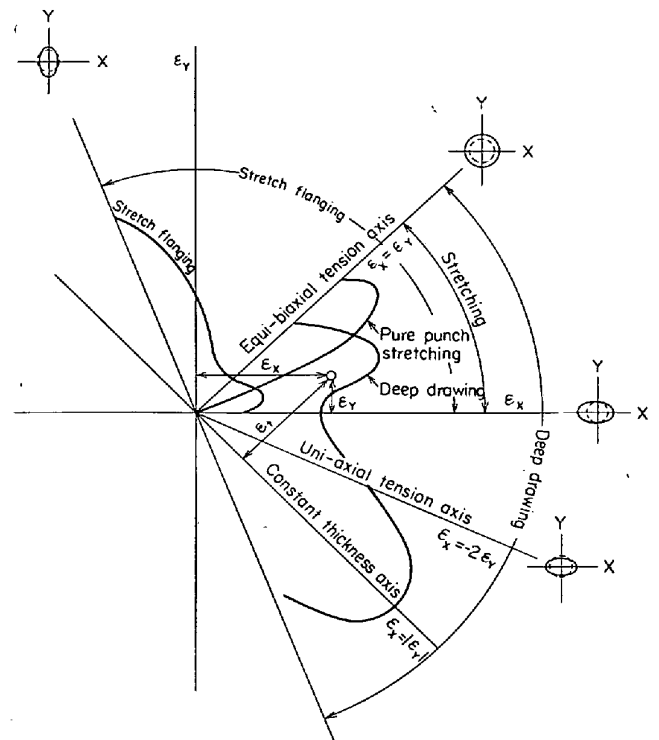


Fig. 1. Deformation constitutional diagram.

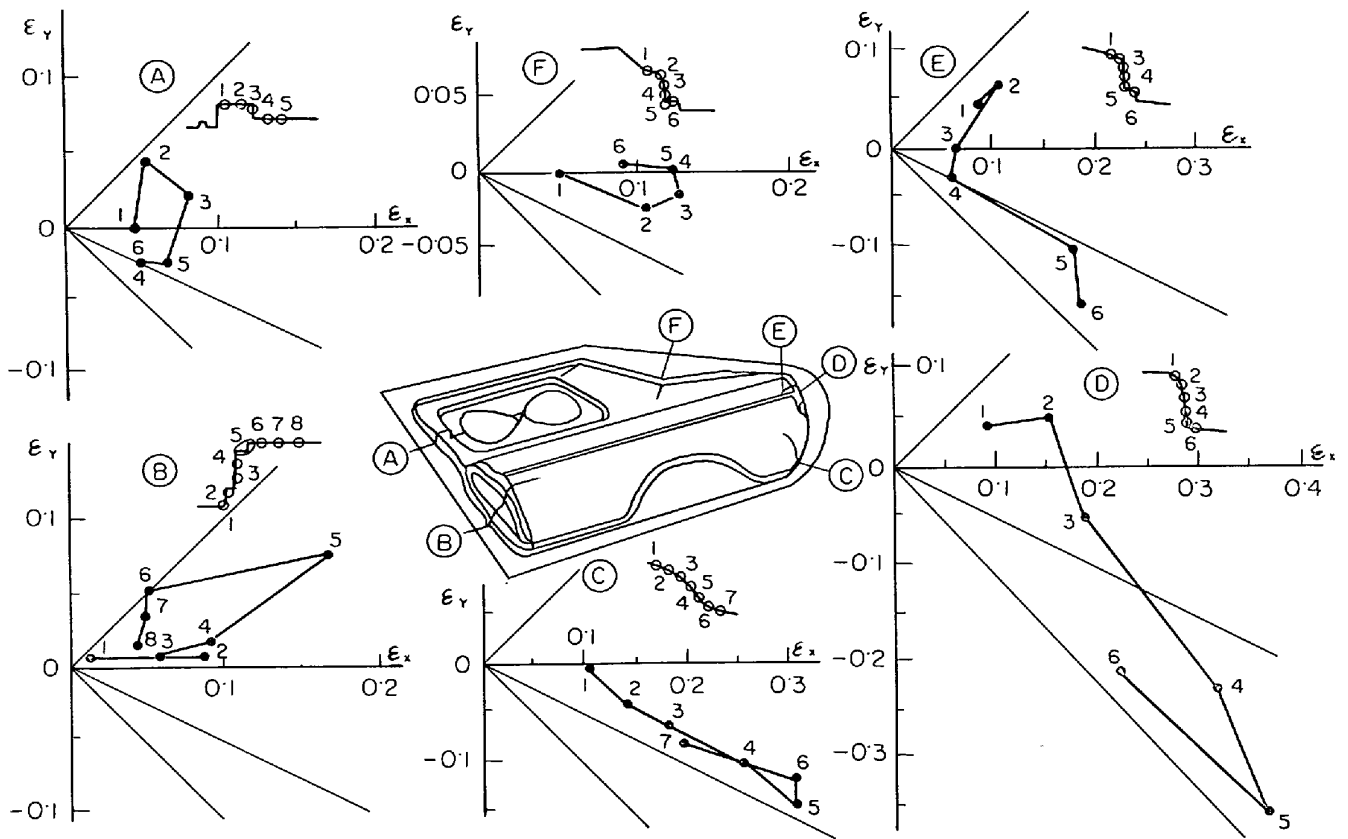


Fig. 2. Example of deformation constitutional diagram of quarter panel.

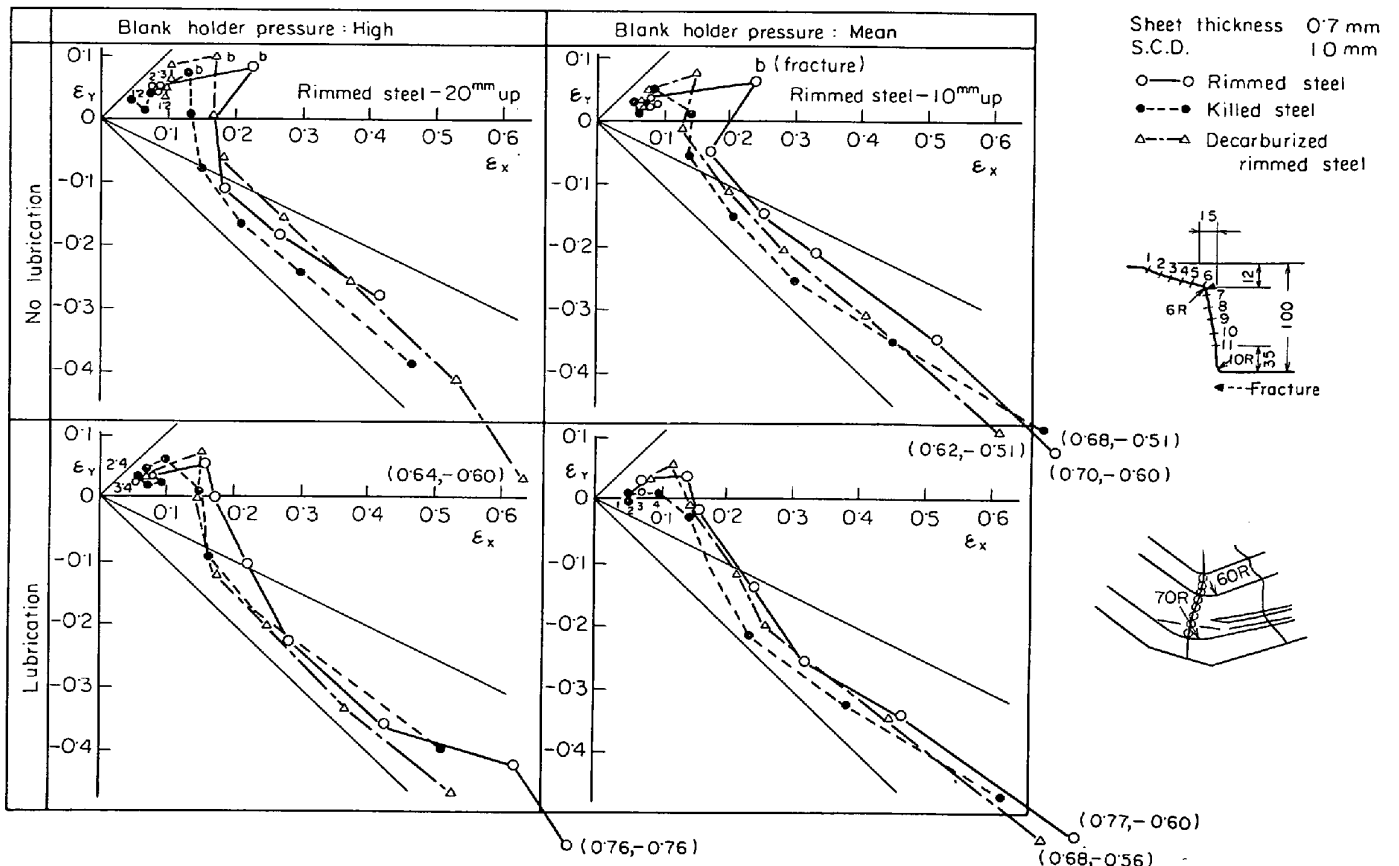


Fig. 3. Deformation constitutional diagram of quarter panel (A).

イフェースの曲がりのために、ほとんど平面歪状態で成形されている。

以上のように、ひとつの部品形状は、種々の基本形状が組み合わさって構成されており、各部の形状に応じて、いろいろな変形が互いに干渉し合つて、種々な変形様式と変形状態がある。したがつて部品全体の変形状態を総合的に認識することは、非常にむずかしいことである。破断危険部のみについてみても、その部分のたて断面形状やよこ断面形状、材料、成形条件などによつて変形が支配され、変形様式や変形状態が変わつてくる。したがつて変形状態図は、その断面の変形に影響を与えるいろいろな成形要因の影響をすべて含んだものとなる。それゆゑこれらの要因が変形にどのような影響を及ぼすかを検討するには、変形状態図は非常に便利である。以下自動車車体部品について、測定結果を報告するが、Fig. 2の結果に見られるように、破断部や破断危険部以外の断面の変形量は比較的小さく、各部品の成形限界を決める要素との関連が少ない。したがつて、以下破断部や破断危険部について変形挙動を検討する。

2.2.1 リヤーフエンダー(A)-ランプ取付部コーナー前記Fig. 2に示したリヤーフエンダーの断面符号D

と同一形状のリヤーフエンダー破断部について、材料、しわ押え力、潤滑を変えて変形状態を測定した結果がFig. 3である。

対象部の成形々状は角筒コーナに相当する、側壁部とポンチ頭部とに斜面を有し、ポンチ角アールが小さいため、この部分に局部的に変形が集中し、リムド鋼では、この部分が破断し、下死点まで成形できない。側壁部は絞り込みによる縮みフランジ変形量が非常に大きい。

しわ押え力が大きくなると、各材質とも各点の変形量は ϵ_y が大きくなる方向に動いている。また各材質別の変形状態の差は、無塗油状態のほうが大きく、かつ、しわ押え力が大きいときのほうが材料の差は大きく現われる傾向がある。

潤滑条件の違いによつて、ポンチ頭部の張出し量に差が見られるが、側壁部の絞り込み部にはあまり大きな変化はなく、潤滑することによりわずかに板厚ひずみが小さくなる方向に動き、材料間の差は少なくなる。

リムド鋼は、無塗油では、いずれもポンチ肩部(たて断面図の番号6番近くの6Rのところ)で破断する。プレス油潤滑でもポンチ肩部分の ϵ_x は他の材質よりも大きい。キルド鋼は張出し部、側壁部の絞り込みいずれも

