

自動車用高潤滑合金化溶融亜鉛めっき鋼板「JAZ[®]」の 高強度鋼板への適用に関する検討 (JAZ[®]: JFE Advanced Zinc)

Study on Application of “JAZ[®]”(JFE Advanced Zinc) to High-strength Galvannealed Steel Sheet

星野 克弥 HOSHINO Katsuya JFE スチール スチール研究所 表面処理研究部 主任研究員 (副課長)
樋貝 和彦 HIGAI Kazuhiko JFE スチール スチール研究所 薄板加工技術研究部 主任研究員 (課長)
平 章一郎 TAIRA Shoichiro JFE スチール スチール研究所 表面処理研究部 主任研究員 (課長)・工博

要旨

JFE スチールが開発した高潤滑合金化溶融亜鉛めっき鋼板「JAZ[®]」(JFE Advanced Zinc) を、高強度合金化溶融亜鉛めっき鋼板 (以下、GA ハイテン) へ適用することによる、プレス成形性向上について検討した。「JAZ[®]」は、GA ハイテンへの適用も可能であり、自動車用部品のプレス成形を想定した摺動試験条件において、従来の GA ハイテンよりも優れた摺動特性を示した。「JAZ[®]」を適用した GA ハイテンは、小型モデル成形試験において成形性向上が認められ、その効果を機械的特性に換算すると、伸びで 2~4% 相当、ランクフォード値 (以下、 \bar{r} 値) で 0.2~0.3 相当と見積もられた。さらに、実スケールプレス成形性評価で、「JAZ[®]」を適用した GA ハイテンは従来の GA ハイテンよりも優れたプレス成形性が認められた。

Abstract:

Influence of “JAZ[®]”(JFE Advanced Zinc), which was developed by JFE Steel, on press formability of high-strength galvannealed steel sheet was investigated. Friction coefficient of “JAZ[®]” is lower than that of conventional galvannealed steel sheet when it is applied to high-strength galvannealed steel sheet under simulating conditions of press forming of automobile body parts. In laboratory-scale press-forming tests, it was found that the press formability of high-strength galvannealed steel sheet improved by the application of “JAZ[®]”. It can be estimated that the effect of “JAZ[®]” on press formability is 2-4% in elongation and 0.2-0.3 in Lankford Value (\bar{r} -value). In addition, high-strength galvannealed steel sheet with “JAZ[®]” technology shows excellent press formability in actual press-forming tests.

1. はじめに

近年、CO₂ の排出抑制につながる自動車の車体軽量化と衝突安全性向上、耐食性を両立させるため、車体の構造骨格用部材への高強度合金化溶融亜鉛めっき鋼板 (以下、GA ハイテン) の適用が進んでいる。鋼板は高強度化にともない、成形性に影響する伸びや、ランクフォード値 (以下、 \bar{r} 値) といった機械的特性が低下することが知られており、GA ハイテンのさらなる適用拡大にあたっては、プレス成形性の向上が最大の課題であると考えられる。このような背景の下、伸びや \bar{r} 値などの、機械的特性に優れた GA ハイテンの研究・開発が多く報告¹⁾ されている一方で、GA ハイテンの摩擦係数低減も、プレス成形性向上の手段の一つと考えることができる。

これまでに、軟鋼板を母材とした合金化溶融亜鉛めっき鋼板 (以下、GA) の摩擦係数を低減させる技術として、GA

上層に Fe-Zn 系電気めっきを施した二層めっき型 GA²⁾ や、薄膜型 Ni-Fe-O 系潤滑処理³⁾、リン酸系処理液を塗布するリン酸塩系皮膜⁴⁾ など、多くの研究・開発が実施され、実用化されてきた。JFE スチールでは、従来の固形潤滑皮膜を被覆する方法とは全く異なる発想で、表層をナノスケールレベルで改質・制御することにより優れた摺動特性を実現し、プレス成形性に優れた高潤滑 GA 鋼板「JAZ[®]」(JFE Advanced Zinc) を開発し、実用化に至っている⁵⁻⁷⁾。

軟鋼板を母材とした「JAZ[®]」は、JFE スチール東日本製鉄所 (千葉地区) および西日本製鉄所 (福山、倉敷地区) の計 5 ラインで量産体制を確立しており、ティッセン・クルップ・スチール社 (ドイツ) および広州 JFE 鋼板有限公司 (中国) への技術供与を完了し、さらに JFE スチールガルバナイジング社 (タイ) においても製造を予定しているグローバル調達性に優れた商品であり、すでに日系自動車メーカーを中心とした多くのお客様に使用されている。軟鋼板を母材とした「JAZ[®]」は、従来の GA より優れたプレス成形性を

