

技術資料

溶融 Zn-6%Al-3%Mg 合金めっき鋼板のプレス加工性

中 村 尚 文* 佐々木 宏 和** 黒 部 淳***

Press Formability of Hot-dip Zn-6%Al-3%Mg Alloy Coated Steel Sheet

Naofumi Nakamura, Hirokazu Sasaki, Jun Kurobe

Synopsis

In this paper, we show results from investigations of the press formability of various types of zinc and zinc alloy coated steel sheet mainly ZAM, highly corrosion-resistant hot-dip Zn-6%Al-3%Mg alloy coated steel sheet.

The results are as follows:

- (1) Formability of ZAM is improved by decreasing the hardness of base metal, the coating weight of plating, and increasing the lubricity of post-treatment film.
- (2) In deep drawability and stretch formability of ZAM is good, because its surface has superior lubricity to other types of zinc coated steel sheet and SPC.

1. 緒 言

溶融 Zn-6%Al-3%Mg 合金めっき鋼板（以下、ZAM 鋼板と記す）は優れた耐食性を有する^{1, 2)}ことからプレハブ住宅の構造材をはじめ道路資材や農業用資材など種々の用途に多用されている。また、自動車や家電用途向けでは、ユニクロめっきのような成形後に電気めっきを施して後処理を行う部品や、カチオン電着品の代替として、高耐食性の利点を活かした ZAM 鋼板の採用が増加している。さらに最近では自動車や家電分野において、ZAM 鋼板の高加工性³⁾を利用して深絞り加工や加工度の厳しい張出し加工用途へ用いられるケースが増えている。

そこで本報では、ZAM 鋼板の原板の加工性グレード、めっき付着量、後処理等がプレス加工性に及ぼす影響や ZAM 鋼板と各種 Zn めっき鋼板のプレス加工性について検討した結果ならびに ZAM 鋼板の自動車関連部材への適用事例について報告する。プレス加工性の検討にあたっては、実験室的に油圧プレスにより、絞り・張出し・穴広げ加工の加工様式ごとに体系的整理を行うとともに、メカプレスを用いて実プレスの成形安定性評価指標となる成形可能範囲を求めた。

2. 実験方法

2.1 供試材

表 1 および表 2 に供試材の化学成分ならびに機械的性質を示す。ZAM 鋼板の後処理は、無機系皮膜処理（以下、ZC 処理と記す）、有機系潤滑皮膜処理（以下、ZJ 処理と記す）、無処理（以下、M 処理と記す）の 3 水準、めっき付着量は片面 35, 70g/m² の 2 水準、原板は成分や機械的性質の異なる低炭素鋼板および極低炭素鋼板の 2 水準で評価した。比較材には、自動車・家電向けを想定し代表的な Zn めっき鋼板である、合金化溶融 Zn めっき鋼板（以下、GA 鋼板と記す）、非合金化溶融 Zn めっき鋼板（以下、GI 鋼板と記す）、電気 Zn めっき鋼板（以下、EG 鋼板と記す）と深絞り用冷延鋼板（以下、SPC と記す）を用いた。なお、板厚は 0.8mm とした。

表 3 に供試プレス油の明細を示す。Zn めっき鋼板用防錆油として用いられる NOX-RUST3060（パーカー興産㈱製以下、3060 と記す）と冷延・Al めっき鋼板用防錆油として用いられるダフニーオイルコート Z - 5（出光興産㈱製以下、Z5 と記す）を用いた。

*加工技術研究部 加工第三研究チーム 主任研究員
**加工技術研究部 加工第三研究チーム 主任研究員
***加工技術研究部 加工第三研究チーム チームリーダー

表 1 供試材の化学成分

Table1 Chemical compositions of base metals (mass%)

No.	供試材	後処理	めっき 付着量 (g/m ²)	C	Si	Mn	P	S	Al	Ti
①	ZAM	ZC	70	0.038	0.002	0.25	0.013	0.009	0.017	—
②				0.007	0.008	0.15	0.012	0.004	0.037	0.08
③				0.002	0.008	0.14	0.007	0.004	0.040	0.08
④		ZJ	35	0.002	0.011	0.16	0.007	0.004	0.036	0.08
⑤		M		0.002	0.011	0.16	0.007	0.004	0.036	0.08
⑥	GA	M	45	0.003	0.005	0.15	0.014	0.006	0.032	0.07
⑦	GI	ZC	60	0.007	0.006	0.15	0.015	0.008	0.041	0.08
⑧	EG	ZC	20	0.002	0.006	0.15	0.014	0.007	0.038	0.06
⑨	SPC	—	—	0.003	0.006	0.15	0.013	0.007	0.032	0.08

注) めっき付着量は片面表示

表 2 供試材の機械的性質

Table2 Mechanical properties of specimens

No.	供試材	後処理	めっき 付着量 (g/m ²)	0.2% 耐力 (N/mm ²)	引張 強さ (N/mm ²)	伸び (%)	n 値	r 値	備考
①	ZAM	ZC	70	255	362	36.2	0.186	1.23	低炭素鋼板
②				163	318	45.9	0.236	1.67	
③				157	301	49.4	0.246	1.95	
④		ZJ	35	159	299	47.8	0.236	1.99	
⑤		M		159	299	47.8	0.236	1.99	
⑥	GA	M	45	177	318	45.2	0.223	1.58	極低 炭素鋼板
⑦	GI	ZC	60	197	341	40.2	0.216	1.76	
⑧	EG	ZC	20	172	313	47.4	0.247	1.91	
⑨	SPC	—	—	185	321	45.7	0.225	2.02	

注) 試験片は JIS 5 号引張試験片を使用し、L 方向、めっき付着量は片面表示 板厚は 0.8mm

表 3 供試プレス油の特徴

Table3 Characteristics of lubricating oil

記号	製品名	メーカー名	粘度 (mm ² /s)	備考
3060	NOX-RUST 3060	パーカー 興産	10	Zn めっき鋼板用防錆油
Z5	ダフニーオイルコート Z-5	出光興産	16	冷延・Al めっき鋼板用防錆油 (S,N 分の含有がほとんどない)