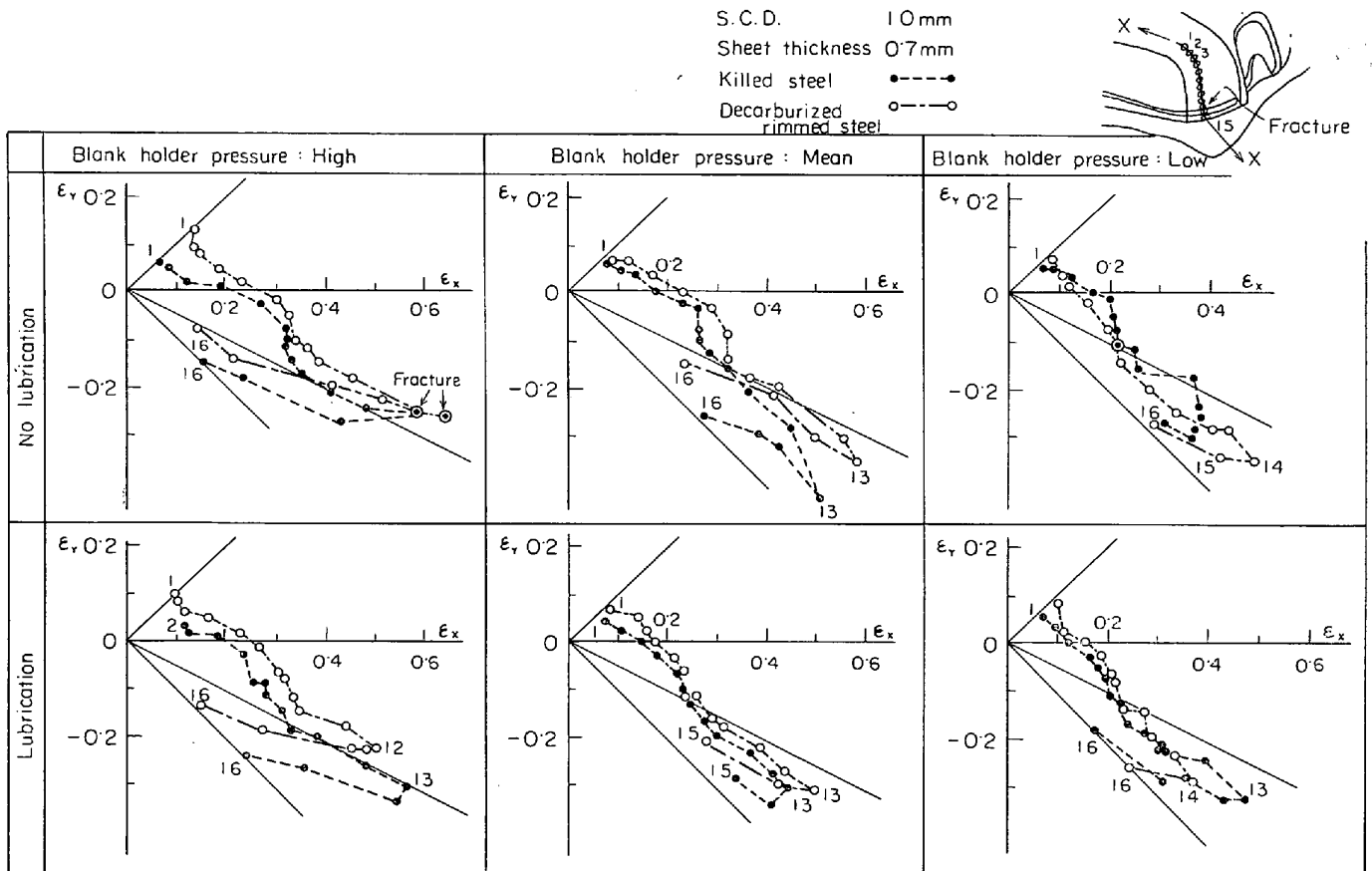


Fig. 4. Deformation constitutional diagram of quarter panel (B).

変形量が小さく、ポンチ肩の局所的な変形の集中も小さい。このことは測定した断面の周辺の材料の流れによつて、材料が絞り込まれており、材料はひずみを伴わずに単に変位が大きいことを意味する。たとえば素板外周のダイス面上でのすべり量が大きい。キルド鋼は、3材質中で板厚ひずみの変化が最も小さい。OCA 材はポンチ肩の張出し部の ϵ_y は最大でその他の部分で ϵ_y は張出し部、絞り込み部ともに、リムド鋼とキルド鋼のほぼ中間的な値を示している。

2.2.2 リヤーフェンダー (B)

Fig. 4 はリヤーフェンダーのコーナー部でリヤーコンビネーションランプの上側にあたり側壁部のしわと破断とが共存する最も成形困難な部分のひとつである。対象部の形状は、四角筒コーナに近い形状で、変形状態図からみても、四角筒の絞り張出しの複合成形によるコーナー部の変形状態図ときわめて類似している。

潤滑することによつて、側壁部の X 方向の変形量は減少し、しわ押え力大でも破断が生じない。

この部品の場合も、しわ押え力が小さいときには材料間の差や、潤滑の差はあまり現われないが、しわ押え力が大きくなるにつれて、変形全体が張出し傾向になり、キルド鋼と OCA 材との差が明りょうになつてくる。しわ押え大のとき、キルド鋼は、ポンチ頭部の張出し変形

量が少なく、絞り込み側壁部については、Y 方向の変形量は OCA 材よりも大きい。しわ押え力が小さいときには逆に OCA 材の方が絞り込み変形量が大きい。すなわち、OCA 材は、キルド鋼に比べて、しわ押え力の変化に敏感で、張り出し変形量と絞り変形量との複合比変化が大きい。逆にキルド鋼は、しわ押え力には鈍感で安定した変形をしている。

2.2.3 リヤーフェンダー (C)

Fig. 5 に示したリヤーフェンダーの破断部断面は、最も単純な角筒絞りのコーナーに相当する形状である。この成形では、ポンチ肩への変形の集中もなく、ほぼ等板厚線に添つて変形曲線が存在している。

しわ押え力が小さく、潤滑した条件では、材質間の差はほとんどなく、頭部の張出し変形も非常に小さい。しわ押え力が大きくなり、潤滑条件が悪くなると、変形状態への材料間の差が大きくなる。

OCA 材は、しわ押え力が大きくなると、急激に X、Y 方向のいずれの方向のひずみ量とも増加し、変形量が最も大きい。リムド鋼が等板厚歪線に添つた最も均一な板厚歪分布をしている。

2.2.4 ドアインサイドパネル

フロントフェンダーやリヤーフェンダーは自動車部品外板の中で最も成形の困難な部品であるが、Fig. 6 に示

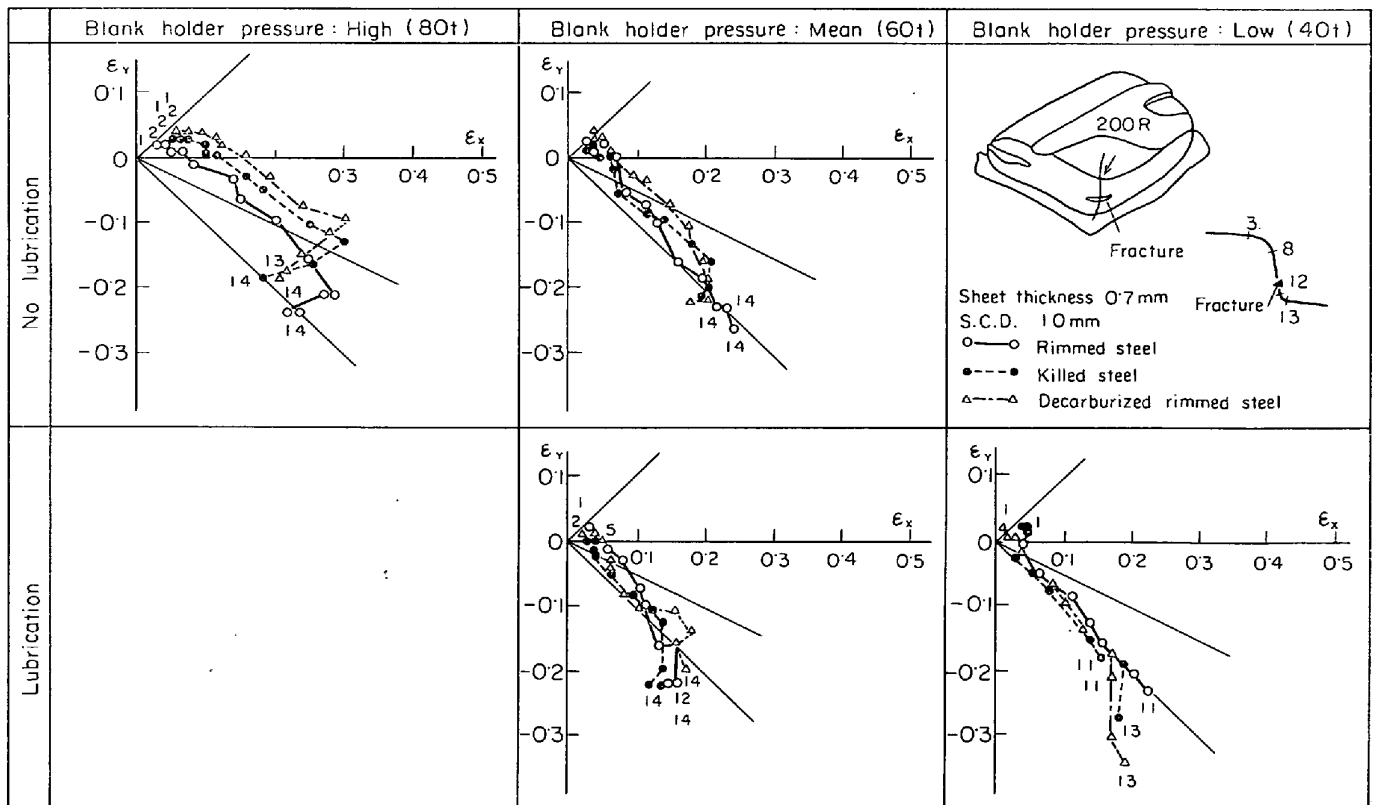


Fig. 5. Deformation constitutional diagram of quarter panel (C).

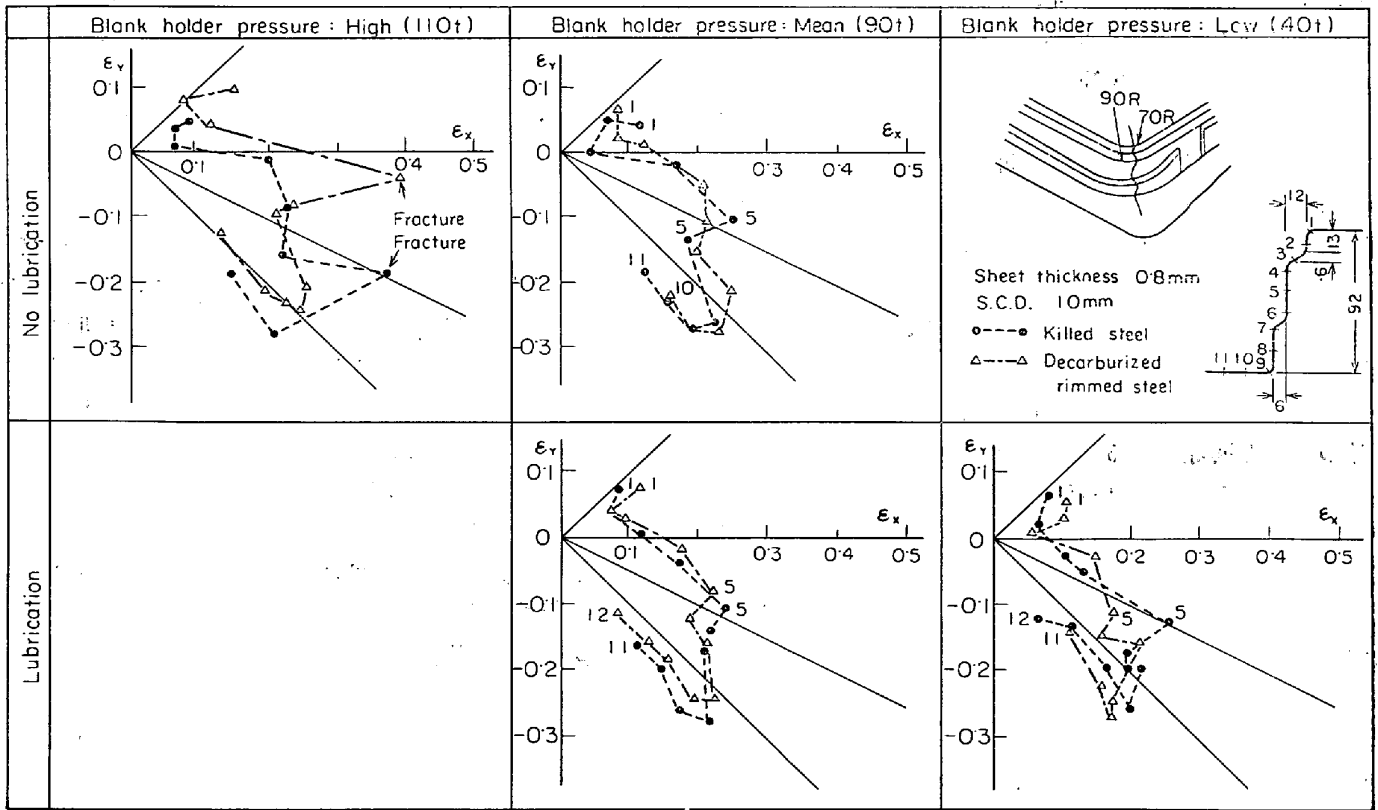


Fig. 6. Deformation constitutional diagram of door inside panel.