有し、その他の総合特性は従来のGAと同等である^{8,9)}。

本稿では、GAハイテンのプレス成形性向上を目的に、軟鋼板を母材として自動車用部品としての実績を有する「JAZ[®]」を、GAハイテンへ適用した場合の摺動特性およびプレス成形性について述べる。

2. 摺動特性

2.1 自動車部品用鋼板に求められる摺動特性

自動車部品は形状が複雑であるため、部品の種類や、同一部品内においても部位の変化により、摺動条件が異なることが知られている。樋貝らは、**図1**に示すように、代表的な自動車部品(6部品, 10ヶ所)のプレス成形における破断危険部位の摺動速度と面圧を解析した結果から、摺動条件は部品形状によらず、成形モードごとに分類することができ、大きく次の3グループに分類できることを示している¹⁰⁾。

1つ目はビード通過部などの流入部である。摺動速度が200~1000 mm/minと速く、面圧も50~150 MPaと高い(グループA)。2つ目は絞り成形などにおけるパンチ肩部およびパンチ面上で材料が移動する比較的接触面積が広い部位であり、摺動速度は60~500 mm/min、面圧は4~20 MPaである(グループB)。3つ目は、張出し成形部のように、金型上での材料移動が少なく、接触面圧も非常に低い部位であり、摺動速度は10~40 mm/minと遅く、面圧も1~15 MPaと低い(グループC)。

さらに、樋貝らはグループA, Bでは材料の移動距離が比較的長いことから、動摩擦係数が支配的であり、グループCでは材料の移動距離が反対に短いことから、静止摩擦係数が支配的であることを示している¹⁰⁾。

すなわち、**図1**中に示すグループA~Cに相当する3条

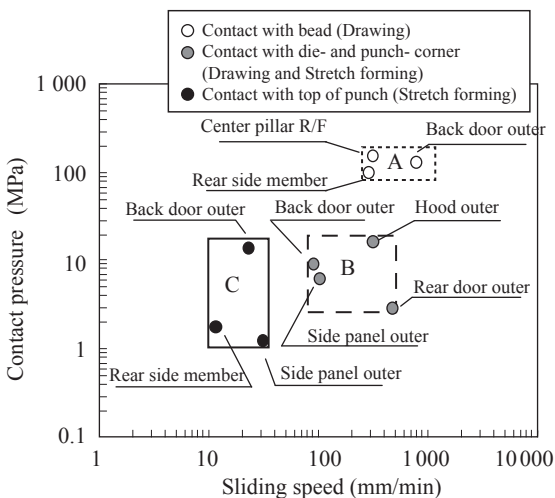


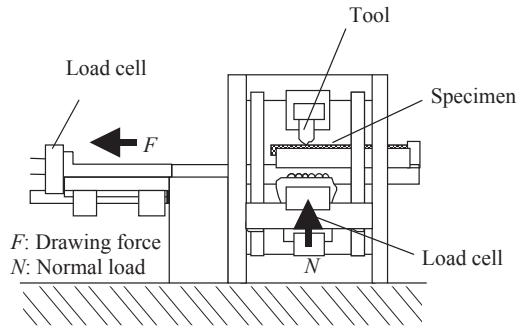
図1 代表的な自動車部品のプレス成形における摺動速度と面圧の関係

Fig. 1 Relationship between sliding speed and contact pressure of press forming of typical automobile body parts

件の摺動試験を実施することで、自動車部品のプレス成形性に必要な摺動特性を評価することが可能と考えられる。

2.2 「JAZ[®]」を適用したGAハイテンの摺動特性

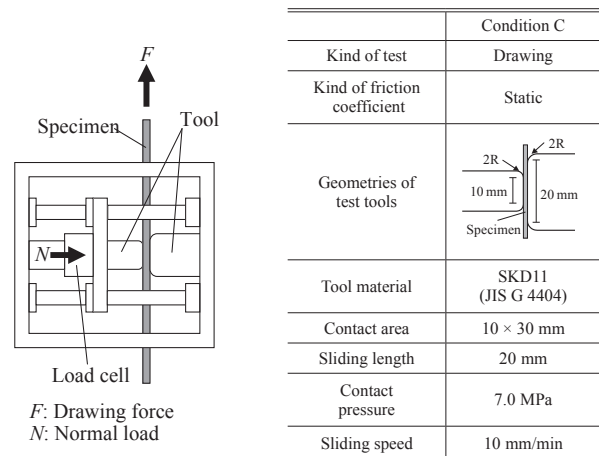
厚さ1.2 mmの軟鋼板および引張強さ(TS)590 MPa級、980 MPa級ハイテンを母材とする従来のGAと「JAZ[®]」の前述のグループA~Cに相当する条件A~Cで摩擦係数を測