2.2 プレス加工性の実験室的評価方法

2.2.1 絞り加工性

絞り加工とは、平面ブランクをパンチとダイを用いて板の外周部（以下、フランジ部と記す）を縮みフランジ変形させてダイ内部へ絞り込み、継ぎ目のない中空の容器に加工する塑性加工である⁴⁾。成形過程においてパンチ肩部には、フランジ部の材料をダイス内へ引き込むために必要な力（成形力）が作用しており、絞り加工性の優劣に対してはパンチ肩部における材料の破断強度とフランジ部における材料の流入抵抗の大小が大きく影響する。すなわち、フランジ部の流入抵抗がパンチ肩部の破断強度を上回ると割れが生じやすくなり、逆にパンチ肩部の破断強度がフランジの流入抵抗を上回ると、割れが

回避されて絞り加工が可能となる。したがって、絞り加工性を向上させるにはパンチ肩部における材料の破断強度を高いレベルに維持したままフランジの流入抵抗を小さくすることが有効である。

表 4 に絞り加工条件を、図 1 に絞り加工性の試験方法を示す。絞り加工性は、最大加圧能力 196kN の油圧式深絞り試験機を用い、平頭パンチによる円筒絞り加工により評価した。加工性の優劣は、破断することなく絞り抜ける最大ブランク径 D とパンチ径 D_p の比で表される限界絞り比（以下、L.D.R. と記す）で判断した。L.D.R. は値が大きいほど大きなブランク径での絞り込みが可能なることを表し、絞り加工性に優れることを意味している。

表 4 絞り加工条件

Table4 Conditions for deep drawing test

	条 件
パンチ径 (D _p)	40 mm
ダイ径 (D _d)	42 mm
パンチ肩半径 (R _p)	5 mm
ダイ肩半径 (R _d)	5 mm
しわ押え力 (BHF)	ジーベルの半理論式で補正
試験速度 (V _p)	60 mm/min
プレス油	Z5

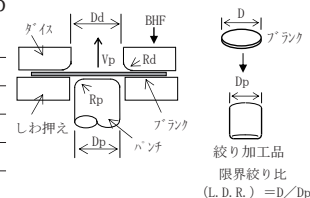


図 1 絞り加工方法

Fig.1 Schematic representation of deep drawing test.

2.2.2 張出し加工性

張出し加工とは、フランジ部の材料がダイス内部へ流入のない状態でパンチ部の材料を伸び変形のみで塑性変形させる加工であり⁴⁾、パンチが進行するとともに板厚が減少し、材料の伸び変形が限界に達したとき破断に至る。

表 5 に張出し加工条件を、図 2 に張出し加工性の試験方法を示す。試験には最大加圧能力 196kN の油圧式深絞り試験機を用いて球頭パンチによる球頭張出し加工を行い、板厚を貫通する割れが発生した時の張出し加工高さ（以下、限界張出し高さ⁴⁾と記す）から張出し加工性の優劣を評価した。

表 5 張出し加工条件

Table5 Conditions for stretch forming test

	条 件
パンチ径 (D _p)	40 mm
ダイ径 (D _d)	42 mm(ビード付)
パンチ肩半径 (R _p)	20 mm
ダイ肩半径 (R _d)	5 mm
しわ押え力 (BHF)	90kN
試験速度 (V _p)	5 mm/min
ブランクサイズ	92mm
プレス油	Z5

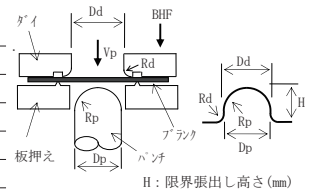


図 2 張出し加工方法

Fig.2 Schematic representation of stretch forming test.

2.2.3 穴広げ加工性

穴広げ加工とは、中央部に円孔を設けた平面ブランクのフランジ部の材料がダイス内部へ流入することなく、パンチ底部の円孔が円周方向に伸び変形しながら縦壁方向に流出する変形であり、伸びフランジ変形の一つである⁴⁾。今回用いた円錐パンチの穴広げ加工の成形限界は、穴広がりに伴う穴縁の伸び変形能が限界に達し、くびれあるいは亀裂が生じることにより決定される⁵⁾。

表6に穴広げ加工条件を、図3に穴広げ加工性の試験方法を示す。試験には最大加圧能力196kNの油圧式深絞り試験機を用い、60°円錐パンチによる穴広げ加工を行った。穴広げ加工性の優劣は、あらかじめ設けた初期穴径 D_0 と加工によって穴縁に板厚を貫通する割れが発生した時の穴直径 D_1 から求めた穴広げ率 λ によって評価した。穴広げ加工性は穴縁部の材料の延性により支配されるが、打抜き加工の打抜きクリアランスやかえりの方向などの影響を受けるため⁶⁾、打抜きクリアランスは12%とし、かえりの方向は穴広げ加工性が劣る傾向となるダイス側に統一して試験を実施した。なお、穴広げ率が大きいほど穴広げ加工性は優れることを意味している。

表6 穴広げ加工条件

Table6 Conditions for bore-expand test

	条 件
パンチ形状	円錐 (60°)
パンチ径 (Dp)	40 mm
ダイ径 (Dd)	42 mm
ダイ肩半径 (Rd)	5 mm
しわ押え力 (BHF)	30 kN
初期穴径 (D_0)	9.8mm
打抜きクリアランス	12%
かえりの方向	ダイス側
試験速度 (Vp)	5mm/min
プレス油	3060

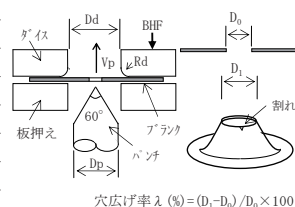


図3 穴広げ加工方法

Fig.3 Schematic representation of bore-expand test.