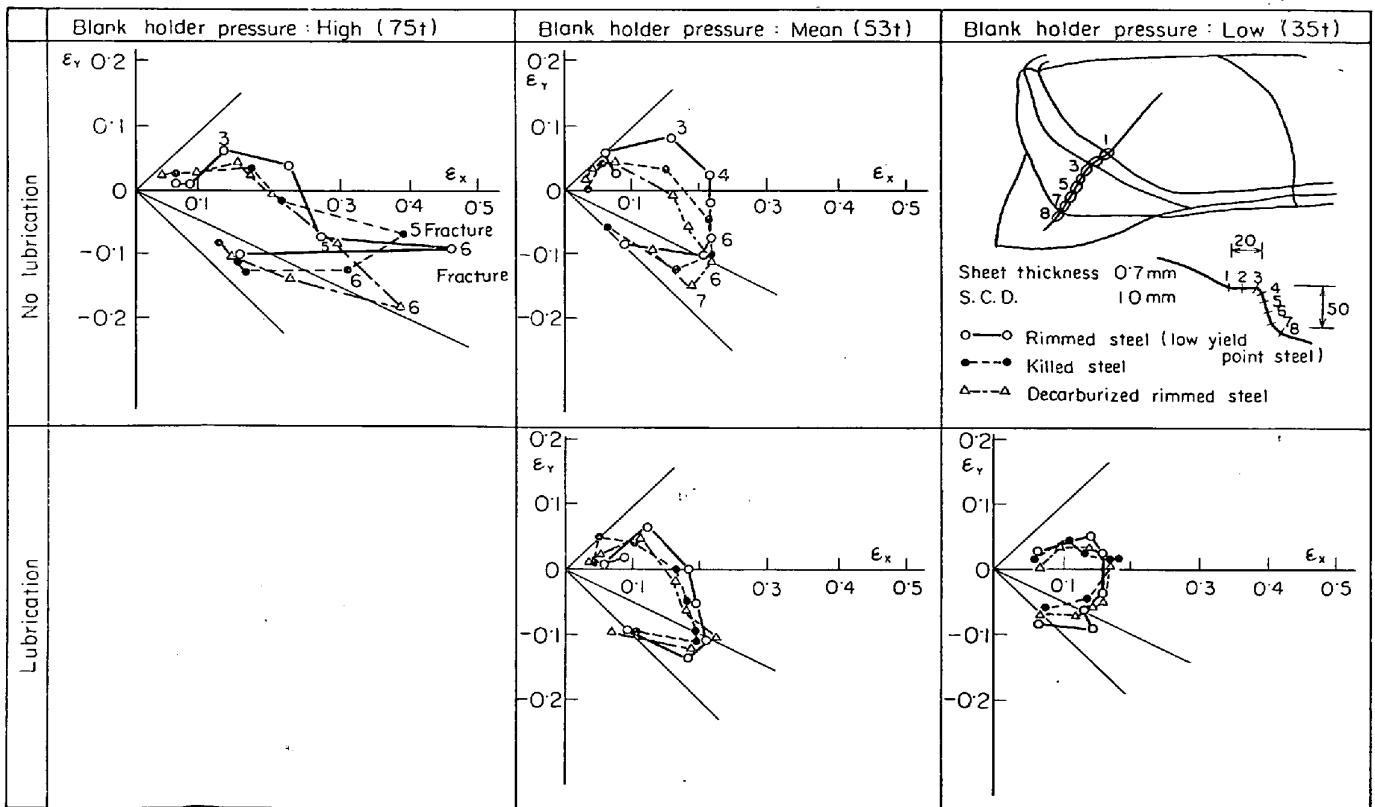


Fig. 7. Deformation constitutional diagram of side skirt.

したドアーインナーも破断としわが共存し、成形のむずかしい部品のひとつである。

図に示した断面も角筒コーナー部に相当する形状であるが、側壁部に2つの段を有し、成形的にきびしい形状である。側壁部に設けられた曲げアールの小さい段のために10mmのスクライブドサークル内の歪分布が不規則になり、測定誤差が入りやすい。

潤滑の場合、しわ押え力小の場合よりも、中の場合のほうが材料間の差が小さいようにみられるが、これにも測定誤差の要因があると考えられる。

しわ押え力、潤滑条件による変化の傾向は、前述の部品の場合と同様である。しわ押え力大、無塗油で、OCA材とキルド鋼とでは破断位置も変わっており、状態図で観察する変形状態の差が大きい。この場合も、OCA材は張出し部の変形量が大きく、キルド鋼よりも、張出し部で変形限界に達しており、キルド鋼は絞り側で破断している。

2.2.5 サイドスカート

サイドスカートの例を Fig. 7 に示す。形状は角筒コーナー部に相当するが、コーナー部ポンチ肩に盛り上がりがある。

ある。この部品は、一方向にのみビードを入れて強く引張り、それと直角方向にはブランク形状も小さく、オープンドロまたはストレッチドロといわれる形式の成形を行なっている。したがって、しわ押え力の小さいときには、しわ押え面のビードのみが強く作用し、ビード方向と直角方向には自由に材料が流入し、コーナ部分は絞り形状であるにもかかわらず、変形状態図の図形は絞りの図形とは異なったものとなつている。この条件では変形量も小さく、材料の違いによる状態図の差も非常に小さい、しわ押え力が大きくなるにつれて、ビードの効果に加えてダイフェース面での押え効果が大きくなり、しわ押え力が小さいときには一方向の引張り曲げに近い条件で成形されていたものが、縮みフランジ変形をともなう絞り形式の変形状態になつて、材料間の差も現われてくる。このような変化、すなわち、しわ押え力が大きくなるにつれて、引張り曲げに近い変形から、絞り形式の変形に移る変化の仕方は、今までの例とは全く逆の傾向である。したがって、変形状態の予測には、成形形状のみでなく、素材形状、寸法、絞りビードの有無と強弱など成形条件もあわせて考慮する必要がある。

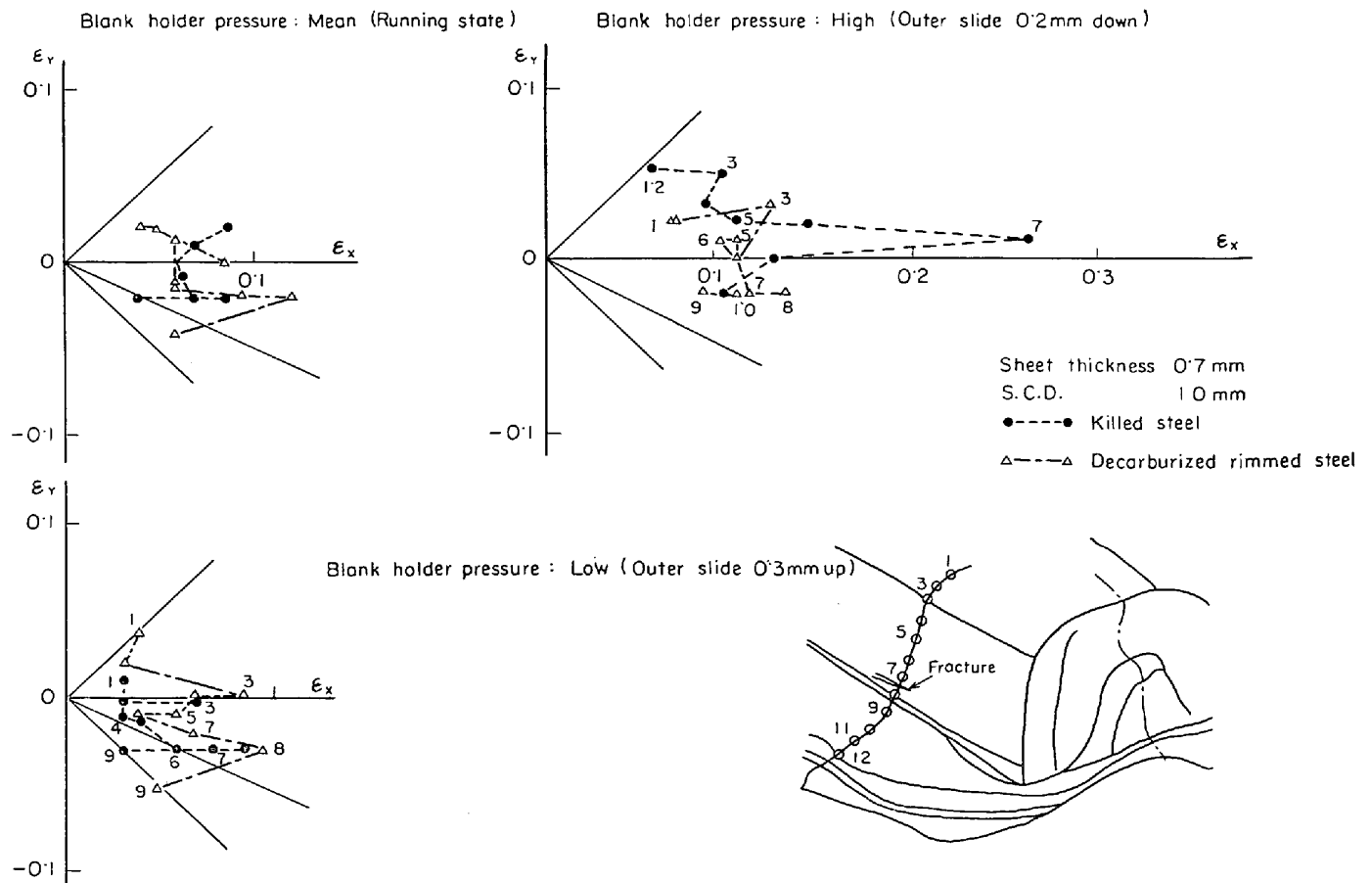


Fig. 8. Deformation constitutional diagram of straight portion quarter panel.