	Condition A	Condition B
Kind of test	Flat sliding	Flat sliding
Kind of friction coefficient	Dynamic	Dynamic
Geometries of test tools		
Tool material	SKD11 (JIS G 4404)	SKD11 (JIS G 4404)
Contact area	3×10 mm	50×10 mm
Sliding length	100 mm	100 mm
Contact pressure	130.4 MPa	7.8 MPa
Sliding speed	1 000 mm/min	200 mm/min

図2 平板摺動試験の模式図と試験条件

Fig. 2 Schematic diagram of the flat sliding friction test and testing conditions



	Condition C
Kind of test	Drawing
Kind of friction coefficient	Static
Geometries of test tools	
Tool material	SKD11 (JIS G 4404)
Contact area	10×30 mm
Sliding length	20 mm
Contact pressure	7.0 MPa
Sliding speed	10 mm/min

図3 引き抜き摺動試験の模式図と試験条件

Fig. 3 Schematic diagram of the drawing friction test and testing conditions

定した。条件 A, B は, 図 2 に示す平板摺動試験機, ビード形状および試験条件で実施した。動摩擦係数 (μ) は, 押し付け荷重 (N) と引き抜き荷重 (F) を測定し, $\mu = F/N$ から算出した。条件 C は, 図 3 に示す引抜摺動試験機, ビード形状, および試験条件で測定した。同様に, N と F

を測定し, 平板摺動試験とは異なり, 表裏両面から工具で挟まれていることから, 静止摩擦係数 (μ') を, $\mu' = F/2N$ から算出した。なお, 試験では潤滑油として市販の洗浄油を使用し, 試験片をアルコールにより超音波洗浄した後, 塗布した。この洗浄油の粘度は, 40℃で 2.0 mm²/s, 密度は 0.82 g/cm³ である。

条件 A, B, C における, 摩擦係数の測定結果を図 4 ~ 6 にそれぞれ示す。「JAZ[®]」を適用した 590 MPa 級, 980 MPa 級 GA ハイテンは, すべての条件において, 従来の GA よりも低い摩擦係数を示しており, その摩擦係数の低減効果は, 軟鋼板を母材とした「JAZ[®]」とほぼ同程度であった。このことは, 「JAZ[®]」は GA ハイテンへも適用可能であり, GA ハイテンへ適用した場合でも, プレス成形性の向上が期待できることを示している。

2.3 摩擦係数の面圧依存性

実際のプレス成形時の金型との接触面圧は, 成形品の形状に加え, 母材の強度にも影響を受ける。母材の高強度化にともない, 接触面圧は増加する傾向にある。そこで, 図 2 に示した条件 A の接触面圧を変化させ, 従来の GA と「JAZ[®]」の摩擦係数に及ぼす面圧依存性を調査した。潤滑油は, 前述の洗浄油を同様に塗油した。

測定結果を図 7 に示す。従来の GA および「JAZ[®]」ともに, 接触面圧の増加にともない, 摩擦係数が低下する傾向が認められた。これは, 接触面圧の増加にともない, 潤滑油トラップによる静的流体潤滑効果がより顕著になったと考えることができる¹¹⁾。一方, 従来の GA と「JAZ[®]」を比較すると, 面圧 65 ~ 260 MPa の範囲で, その差に大きな変化は認められない。このことは, 「JAZ[®]」は GA ハイテンに適用した場合に想定される高面圧接触条件下においても優れた摺動特性を有していることを示している。