2.3 成形可能範囲の評価

表7に成形可能範囲を検討した際の試験条件を示す。ブランク径を250mm（絞り比：2.43）と大きくして、張出し要素の強い円筒絞り加工を行い、しわが発生しない下限のしわ押さえ力と破断が発生しない上限のしわ押さえ力の範囲を成形可能範囲とした。なお、成形可能範囲は広いほど金型、材料、プレス機などに起因する変動要因による不具合の発生が少なくなるため、実プレスでの成形の安定性に優れていると言える。

表7 成形可能範囲試験条件

Table7 Conditions for drawability test

	条 件
パンチ径 (Dp)	103 mm
ダイ径 (Dd)	105 mm
パンチ肩半径 (Rp)	10 mm
ダイ肩半径 (Rd)	10 mm
しわ押え力 (BHF)	20 ~ 260kN
試験速度 (Vp)	333 mm/s
ブランク径 (D)	250mm
成形高さ (H)	55,65mm
プレス油	Z5

図4に成形可能範囲の検討におけるしわ、成形可能（しわおよび割れのない状態）、割れの一例を示す。試験には最大加圧能力1960kNのメカプレスを使用し、成形高さが55または65mmの成形を行って、成形可能範囲におよぼす供試材の影響を評価した。

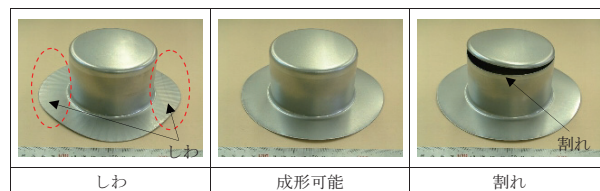


図4 円筒絞り加工後のフランジしわと割れ発生状態

Fig.4 Shape of formed artifact of cylindrical drawing and appearance of flange wrinkles and crack.

2.4 動摩擦係数測定方法

プレス加工は、金型（工具）を使って被加工材である材料を所望の形状に変形させるものであり、変形の際には金型と材料の金属表面どうしが擦れあって摩擦による摺動抵抗力が生じる。摺動抵抗力の増大は、多くの場合で変形を阻害することとなる。この金型と材料間に生じる摺動抵抗力を低減することにより、製品のかじりや金型への焼付きを防止すると同時に、成形力が低減し成形限界が向上することが知られている⁷⁾。このように潤滑がプレス加工において非常に大きな役割を果たしている。本報では供試材の摺動特性を評価する指標として、表面の動摩擦係数を測定した。

表8に動摩擦係数 μ の測定条件を、図5に動摩擦係数 μ の測定方法を示す。動摩擦係数 μ は平板摺動試験によって測定した引き抜き力 F と押し付け力 P から式(1)により算出した。

$$\mu = F/2P \quad \cdots (1)$$

押し付け力は、1.2および4kN（押し付け圧力：0.72, 1.45および2.90N/mm²）で試験を行い、これらの平均値を動摩擦係数 μ とした。

表 8 平板摺動試験条件

Table 8 Conditions for flat die sliding test
for dynamic friction coefficient

	条 件
供試材寸法	0.8t × W30mm × L300mm
押し付け面積	46 × 30mm ²
押し付け力	1, 2, 4kN
押し付け圧力	0.72, 1.45, 2.90N/mm ²
引き抜き速度	1000mm/min
金型材質	SKD11
金型表面粗さ	# 1000 毎回研磨
プレス油	Z5

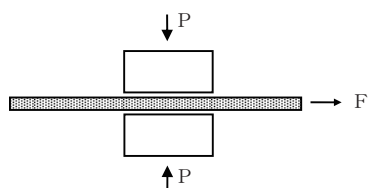


図 5 平板摺動試験による動摩擦係数の測定方法

Fig.5 Measurement method of dynamic friction coefficient
by flat die sliding test.

3. 実験結果および考察

3.1 プレス加工性の実験室的評価

3.1.1 絞り加工性

(1) 絞り加工性に及ぼす各種条件の影響

図 6 に ZAM 鋼板の各原板における L.D.R. を示す。低炭素鋼板よりも極低炭素鋼板の L.D.R. が大きくなっており、絞り加工性が優れていることを示す。極低炭素鋼板は軟質で耐力も低いことから、縮みフランジ変形やダイ肩部での曲げ・曲げ戻し変形に要する変形力が下がりフランジの流入抵抗が小さくなる。また、n 値も高いことから、割れ危険部位であるパンチ肩部ではひずみが広範囲に分散することとなり、強度が低下せずに絞り加工性が向上したものと考えられる。

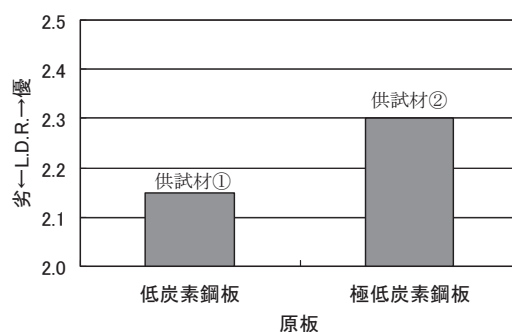


図 6 ZAM 鋼板の各原板における限界絞り比

Fig.6 Limiting drawing ratio of each base metal of ZAM in deep drawing test.