この部品の場合も、リムド鋼はポンチ頭部の No 3, 4 に変形が集中し、変形量が多い。しわ押え力大でリムド鋼、キルド鋼ともに破断しているが、OCA 材は未破断で、この部品の加工には、OCA 材のほうがキルド鋼よりも適している。

2.2.6 リヤーフェンダー直辺部

今までは、すべてコーナー部に破断が生ずる部品について、材料、しわ押え力、ならびに潤滑の違いによる変形状態の差をみてきたが、Fig. 8 に示したリヤーフェンダーでは直辺部で破断が生ずるので図示のごとき断面の変形状態を調べた。厳密な意味では直辺ではなく、わずかに凸形状をしているため、張出しと絞りの変形がある。

しわ押え力が大きくなると、しわ押え力の影響を直接受けて、X方向の変形は大きく発達するが、Y方向の変形には変化が少ない。しかし二軸引張りひずみの状態(張出し変形)に材料間の差がやや明りょうにでてくる。しわ押え力を上げるにつれて、張出し変形に移行するのは、他の部品と同様であるが、しわ押え力が小、中、大につれて、張出し変形量の変化とキルド、リムドの関係は、今までの部品のように単調でない。すなわち、しわ押え力小では、OCA 材のほうが張出し変形量は大きいしかしわ押え力大では逆の関係になつている。そしてしわ押え力中では両者に差を認めがたい。

以上いくつかの部品について成形条件の変化と変形状

態の相関をみてきた。一般的に、しわ押え力が大きくなると張出し成分が増加するのは常識と一致する。しかし破断の場所が形状のどこであるか、(たとえばコーナー部か直辺部か)によつて、しわ押え力増大に伴う材料の対応変形の仕方が違ってくる。このことは、型の剛性、しわ押え力の変化とともに変わつてきて、素板全体の流れの方向や量をかえることによるものと判断される。したがつて、成形条件と材料の間関係は一義的には決定されないようである。

3. 円筒形状の成形における変形状態の検討

材料、潤滑、しわ押え力などの組み合わせで生ずる自動車車体部品の複雑な変形状態は、それら成形条件の交わらう効果の複雑さを示すものである。それらの効果を単純な形状の成形で検討するため、つぎのような実験を行なつた。

3.1 純粋張出し

3.1.1 実験方法

自動車部品の変形状態との対比を目的とした実験であるから、各種の条件は実部品の場合に準じて行なつた。

実験材料はリムド鋼、キルド鋼、OCA 材の3種類を量産材の中から選び、スクライブドサークルは 10 mm を使用した。成形後の測定は、実部品の場合と同様に直接スケールを当てて測定した。測定精度は ± 0.03 程度のひずみ誤差を含んでいる。

Table 1. Geometry of punch and die used for cylindrical formation and sheet metal used for test. (sheet thickness 0.7 mm)

Geometry of punch and die	Punch diameter (D_p mm)		50		80		110			
	Die diameter (D_d mm)		52.6	66.6	84.2	107	116	146		
	Overhang Ratio (D_d/D_p)		1.05	1.33	1.05	1.34	1.05	1.33		
	Punch profile (r_p mm)		5	15	25	8	24	40	11	33
Sheet metal used for test	Sheet metal grade	Tensile direction	Yield point	Ultimate tensile strength	Total elongation	r value	n value	Er	CCV	
		Rimmed steel	C	27.3	32.7	47.6	1.63	0.214	9.9	27.25
			L	24.8	32.3	44.4	1.24	0.216	10.0	27.20
	$\frac{45^\circ}{x}$		25.1	32.5	46.0	1.17	0.222	10.1	27.23	
	Killed steel	C	13.5		45.6	2.35	0.219	10.5	26.45	
		L	14.7		46.6	1.77	0.234	10.6	26.42	
		$\frac{45^\circ}{x}$	14.1		46.1	1.62	0.236	10.5	26.44	
	OCA	C	(12.9)		52.5	2.40	0.262	11.1	25.32	
		L	(11.9)		53.9	1.72	0.264	11.1	25.31	
		$\frac{45^\circ}{x}$	12.4		53.2	1.69	0.262	11.1	25.32	

潤滑条件は 2 種類で高粘度プレス加工油と標準潤滑条件である無塗油の洗浄防錆油付着状態とである。

使用工具は Table 1 に示す球頭 1 種類, 平頭 2 種類の計 3 種類である。ポンチ直径 D_p , ポンチ肩半径 r_p , ダイス直径 D_d とのオーバーハング比 D_d/D_p ならびに潤滑条件を変化させた場合の変形状態図の違いにより, ポンチ頭部の変形挙動を調査する。

3.1.2 実験結果ならびに考察

(1) 同一形状のポンチによりオーバーハング比 D_d/D_p を変化させた場合

直径 110 mm の球頭ポンチを用いて D_d/D_p を $116/110=1.05$, $146/110=1.33$ の 2 種類のオーバーハング比を用いて, 板厚 0.7 mm のリムド鋼, キルド鋼, OCA 材を成形し, 変形状態図を求めた例を Fig. 9 に示した。

防錆油付着状態の標準潤滑条件である無塗油では, 潤滑油塗布状態よりも潤滑条件が悪く, 破断部がポンチ中心からかなりダイ r_d 側へ寄るが, それらの位置はオーバーハングの違いによつてあまり変わらない。

潤滑条件の違いによるポンチ中心部のひずみレベルの差は大きく, 各材料とも無塗油に比して, 潤滑状態では約 2 倍近い変形量である。無塗油条件ではオーバーハン

グの大きいほうが, わずかに ϵ_y のひずみレベルが高く, 各材質間の変形状態の差が小さいが, 潤滑すると全体の ϵ_y ひずみレベルが高くなり, そのレベルへのオーバーハングの影響は, 無塗油の場合とは逆である。その度合は, リムド鋼について最も著しく, 次が OCA 材で, キルド鋼はほとんど変化がない。

材料間のこのような差が, 純粋に材料特性の差のみに基づくものとはいえない。それは, 球底ポンチによる張出しの場合, 張出しの進行につれてポンチと素板間の油は, ポンチ中心から順次絞り出され, ポンチと素板の接触部にはきわめて薄い油膜が残るにすぎないからである。このことは, リムド鋼について潤滑しても $D_d/D_p = 146/110$ の場合の破断位置は, 無塗油の場合とほとんど変わっていない。また OCA 材の $D_d/D_p = 146/110$ の場合でも同様のことがいえ, この場合ひずみ水準すらあまり変わらない。Fig. 9 の結果は前述の不安定な潤滑条件を伴っていることを考慮して解釈すべきであろう。ただいえることは, オーバーハングが大きいほど, 潤滑効果は不安定であることが示されている。このことはポンチと素板の接触による油の逃げの容易さに基づくものであろう。

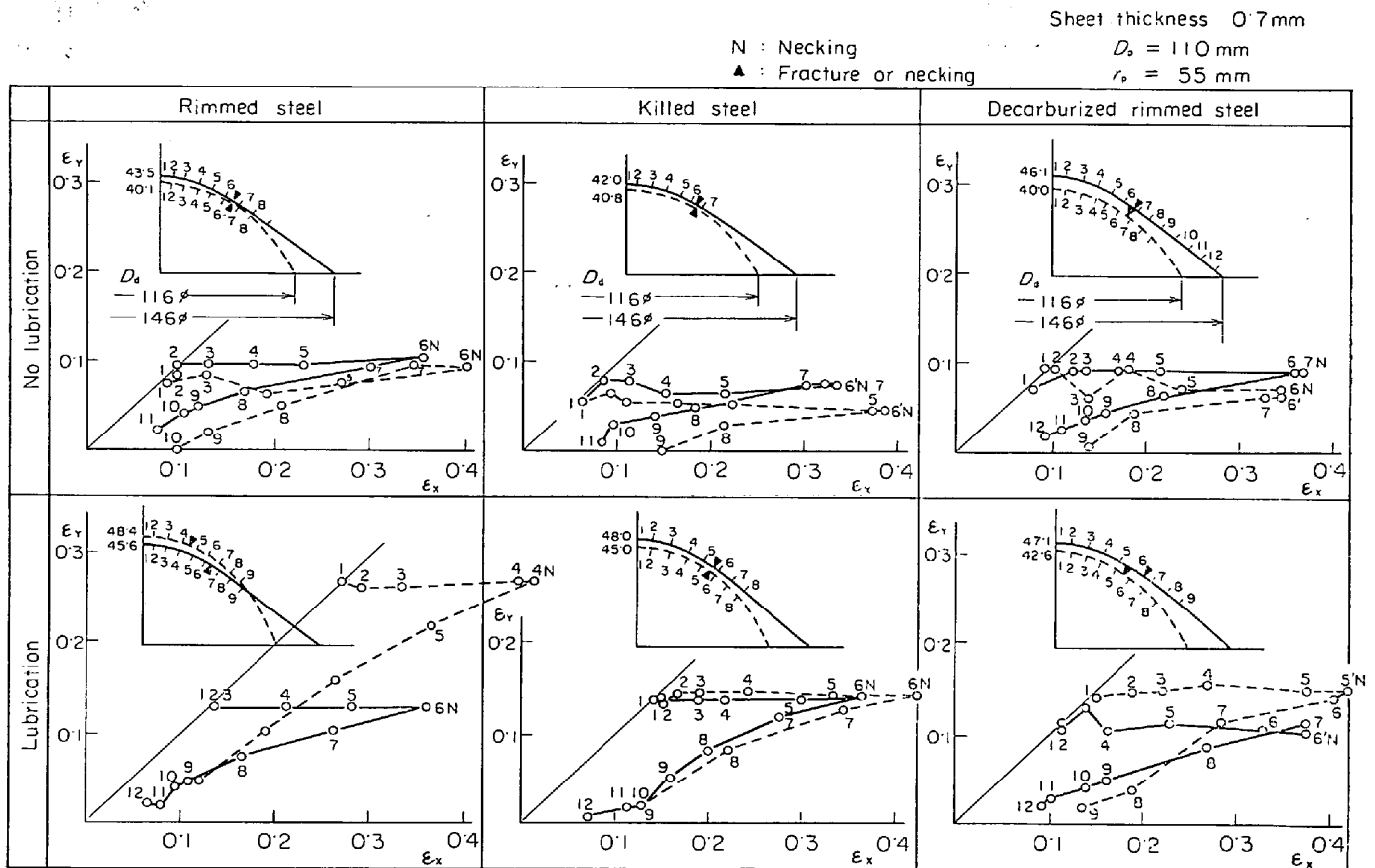


Fig. 9. Effect of changes in overhang on round bottomed punch stretching.

また、鋼板の粗度の違いも考えねばならない。しかし一応、ダル仕上げという前提で、その違いは材料特性のバラツキもあわせ、材料特性の違いとして組み込んで考えることにする。

Fig. 10 は $D_p=110$, $r_p=33$ で 0.7 mm の材料を成形した場合の例で、ポンチ形状が球頭から平頭になつてもほぼ同じ傾向で、オーバーハングの影響は潤滑したほうがわずかに大きくなる。そして変形状態へのオーバーハングの影響は Fig. 9 と Fig. 10 の比較から、 r_p が小さいほど影響がいくらか大きいといえる。潤滑することによる効果は平底ポンチによるほうが、球底ポンチよりはるかに安定するので、Fig. 10 には材料特性の影響が直接抽出されているとみてよいであろう。

(2) オーバーハング比が同じで絶対寸法が異なる工具で成形した場合

ポンチ直径 $50, 80, 110$ mm の 3 種類で、ポンチとダイとのオーバーハング比を同一にして成形した場合の球頭の結果を Fig. 11 に示した。

潤滑条件の違いによつてポンチ寸法とひずみレベルとの順位が逆になつており、張出しにおけるポンチ頭部の潤滑はその効果の不安定さも手伝つて変形状態に非常に複雑な影響をあたえることを示している。すなわち、無

塗油ではポンチの大きさ、材質による変形状態の差は比較的小さく、ポンチ径が小さいほどポンチ中心部のひずみレベルは高い。一方潤滑するとその順位が逆になりポンチ径や材質の違いの影響が顕著でポンチ径が大きいほど潤滑効果が大きい。リムド鋼ではポンチ径の違いによる変形量の差が大きく、キルド鋼はポンチ径の変化にも、潤滑の違いにも比較的鈍感で、3 種類の材質の中では一番安定した変形状態を示す。

ポンチ頭部の形状が球頭から平頭になつても傾向はほぼ同じである。

潤滑条件の差によるひずみレベルの差は、平頭よりも球頭のほうが大きく、また同一潤滑内の状態図の差も球頭のほうが大きい。

(3) 同一ポンチ径でポンチ肩半径を変化させた場合
ポンチ径、ダイス径を一定にし、ポンチ先端の半径を変化させ球頭 1 種類、平頭 2 種類と計 3 種類の実験を行なつた。Fig. 12 はポンチ径 110 mm の例である。ポンチ中心部から破断部までの標点番号 No 1~8 あたりの変形部の ϵ_y レベルの順位が、潤滑条件に無関係にポンチの r_p の違いと一義的な関係が認められるのはリムド鋼で、OCA は潤滑条件の違いで順位が異なつている。すなわち ϵ_y の水準は r_p が $55, 33, 11$ の順位にほぼ