図 7 に ZAM 鋼板の各めっき付着量における L.D.R. を示す。めっき付着量 70g/m²は、35g/m²に比べて絞り加工性が低下していた。そこで、絞り加工性とめっき付着量の関係を明らかにするため、めっき付着量の異なる ZAM 鋼板のめっき除去前後における r 値の変化率 ((めっき除去前の r 値 - めっき除去後の r 値) / めっき除去後の r 値 × 100) を調べた。図 8 に結果を示す。なお、供試材には供試材②相当の極低炭素鋼板原板を用いた。めっき付着量が増えるほど、r 値変化率が減少することがわかった。これは、めっきの厚みが増すほど幅方向に縮みにくくなることを示しており、めっき皮膜が厚くなるほど縮みフランジ変形の際の抵抗が大きくなり、流入抵抗が増加する。その結果 L.D.R. が低下するものと推測される。

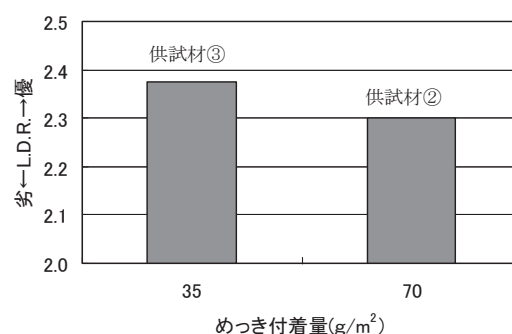


図 7 ZAM 鋼板の各めっき付着量における限界絞り比

Fig.7 Limiting drawing ratio of each coating weight of ZAM in deep drawing test.

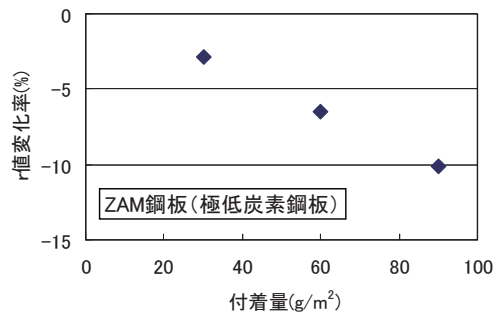


図 8 ZAM 鋼板のめっき除去前後における r 値変化率

Fig.8 Rate of change of Lankford value of ZAM before and after coat removal.

図 9 に ZAM 鋼板の各後処理における L.D.R. を、図 10 に ZAM 鋼板の各後処理の動摩擦係数 μ と L.D.R. との関係を示す。動摩擦係数 μ が低くなるにつれ L.D.R. が高くなる傾向が見られた。無塗油加工の場合、潤滑皮膜処理されていない ZC 処理材や無処理の M 処理材は、潤滑皮膜処理されている ZJ 処理材に比べて絞り加工性が劣っている。これは M 処理材や ZC 処理材は、ZJ 処理材に比べてフランジが流入する際のblank表面と金型との摩擦抵抗が大きくなるために加工性が低下したものと推測される。一方、プレス油を塗布した場合、ZJ 処理材は、M 処理材や ZC 処理材に比べて絞り加工性が低下していた。絞り加工では一般的に潤滑性が高くなるとフランジ部の流入抵抗が減少する効果が現れて絞り加工性が向上する。しかし潤滑皮膜処理された ZJ 処理材にプレス油を塗布した場合、潤滑性が著しく高くなってフランジ側よりもパンチ側の潤滑性が向上したことが優先し、その結果パンチ肩部の材料流出が促進されてパンチ肩部の破断強度が減少したことによって絞り加工性が低下したものと考えられる。

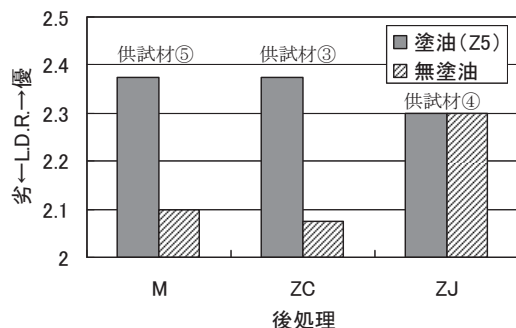


図 9 後処理を施した ZAM 鋼板における限界絞り比

Fig.9 Limiting drawing ratio of each post treatment in deep drawing test.

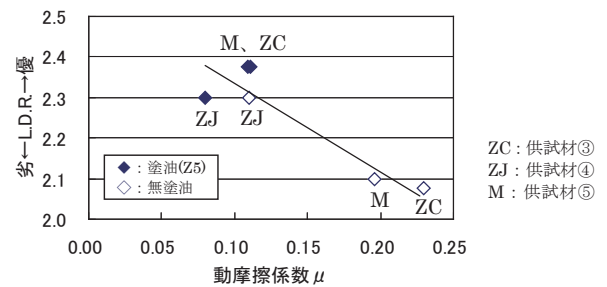

 図 10 ZAM 鋼板の動摩擦係数 μ と限界絞り比との関係

Fig.10 Relation between dynamic friction coefficient and limiting drawing ratio.

図 11 に各供試材における L.D.R. を、図 12 に各供試材の r 値と L.D.R. の関係を示す。一般的に r 値は L.D.R. とよい相関があることが知られており⁸⁾、r 値の増加に伴って L.D.R. が向上する傾向が認められた。一方、今回実験に用いた ZAM 鋼板は r 値が比較的低かったにもかかわらず、r 値が高かった EG や SPC と同等の L.D.R. を示すことが分かった。この現象については以下に記す要因が影響しているものと考えられる。

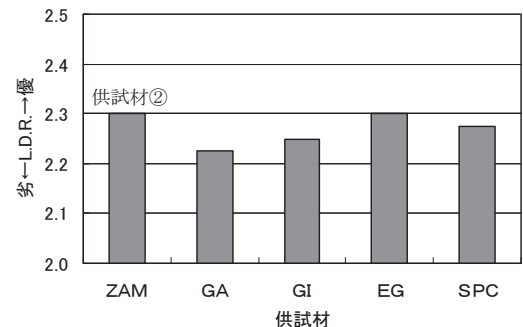


図 11 各供試材における限界絞り比

Fig.11 Limiting drawing ratio of specimens in deep drawing test.