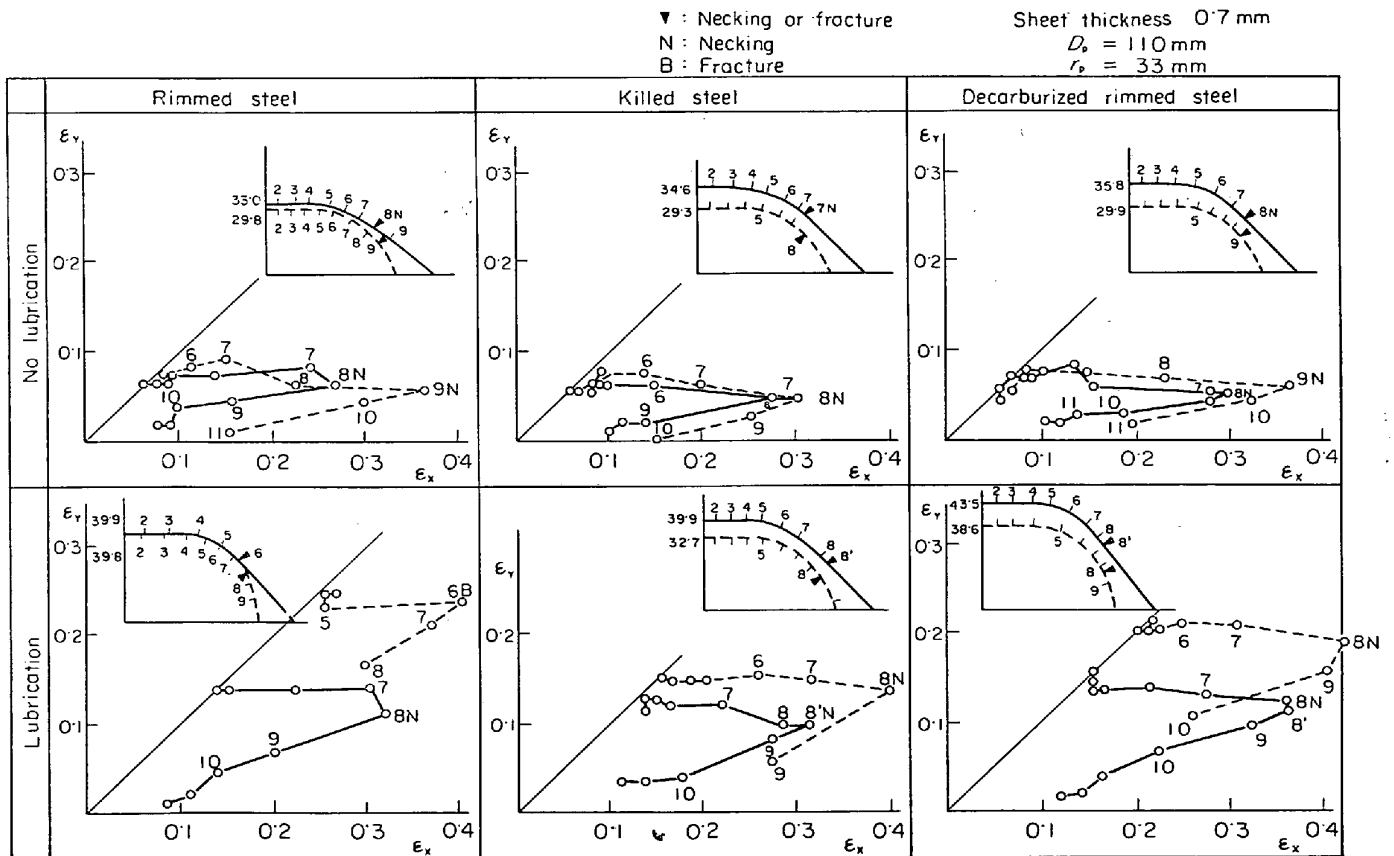


Fig. 10. Effect of changes in overhang on flat bottomed punch stretching.

Sheet thickness 0.7 mm

▼ : Fracture or necking
 B : Fracture
 N : Necking

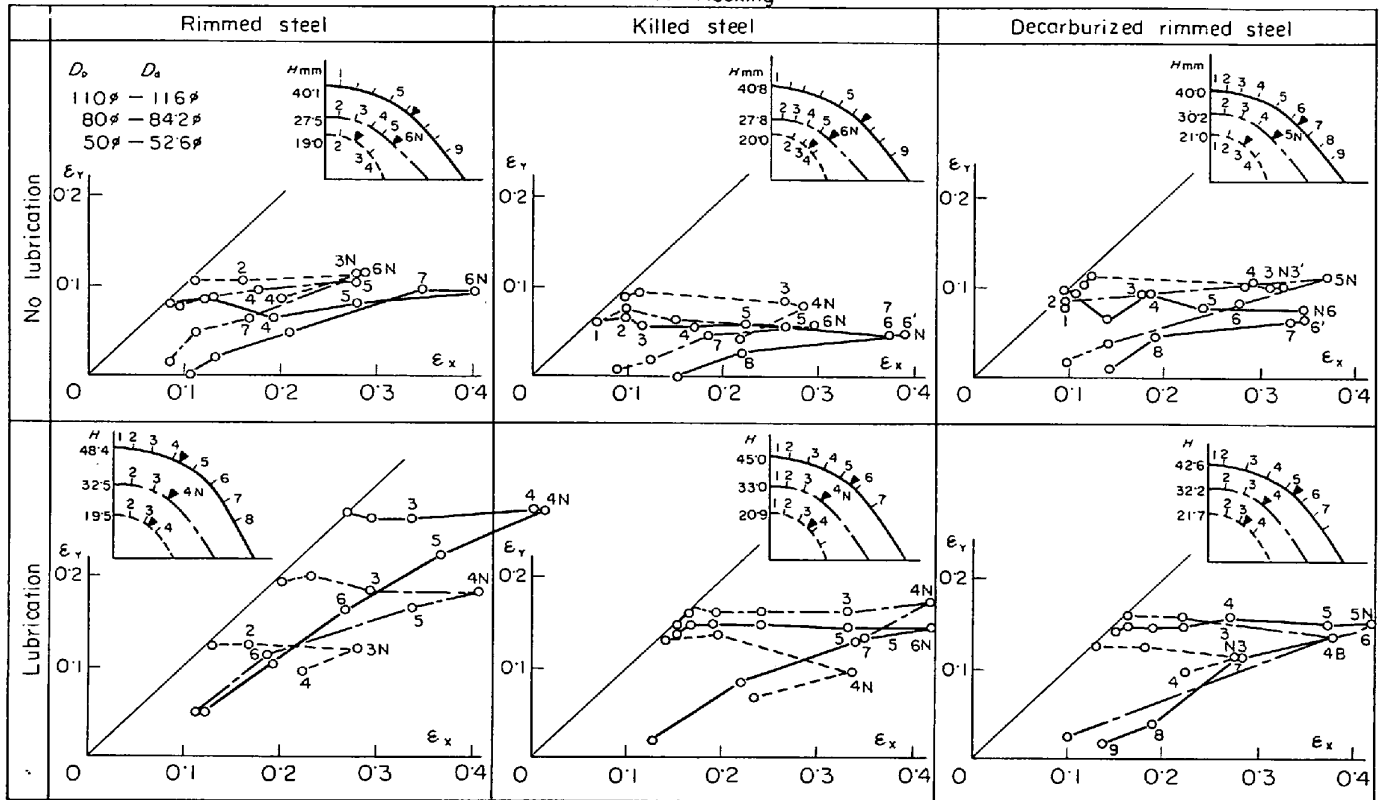


Fig. 11. Effect of changes in D_p and D_d on round bottomed punch stretching with same overhang ratio.

対応しているのに、OCA 材の潤滑の場合のみ $r_p=33$ の場合がもつとも ϵ_y の水準が高い。キルド鋼はほぼリムド鋼の順位に近いとみなせよう。

ここにおいても潤滑とポンチ形状の組み合わせで材料の変形状態は複雑な応答を示している。

要 約

1. 同じポンチでダイス直径を変えオーバーハング比 D_p/D_d を変化させた場合
 - (1) ポンチ中心から破断位置までの距離への潤滑の影響は材料によつて異なる。すなわちリムド鋼がもつとも潤滑の影響を受けついで OCA 材であり、キルド鋼はもつとも影響を受けなかつた。
 - (2) 潤滑すると張出し部変形状態への材質の影響が大きくあられ、オーバーハング比の影響をもつとも大きくうけるのはリムド鋼で、キルド鋼がもつとも小さい。
 - (3) 無塗油ではオーバーハング比が大きくなると素板各部の ϵ_y が大きくなる方向に変形状態図が移動するが潤滑すると逆にオーバーハング比の小さいほうの ϵ_y が大きくなる傾向がある。
2. オーバーハング比が同じで絶対寸法の異なるポンチ

とダイスで成形した場合

- (1) 無塗油では、ポンチ径や材質の違いによる変形状態の差は小さい。
 - (2) 潤滑をよくすると、リムド鋼ではポンチ径の違いによる影響が大きくあられ、ポンチ径が大きいほど各部の ϵ_y が大きく、変形状態図は $\epsilon_y = \epsilon_x$ 軸に沿つて平行移動する。しかし OCA 材では潤滑の影響が少なく、形状、潤滑の総合効果はキルド鋼がもつとも少ない。
 - (3) 材質の変形状態への影響は、実験 1 と 2 では、リムド鋼がもつとも敏感に成形条件の影響を受ける点では同じであるが、影響が少ないのは実験 1 ではキルド鋼であるのに対し、実験 2 では OCA 材とキルド鋼がほぼ同じ程度であつた。
3. 同一ポンチ径でポンチ肩半径を変化させた場合
 - (1) 無塗油では形状や材質による変形状態の差が小さく、潤滑によつてその差が拡大されることは 1, 2 と同じである。
 - (2) 潤滑効果が変形状態へ及ぼす影響はリムド、キルド鋼ではほぼ同じであるが、OCA 材では $r_p=33$ の場合は ϵ_y がもつとも大きくなり、形状と潤滑の組合効果が