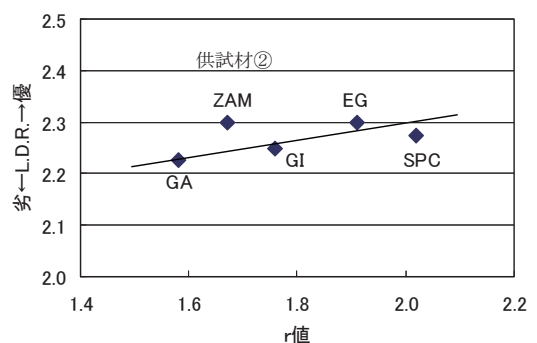


図 12 各供試材の r 値と限界絞り比の関係

Fig.12 Relation between Lankford value and limiting drawing ratio.

(2) ZAM 鋼板の絞り加工性が優れる要因

絞り加工性を向上させるにはフランジの流入抵抗を抑制してやれば良いが、前述のように、原板の r 値を上げてフランジの変形抵抗を下げる方法の他に、めっき表面の動摩擦係数を下げてフランジの摺動抵抗を下げる方法があり、自動車部品を用いた加工性検討では、摩擦係数 0.01 の効果は r 値 0.1 の効果に対応しているとの報告がなされている⁸⁾。

図 13 に平板摺動試験における各供試材の押し付け圧力と引き抜き力の関係を示す。ZAM 鋼板の動摩擦係数 μ は、各種 Zn めっき鋼板や SPC に比べ低い結果となった。図 14 に各供試材の動摩擦係数 μ と L.D.R. の関係を示す。ばらつきはあるものの動摩擦係数 μ の低いめっき鋼板ほど L.D.R. が高い傾向のあることがわかった。この結果から、ZAM 鋼板の絞り加工性が他の Zn めっき鋼板に比べて優れていたのは、めっき表面の動摩擦係数 μ が低く、フランジの摺動抵抗が小さいことが要因として考えられた。以下に ZAM 鋼板の動摩擦係数 μ が小さい理由について述べる。

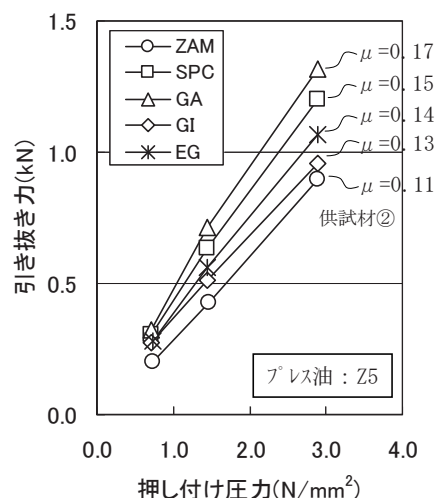


図 13 各供試材の押し付け圧力と引き抜き力の関係

Fig.13 Relation between sheet holding force and drawing force of specimens.

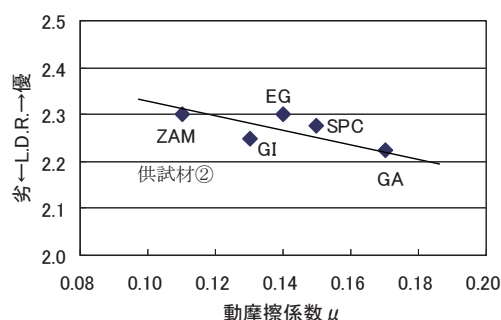


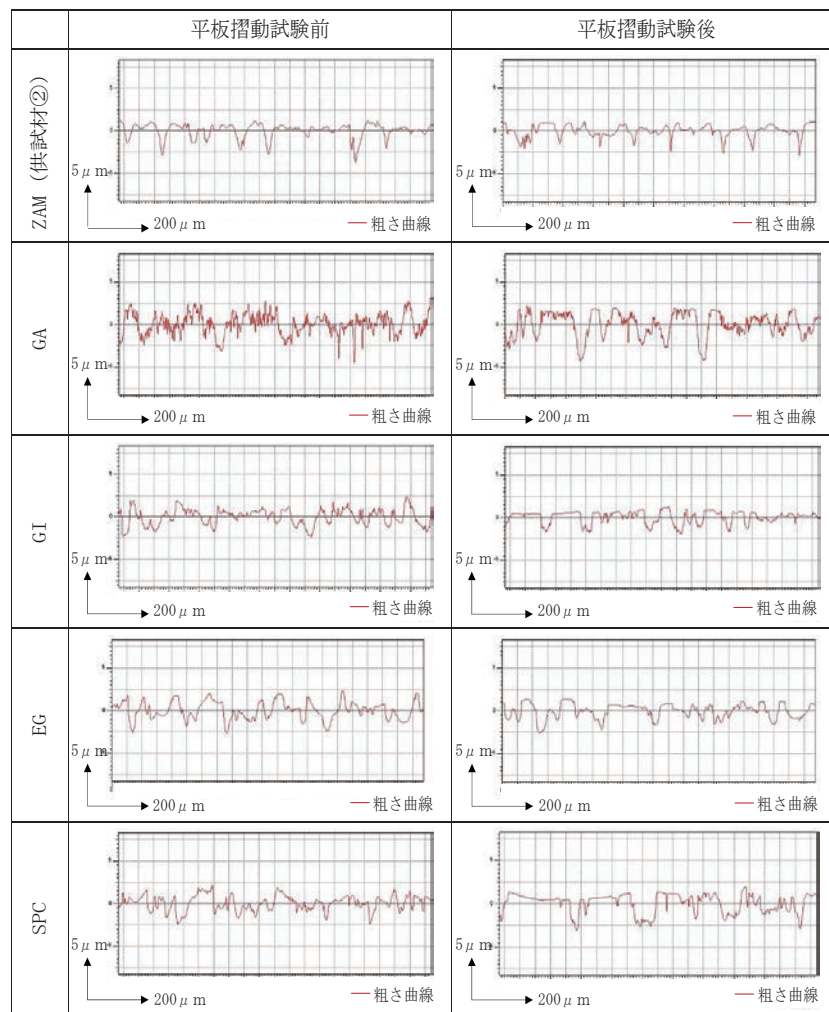
図 14 各供試材の動摩擦係数 μ と限界絞り比の関係

Fig.14 Relation between dynamic friction coefficient and Limiting drawing ratio.

図 15 に各供試材の平板摺動試験前後の表面プロフィールを示す。平板摺動試験前の表面プロフィールより、ZAM 鋼板以外の供試材は凹凸形状であるのに対して、ZAM 鋼板は比較的凸部の存在が少なく、滑らかな表面を呈していた。表面の凹凸の度合いを表す表面性状パラメーターの一つにスキューネス R_{sk} (JIS B 0601: 2001, 以下、 R_{sk} と記す) がある。

図 16 に R_{sk} の概念図を示す。この数値が正の場合は凸部が多く、負の場合は凹部が多いことを意味しており、一般的に R_{sk} が負の値を示すほど潤滑性に優れる表面であることを表している。図 15 の各供試材の平板摺動試験前後の表面プロフィールを見ると、ZAM 鋼板を除いていずれも摺動試験後に表面の凸部が平滑化されていた。

図 17 に各供試材の平板摺動試験前後の R_{sk} を示す。 R_{sk} が小さい ZAM 鋼板はもともと凸部の存在が少ないので、平板摺動試験後も R_{sk} の変化は少ないが、他の Zn めっき鋼板および SPC はいずれも R_{sk} が大きく減少していた。これは金型と材料の表面が摺動する際に、材料の凸部が物理的に平滑化されたことを意味しており、この平滑化される量つまり、平板摺動試験前後での R_{sk} の減少が大きいほど、摺動抵抗が高くなるものと考えられる。金型と材料の表面が摺動する際に、表面に凸部が多いと摺動時に面圧が高くなり平滑化される量が増えて摺動抵抗が増大する原因となる⁷⁾。一方、ZAM 鋼板の場合は、もともと凸部が少なく滑らかな表面であるため、金型と材料が広範囲で接触して接触時の面圧が低くなる。その結果、平滑化されることによる抵抗の増加が少なく、摺動性の向上に寄与したものと考えられる。



(押し付け力：4kN)

図 15 各供試材の平板摺動試験前後の表面プロフィール

Fig.15 Surface profile of specimens before and after flat die sliding test.

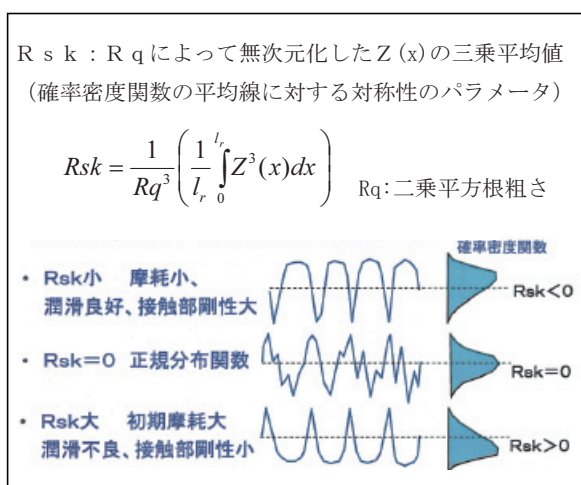

 図 16 表面性状パラメータ：スキューネス R_{sk} の概念図

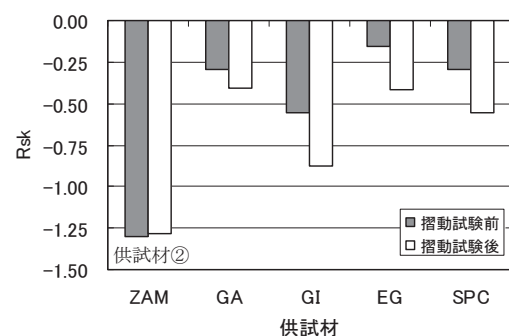
 Fig.16 Conceptual diagram of Skewness R_{sk} .

 図 17 各供試材の平板摺動試験前後の R_{sk}

 Fig.17 R_{sk} before and after flat die sliding test.

3.1.2 張出し加工性

図 18 に ZAM 鋼板の各原板における限界張出し高さを示す。低炭素鋼板よりも極低炭素鋼板の限界張出し高さが高くなっており、張出し加工性が優れていることがわかる。これは極低炭素鋼板の方が軟質で伸び、 n 値の値が大きくなることに起因している。

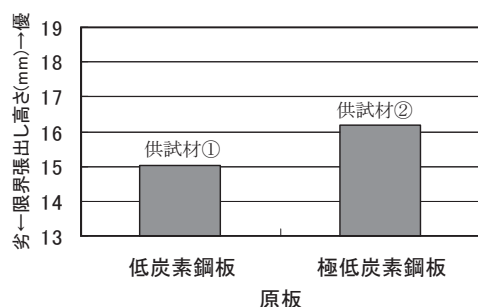


図 18 ZAM 鋼板の各原板における限界張出し高さ

Fig.18 Forming height limit of specimens of ZAM in stretch forming test.

図 19 に ZAM 鋼板の各めっき付着量における限界張出し高さを示す。張出し加工では、めっき付着量に変化しても張出し高さにはほとんど影響が見られなかった。これは、張出し加工のように二軸引張り変形の場合には、いずれの方向も引張り変形となるためにめっき金属の変形を拘束することがなく原板の延性が反映されるためと考えられる。

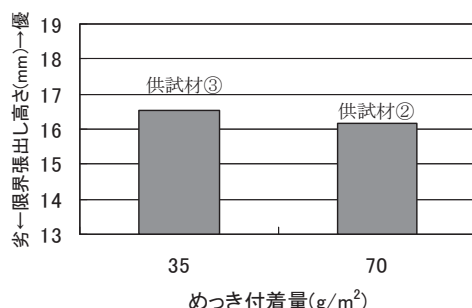


図 19 ZAM 鋼板の各めっき付着量における限界張出し高さ

Fig.19 Forming height limit of each coating weight of ZAM in stretch forming test.