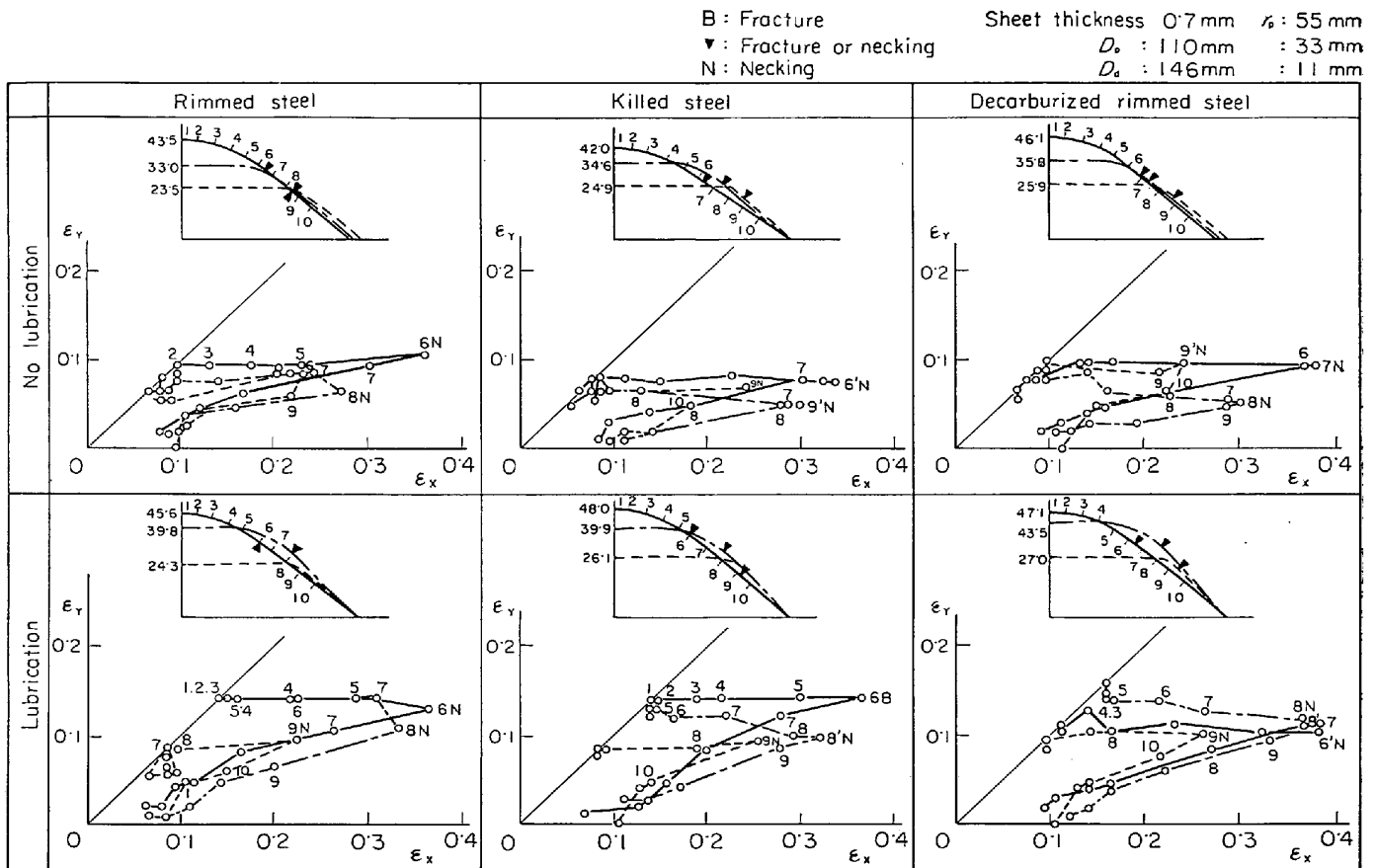


Fig. 12. Effect of changes in punch profile on punch stretching.

他の材料と異なる。

以上総括すると、純粋張出し部での変形状態への形状や潤滑の影響はリムド鋼では傾向的に同じ効果が認められるが、OCA材とキルド鋼では潤滑と形状の複合効果のために、リムド鋼とは違う傾向の影響が生ずることがある。

3.2 絞り張出し複合成形

3.2.1 実験方法

純粋張出しの場合は主としてポンチ頭部の変形が対象となるが、絞り張出し複合成形では、ポンチ頭部の変形に加えて側壁部の絞り込み部分の変形も重要な意味をもってくる。純粋張出しの場合と同様に、潤滑条件、しわ押え力、ならびに材質などをそれぞれかえて変形状態図の比較を行なった。そして同一工具を用いて、成形深さが同じで破断するようにしわ押え力を変化させて変形状態図を比較検討するものと、同一工具、同一成形深さで、同一しわ押え力で成形した場合に各材質間の変形状態図を比較するものとの2系列の実験を行なった。

いずれも同一成形深さを条件としたが、それは実際の自動車部品のプレス成形ではどれだけ深く成形できるかということよりも、同一の深さで同一形状のものがいか

に安定して成形可能かが問題となるからである。

実験材料は板厚 0.7 mm のリムド鋼、キルド鋼、OCA材の3種類で、10 mm のスクライブドサークルを 6 mm ピッチで描いた。使用材料特性および工具寸法を Table 2, Table 3 に示す。潤滑条件は純粋張出しと同じとした。また、各材質別のブランク径と破断しわ押え力を Table 4 に示した。

3.2.2 実験結果

(1) 同一成形深さで破断させた場合

(a) 球頭と平頭での結果

防錆油のみの標準作業条件すなわち無塗油で破断させるに必要なしわ押え力を材料ごとに Fig. 13 の図中に示した。これらのしわ押え力をリムド鋼、キルド鋼、OCA材についてそれぞれ H_R , H_K , H_O とすると、潤滑するこ

Table 2. Geometry of punch and die.

Punch diameter	$D_p = 80$ mm
Punch profile	$r_p = 8$ mm, 40 mm
Die diameter	$D_d = 84$ mm, 107 mm
Overhang ratio	$D_d/D_p = 1.05, 1.33$
Formation high	$H = 45$ mm

Table 3. Mechanical properties of sheet metal used for test.

Sheet metal grade	Tensile direction	Yield point	Ultimate tensile strength	Yielding ratio	Total elongation	r value	n value	Er	CCV
Rimmed estel	C	21.3	32.1	0.66	48.8	1.75	0.211	10.3	27.03
	L	21.6	32.3	0.67	45.1	1.36	0.208	10.2	27.01
	45°					1.40	0.203		
	mean	21.5	32.2	0.67	47.0	1.48	0.206	10.3	27.02
Killed steel	C	17.1	31.2	0.56	48.3	2.36	0.237	10.9	26.44
	L	16.8	31.5	0.53	48.4	1.88	0.245	11.0	26.39
	45°					1.51	0.236		
	mean	17.0	31.4	0.55	48.4	1.82	0.239	11.0	26.2
Decarbarized rimmed steel	C	12.0	25.7	0.47	53.6	2.46	0.265	11.8	25.74
	L	(11.4)	25.6	0.45	52.8	1.63	0.263	11.5	25.55
	45°					1.56	0.257		
	mean		25.7	0.46	53.2	1.80	0.261	11.7	25.65

Table 4. Relations between blank diameter and blank holder pressure under the condition of fracture.

Overhang ratio	Sheet metal grade	Punch profile Lubrication	8		24		40	
			Blank diameter	Blank holder pressure	Blank diameter	Blank holder pressure	Blank diameter	Blank holder pressure
1.05	Rimmed steel	No Lubrication	170 ^φ	2.4 ^t	180 ^φ	1.4 ^t	180 ^φ	2.7 ^t
		Lubrication	180	1.8	180	3.0	180	4.2
	Killed steel	No Lubrication	170	2.6	180	1.9	180	4.1
		Lubrication	180	2.1	180	3.7	180	5.1
	OCA	No Lubrication	170	2.7	180	2.2	180	3.6
		Lubrication	180	2.2	180	3.4	180	5.3
1.33	Rimmed steel	No Lubrication	190	3.5	190	4.3	190	2.5
		Lubrication	190	4.9	190	5.5	190	3.7
	Killed steel	No Lubrication	200	3.5	190	5.8	200	3.8
		Lubrication	200	4.6	200	5.3	200	5.1
	OCA	No Lubrication	200	3.9	200	4.3	190	4.9
		Lubrication	200	4.9	200	5.4	200	4.8

とによるしわ押え力の必要増量比はリムドでは $1.6H_R$, キルドでは $1.35H_K$, OCA では $1.5H_O$ で材料ごとに同じ割合の増量ではない。

球頭と平頭の変形状態にみられる違いは、球頭では張出し変形量が平頭の場合よりも大きく、かつその変形状態に材料間の差が認められる。すなわち張出し変形量はリムド鋼, OCA 材, キルド鋼の順に小さく、この違いはフランジ流入で補なわれるので、縮みフランジ部の変形量はキルド鋼, OCA 材, リムド鋼の順に小さくなる。

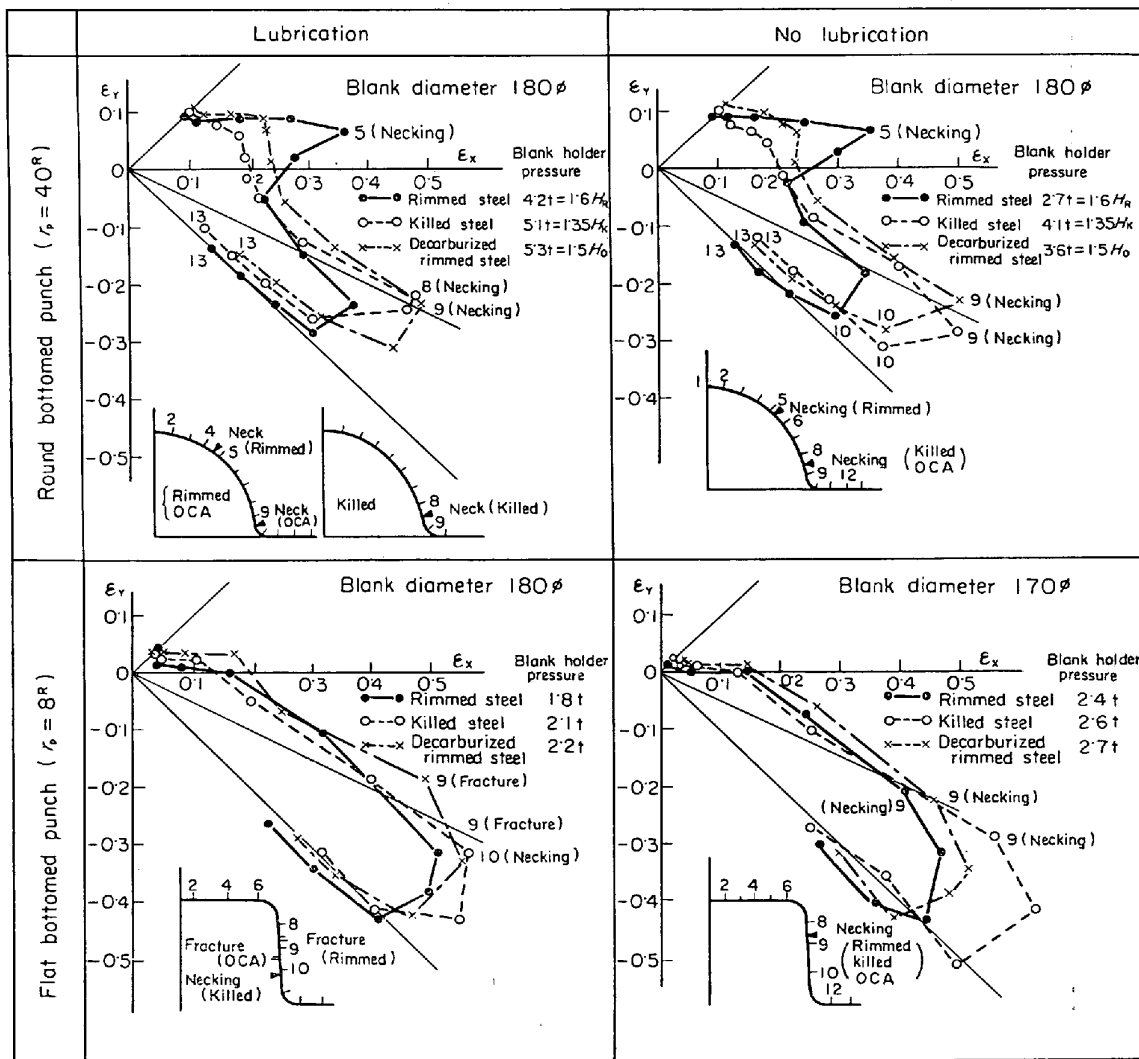
オーバーハング比 1.05 の平頭では張出し部に材料間の差が出ていないが、縮みフランジ部の変形状態に差が

生じ、縮みフランジ変形はリムド鋼, OCA 材キルド鋼の順に小さい。これは球頭の場合と同じで、縮みフランジ変形特性の材質依存性は同じであるとみることができよう。特性値としては r 値依存性ということができよう。

潤滑条件の変化によるひずみ分布の差は、ポンチ形状の変化に比べれば非常に小さい。

(b) ポンチ肩半径の影響

球・平頭ともオーバーハング部を設けることは、 r_p 部の摩擦効果 (角度の減少) によつてポンチ頭部の変形量が増大するが、このことはいずれの r_p についてもいえる。Fig. 14 に示すごとく r_p が大きくなるほど材料間



$D_p = 80\phi$, $D_d = 84\phi$, $H = 45$, $D_d/D_p = 1.05$
 Sheet thickness 0.7 mm S.C.D 10 mm

Fig. 13. Deformation constitutional diagram of three metal grades under the condition of fracture or necking.