図 20 に ZAM 鋼板の各後処理における限界張出し高さを示す。潤滑皮膜処理されている ZJ 処理材は、M 処理材や ZC 処理材に比べて張出し加工性が優れていた。これは、パンチに接触している ZJ 処理材表面の潤滑性が高いことからひずみが広範囲に分散するためと考えられる。

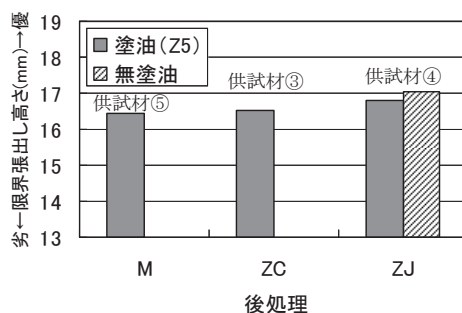


図 20 ZAM 鋼板の各後処理における限界張出し高さ

Fig.20 Forming height limit of each post treatment of ZAM in stretch forming test.

図 21 に各供試材における限界張出し高さを示す。ZAM 鋼板の張出し加工性が優れるのは、絞り加工性と同様に他の供試材に比べて動摩擦係数 μ が低いことが要因の一つと考えられる。

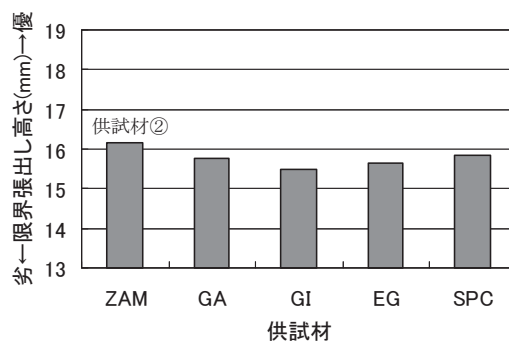


図 21 各供試材における限界張出し高さ

Fig.21 Forming height limit of specimens in stretch forming test.

3.1.3 穴広げ加工性

図 22 に ZAM 鋼板の各原板における穴広げ率を示す。硬質で延性の低い低炭素鋼板よりも軟質で延性の高い極低炭素鋼板の穴広げ率が高い傾向を示した。図 23 ~ 25 に穴広げ率に及ぼす ZAM 鋼板のめっき付着量、ZAM 鋼板の後処理の影響及び各供試材の穴広げ率をそれぞれ示す。いずれも穴広げ加工性におよぼす影響は認められなかった。今回、穴広げ性に差が認められなかったのは、穴広げ性が潤滑の影響をほとんど受けない穴縁の伸び変形により決定されることなどが影響しているものと考えられる。

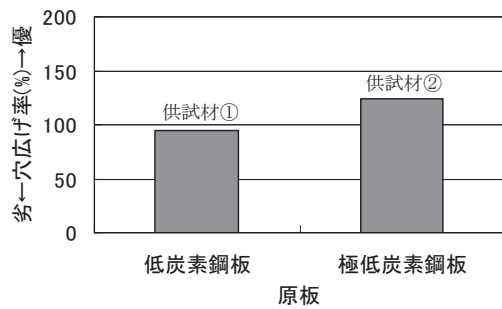


図 22 ZAM 鋼板の各基板における穴広げ率

Fig.22 Bore-expand ratio of specimens of ZAM.

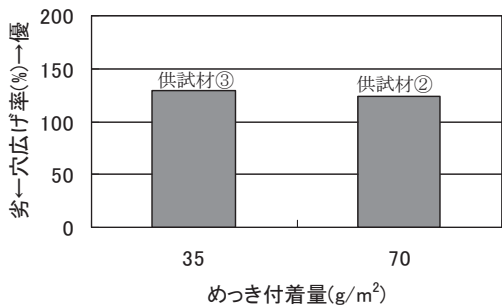


図 23 ZAM 鋼板の各めっき付着量における穴広げ率

Fig.23 Bore-expand ratio of each coating weight of ZAM.

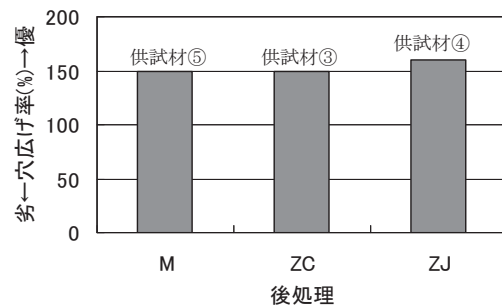


図 24 ZAM 鋼板の各後処理における穴広げ率

Fig.24 Bore-expand ratio of each post treatment of ZAM.

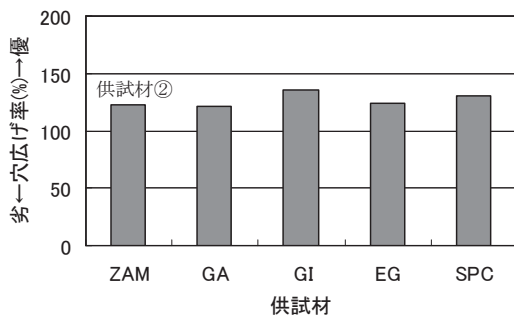


図 25 各供試材における穴広げ率

Fig.25 Bore-expand ratio of specimens.

3.2 成形可能範囲

図 26 に ZAM 鋼板の各めっき付着量における成形可能範囲を示す。前述の絞り加工性の結果と同様にめっき付着量が 70g/m² の場合は、35g/m² に比べて成形可能な最大しわ押え力が低下して成形可能範囲が狭くなった。

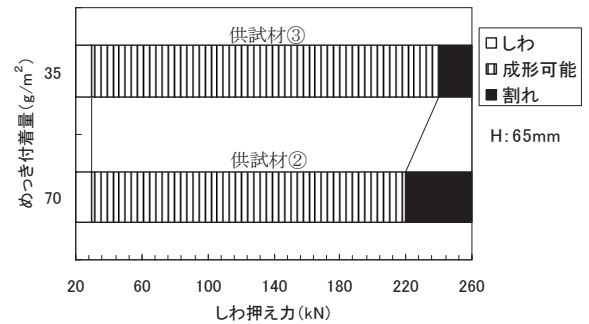


図 26 ZAM 鋼板の各めっき付着量の円筒絞り加工における成形可能範囲

Fig.26 Drawable condition range of each coating weight of ZAM in cylindrical drawing test.