の差が大きくあらわれてくる。

リムド鋼, キルド鋼, OCA 材のそれぞれの材質的な特質を模式的に示したものが Fig. 15 である。すなわち, キルド鋼は張出し変形よりも絞り変形しやすい材料で, ポンチ形状の変化による状態図の変化も小さく, 比較的板厚が均一に成形できる材料である。

リムド鋼は, 絞り変形しがたく, 張出し側で変形が局部的に集中しやすい材料である。

OCA 材はリムド鋼, キルド鋼両者の中間的な材料で絞り, 張出しともに比較的変形しやすい材料であると考えられる。

(2) 同一成形深さで, リムド鋼が破断する一定のしわ押え力で成形した場合

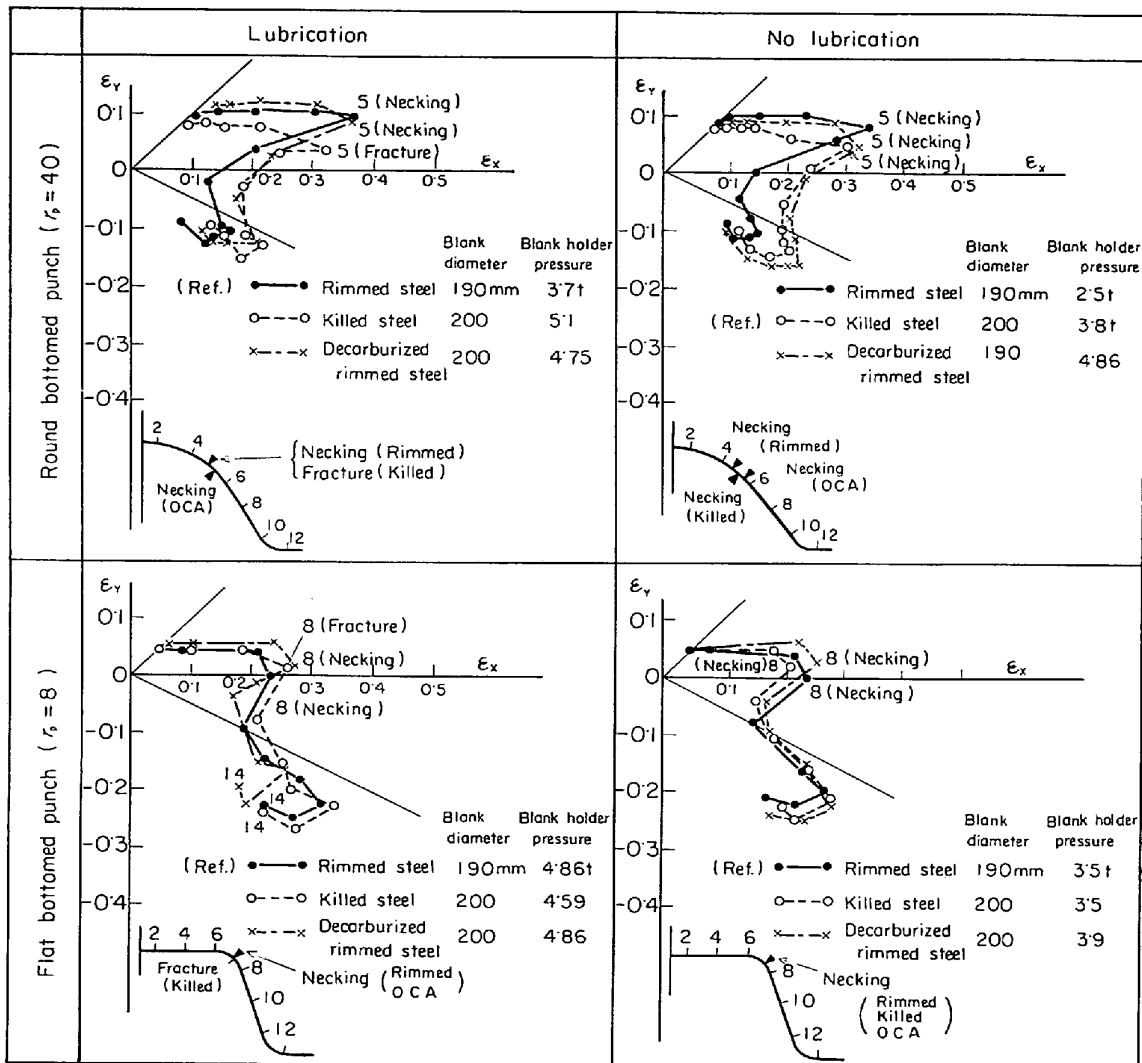
前項と同一工具, 同一材料を用いて, リムド鋼が破断

またはネックを生ずる絞り深さとしわ押え力, ブランク直径で成形した場合の変形状態図を比較検討し, 材質や形状による変形挙動の差を調査する。工具条件, 材料, 成形深さなどは前項と同じであるから, ブランク径としわ押え力を Table 5 に示した。

実験結果は Fig. 16, 17 に示した。

オーバーハング比 1.05 では, リムド鋼の球頭成形のみ頭部破断で, あとはすべて側壁部に破断部や破断危険部があり, 破断, 未破断, 材質などによる状態図の変化は非常に小さい。

キルド鋼, OCA 材にとっては前項の実験条件よりもしわ押え力が小さくなっているが, Fig. 13, 14 にみられる変形状態の材料ごとの特徴は Fig. 16, 17 でもそのまま認められる。しかし材料間変形状態の差は Fig.



$D_p = 80 \phi$, $D_d = 107 \phi$, $H = 45$, $D_d/D_p = 1.33$
 Sheet thickness 0.7 mm S.C.D 10 mm

Reference means that blank diameter is different from other two.

Fig. 14. Deformation constitutional diagram of three sheet metal grades under the condition of fracture or necking.

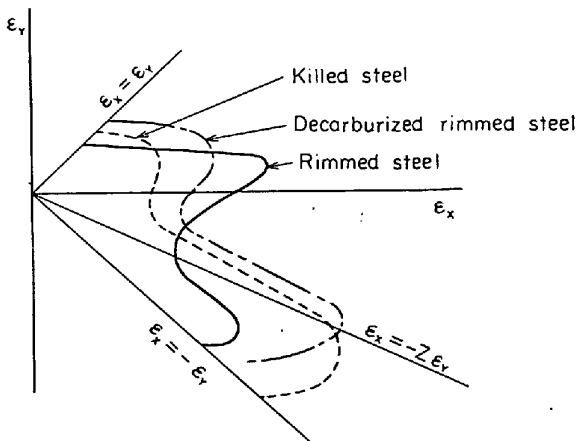


Fig. 15. Typical deformation constitutional diagram of sheet metal grades in cylindrical formation.

13, 14 の場合に比較してはるかに小さくなっている。

要 約

1. 同じ成形深さで破断させた場合

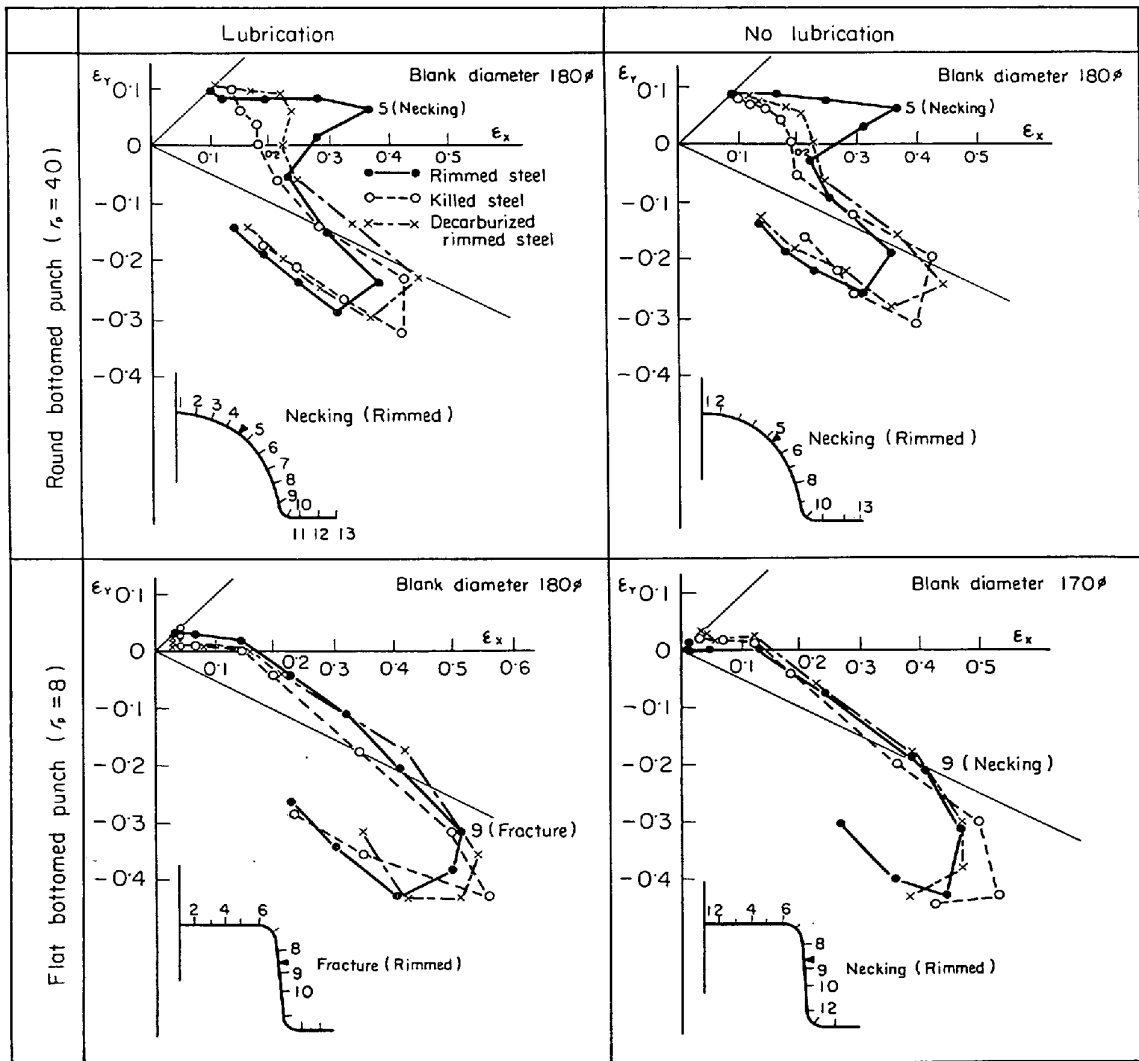
(1) ポンチ頭部の張出し変形量と縮みフランジ部の変形量の順位は逆の関係になる。すなわち、ポンチ頭部の変形量はリムド、OCA、キルドの順であり、縮みフランジ部では逆の順位となる。複合成形でも変形状態へのポンチ形状や潤滑の影響は、リムド鋼が最も大きく、次が OCA、キルドが最も小さい。

(2) 材質により破断位置が変化するときには状態図は大幅に変化するが、位置が不変の場合には状態図の変化はポンチ r_p の変化に比べれば小さい。

(3) オーバーハングが大きいほど、また r_p が大きいほど、材質の差が大きく現われる。

Table 5. Relations between blank diameter and blank holder pressure under the condition of fracture of only rimmed steel.

Overhang ratio D_d/D_p	Punch profile Lubrication	8		24		40	
		Blank diameter	Blank holder pressure	Blank diameter	Blank holder pressure	Blank diameter	Blank holder pressure
1.05 ($D_p=80$) ($D_d=84$)	No Lubrication	ϕ	^t	ϕ	^t	ϕ	^t
	Lubrication	170	1.8	180	3.0	180	4.2
1.33 ($D_p=80$) ($D_d=107$)	No Lubrication	190	3.5	190	4.3	190	2.5
	Lubrication	190	4.9	190	5.5	190	3.7



$D_p=80\phi$, $D_d=84$, $H=45$, $D_d/D_p=1.05$
 Sheet thickness 0.7 mm S.C.D 10 mm

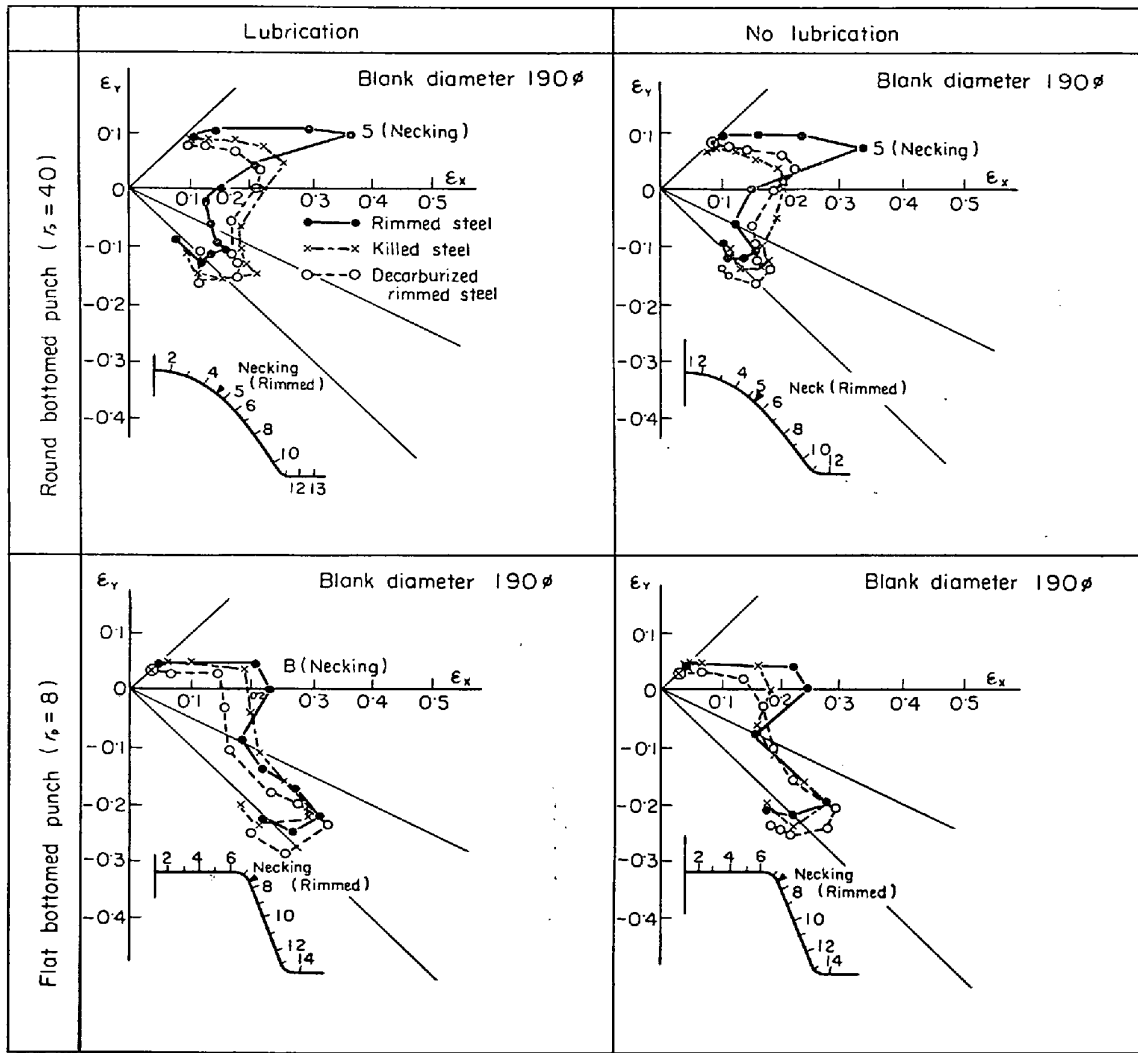
Fig. 16. Deformation constitutional diagram of rimmed steel under the condition of fracture or necking and other two sheet metals.

同一成形深さで、リムド鋼破断のしわ押え力で成形した場合

(1) オーバーハング、ポンチ r_p の変化に対し、1の項と同じ傾向であるが、材質間の差は減少する。

4. 自動車車体部品変形状態の検討

円筒形状の工具を使って、変形状態に対する形状、材質の影響を調査した結果と、自動車車体部品の変形状態



$$D_p = 80, D_c = 109, H = 45, D_a/D_p = 1.33$$

Fig. 17. Deformation constitutional diagram of rimmed steel under the condition of necking and other two sheet metals.

の調査結果とを比較対照しながら検討する。

4.1 リヤフェンダ A

Fig. 3 に示したリヤフェンダ A の破断部分の形状は成形初期にはオーバーハングを大きく、後期には小さい状態で成形されている。そのため変形状態は平頭ポンチによるオーバーハングが大きい場合と小さい場合の組み合わせになっている。

円筒形状の実験では、潤滑と無塗油の違いで材料間の差はあまりみられなかった。この例では無塗油の方が材料間の差ははつきりとでている。これは成形初期にオーバーハングが大きかったこと、また、潤滑することによりフランジ流入が容易になったことなどが原因のひとつとして考えられる。しかし、張出し変形と絞り込み変形の順位、キルド鋼の板厚ひずみ均一化傾向、しわ押え力が大きいほど材料間の差が生じやすいこと、また潤滑を

よくし成形条件をらくにするほど材料間の差が減少するなど基本的には円筒形状と同じ傾向を示している。

4.2 リヤフェンダ

Fig. 4 に示したリヤフェンダ B は、形状的には球頭ポンチによる複合成形である。それゆえ変形状態図は Fig. 13 の球頭の場合とよく似ている。しわ押え力が大きくなるほど材料間の差が大きくなり、OCA の方が素板各部の ϵ_y が大きく変形状態図が $\epsilon_x = \epsilon_y$ 軸に沿って平行移動するなど、Fig. 13 の実験結果とよく一致している。またしわ押え力増大に伴うキルド鋼と OCA 材の張出し変形の相対的關係の違いを生ずることは、形状としわ押え力の相乗効果として円筒の場合にも認められたことと一致している。

4.3 リヤフェンダ C

Fig. 5 に示したリヤフェンダコーナ部の形状はオーバ

一ハングを有する平頭であり、円筒形状の場合と変形状態図の図形は同じである。しかし、しわ押え力大で各鋼種の差が現われているが、ポンチ頭部でのリムド鋼の変形量が最小であることは、しわ押え力大が実際に破断を生ずるしわ押え力まで上つていないためであろう。したがって全体に変形量が低い傾向にある。作業条件としては非常に予猶をもった成形品の例である。リムド鋼が他の部品の場合と異なつてしわ押え力が大きくなるに従つて、他の材質に比較して変形量が小さく、相対的順位が逆になつている。これは Fig. 4 に認められた OCA 材とキルド鋼の張出し変形の相対順位の変化と同じである。この現象を理解するためには成形行程につれての変形状態の変動を追う必要があろう。

4.4 ドアインサイドパネル

Fig. 6 に示したこの部品のコーナ部分は、側壁に2つの段を有し、単純な円筒成形とは形状的に大きな差があるが、基本的には平頭ポンチによる軸対称形状の場合と同じ傾向の変形挙動をしている。しわ押え力大で、キルド鋼と OCA 材とで破断位置が変化しているが、これは球頭の円筒絞りで見られた材料特性の差による変形挙動の違いであろう。

4.5 サイドスカート

Fig. 7 の部品形状からは、今までの部品と同様に角筒コーナの絞りであるが、この部品はオープンドロウの要素が入り、成形様式が異なるために円筒形状の場合とは変形挙動が異なっている。しかし、変形状態への材料の違いの影響は、円筒形状の場合と同じように現われている。

4.6 リヤフェンダ直辺部

Fig. 8 に示したリヤフェンダ直辺部は、円筒形状の場合の絞り張出し複合成形とは全く異なつた変形状態で、材質的な特徴も軸対称の場合ほど明確に現われていない。このような形状については別の観点から考察しなければならない。

以上自動車部品と円筒形状との比較を行なつてきたが、自動車車体部品のような異形大物部品でも破断部を含む周辺の形状が円筒形状に類似していると、変形挙動も円筒形状に類似しており、円筒成形における研究成果を広く適用することも可能である。

一方、形状的に類似していても成形様式がオープンドロウなど変つている場合には、変形挙動も変わってくる。このような場合には、それに合つた成形条件でのモデル実験との対応を考えればよい。

型具トライアルや不具合対策時に変形状態を確認した上で色々な判断をする必要があり、変形状態図を作成す

ることにより逆に成形様式や変形様式を求め、円筒成形の場合との対比で対策を考えることもできる。

潤滑状態の良否での変形状態への材料間の違いの影響が、円筒成形の場合とは幾分異なる挙動も見うけられる。潤滑効果に関しては小さい場合と大きい場合とではまたすべり方向が円筒のように一定方向をとる場合と実物のように変化する場合とでは、モデル実験結果に一致しないことも生ずる疑念が少しは残る。

要 約

(1) 形状的に角筒コーナに相当する部分の変形挙動は円筒絞りの変形挙動と非常によく似ているが、変形状態は形状のみではなく、成形条件や変形様式によつても大きく変化する。

(2) しわ押え力が低く、潤滑条件がよい場合には、材料が変わつても状態図の変化は少なく、しわ押え力が高く、潤滑条件が悪いほど材料による状態図の変化は大きい。

(3) ポンチ頭部の張出し変形量、側壁の縮みフランジ変形量の材料それぞれの順位は、円筒形状の場合と同じである。

(4) たて断面形状の凹凸がはげしいほど、材質の変化による状態図の変化は大きい。

(5) しわ押え力の変化に伴い、形状としわ押え力の相乗効果により、各材料間の変形間の順位に変化を生ずることがある。これも円筒成形の場合にも見られた。

5. む す び

自動車車体部品の中でももつとも成形のむずかしいフロントフェンダやリヤフェンダ、ドアインサイドなどの部品を中心に、破断部分や破断危険部のたて断面の変形に鋼板材質や作業条件がどのような影響を及ぼすかを、軸対称の円筒形状の場合と比較しながら検討した。その結果、自動車車体部品のような異形状でも、破断部分が単純な円筒形状と類似の変形様式であれば、材質や作業条件などの変形状態への影響は、形状や材質、作業条件の複合効果の影響もあつて一義的な関係が見られないものもあるけれども、基本的には同一であることが確められた。

すなわち

(1) しわ押え力が低く、しわ押え面の潤滑条件がよく、楽な成形の場合には、材質が変わつても変形状態図の変化は小さく、逆に、しわ押え力が高く、しわ押え面の潤滑条件が悪いほど材質の違いによる変形状態図の差は大きく現われる。またこのようにきびしい条件になるほど、変形状態は張出し方向または板厚歪が大きくなる方

向になる。

(2) リムド鋼は、張出し側の局部変形量が大きく、絞り込み難い材料で、張出し部の破断と絞り込み部にしわの発生しやすい材料である。

(3) キルド鋼は、張出し側の変形量が小さく、絞り込みやすい材料で、加工条件の変化に鈍感な、比較的板厚ひずみが均一になりやすい材料である。

(4) OCA 材は、リムド鋼とキルド鋼との中間的な材料で、張出し側にも、絞り側にも比較的変形しやすい材料である。

以上破断断面の変形状態に対する影響を、変形状態図の図形変化として定性的な検討を行なってきた。この手

法は将来変形挙動を定量的に扱うことを可能にするものと考えられ、今後とも研究を継続して行きたい。

最後に、この研究を進めるにあたり、有益な助言やご指導をいただきました東京大学 五弓教授ならびに理化学研究所 吉田清太博士に心から感謝の意を表します。

文 献

- 1) 吉田ほか：塑性と加工，9 (1968)，90，p. 499
吉田：理研報告，44 (1968)，4，p. 169
- 2) 飯田，佐藤，山崎：塑性と加工，11 (1970) 109，p. 91
- 3) 小林，飯田，佐藤：ICSTIS Conference Preprints，II (1970)，p. 449