図 27 に ZAM 鋼板の各後処理における成形可能範囲を示す。潤滑皮膜処理を施している ZJ 処理材は、無処理の M 処理材や無機皮膜処理の ZC 処理材よりも成形可能範囲が広がった。なお、ZJ 処理材は最大しわ押え力の 260kN（プレス機能力上限）でも割れずに成形可能であった。

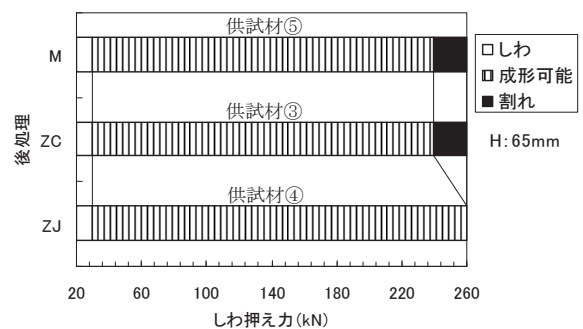


図 27 ZAM 鋼板の各後処理の円筒絞り加工における成形可能範囲

Fig.27 Drawable condition range of each post treatment of ZAM in cylindrical drawing test.

図 28 に各供試材の成形可能範囲を示す。ZAM 鋼板は他の供試材よりも成形可能範囲が広く、 r 値が比較的高かった SPC や EG と同等レベル以上の成形可能範囲を示すことが分かった。この結果から、ZAM 鋼板は実プレスでの成形の安定性に優れためっき種であると考えられる。自動車部品の実プレス加工においても、原板の

機械的性質に差がなければ、ラボ実験にて求めた動摩擦係数 μ の低いものほど実プレスでの成形可能範囲が広くなるとの報告がある⁹⁾。したがって、ZAM 鋼板の成形可能範囲が広い理由も、動摩擦係数 μ が低いことによりフランジ流入の際の抵抗が低く抑えられる効果によるものと考えられる。

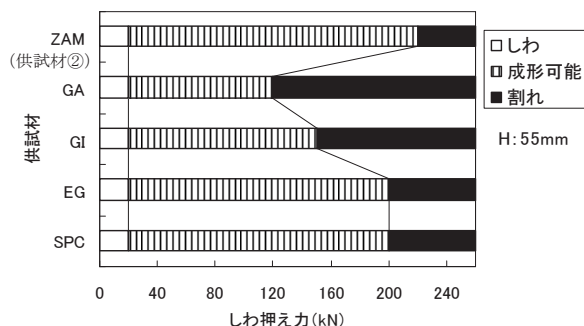


図 28 各供試材の円筒絞り加工における成形可能範囲

Fig.28 Drawable condition range of specimens in cylindrical drawing test.

4. ZAM 鋼板の適用事例

ZAM 鋼板の優れたプレス加工性を活かした事例として、図 29 に自動車関連部材への適用例を示す。それぞれ ZAM 鋼板の優れた耐食性と加工性を活かして製品化されている。



(パワーウィンドウモーターケース部材)



(オイルフィルタケース部材)

図 29 自動車関連部材への ZAM 鋼板の適用例

Fig.29 Examples of application of ZAM to automotive appliance parts.

5. 結 言

優れた耐食性を有する ZAM 鋼板のプレス加工性に及ぼす原板の加工性グレード、めっき付着量および後処理の影響を検討し、各種 Zn めっき鋼板と比較した。得られた結果は以下の通りである。

- (1) ZAM 鋼板において原板が軟質で伸びや n 値が大きい方が絞り加工性、張出し加工性、穴広げ加工性が優れていた。
- (2) ZAM 鋼板のめっき付着量が比較的少ない 35g/m²で

は 70g/m²に比べて絞り加工性に優れ、成形可能範囲が広がった。

- (3) 潤滑皮膜処理 (ZJ 処理) を施した ZAM 鋼板は、絞り加工性、張出し加工性に優れ、成形可能範囲が広がった。
- (4) ZAM 鋼板は他の Zn めっき鋼板や SPC と比べて優れた摺動特性を有するため、高い絞り加工性や張出し加工性が高く成形可能範囲も広がることからプレス加工性に優れためっき鋼板である。

参考文献

- 1) 小松厚志, 泉谷秀房, 辻村太佳夫, 安藤敦司: 日新製鋼技報, 81 (2001), 10.
- 2) 清水剛, 吉崎布貴男, 三吉泰史, 安藤敦司: 日新製鋼技報, 85 (2004), 11.
- 3) 中村尚文, 桜田康弘, 森川茂, 朝田博: 日新製鋼技報, 88 (2007), 36.
- 4) 金属塑性加工用語編集委員会: 図解金属塑性加工用語辞典, 日刊工業新聞社, 東京, (1974), 10.
- 5) 吉田清太: 薄板のプレス成形の成形域区分と体系化に関する研究, (1959), 133.
- 6) 竹添明信, 川瀬尚男: 日新製鋼技報, 35 (1976), 79.
- 7) 片岡征二: プレス加工のトライボロジー, 日刊工業新聞社, 東京, (2002), 13.
- 8) 薄鋼板成形技術研究会: プレス難易ハンドブック第 3 版, 日刊工業新聞社, 東京, (2007), 211.
- 9) 薄鋼板成形技術研究会: プレス成形難易ハンドブック第 2 版, 日刊工業新聞社, 東京, (1997), 324.