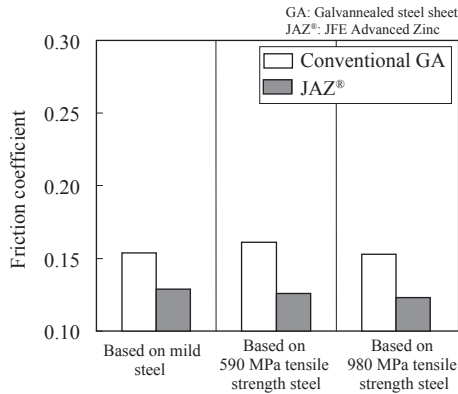


図 4 条件 A における「JAZ[®]」の摩擦係数

Fig. 4 Friction coefficient of "JAZ[®]" under Condition A

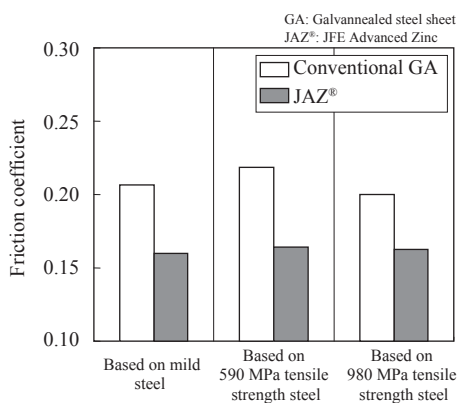


図 5 条件 B における「JAZ[®]」の摩擦係数

Fig. 5 Friction coefficient of "JAZ[®]" under Condition B

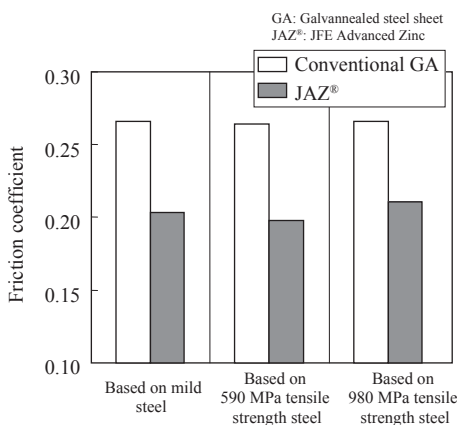


図 6 条件 C における「JAZ[®]」の摩擦係数

Fig. 6 Friction coefficient of "JAZ[®]" under Condition C

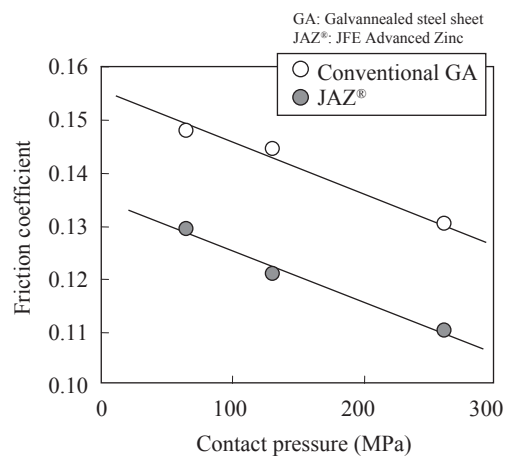


図 7 条件 A における摩擦係数に及ぼす面圧の影響

Fig. 7 Effect of contact pressure on friction coefficient under modified Condition A

2.4 潤滑機構

「JAZ[®]」の潤滑向上メカニズムについて理解する目的で、図3に示した条件Aにおける無塗油での摩擦係数を測定した。評価結果を図8に、引き抜き荷重チャートを図9にそれぞれ示す。「JAZ[®]」は無塗油の状態でも、従来のGAと比較して低い摩擦係数を示している。さらに、従来のGAの摺動の際に認められる荷重チャートの上下のハンチング挙動が認められる。これは、ビードと従来のGA表面との凝着性が高いことにより、ビードの凝着と移動繰り返し(スティック・スリップ)によるものと考えられる。従来のGAと比較して、「JAZ[®]」では、無塗油の状態においても、この上下のハンチング現象が軽微になっていることから、「JAZ[®]」の表面改質層自体がGAと工具の凝着を抑制していると推定することができる。

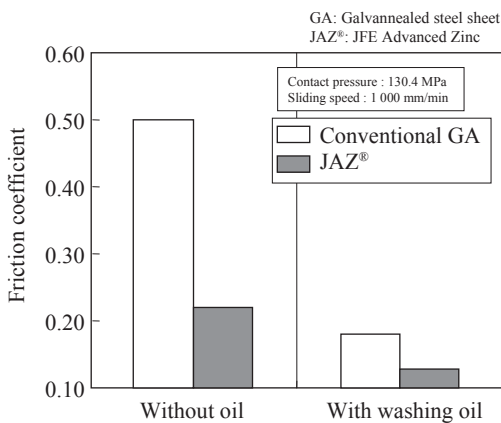


図8 無塗油条件下での「JAZ[®]」の摩擦係数

Fig. 8 Friction coefficient of “JAZ[®]” without oil

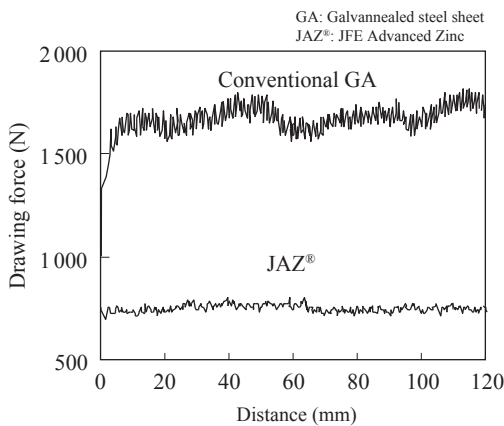


図9 無塗油条件下での引き抜き荷重の挙動

Fig. 9 Evolution of drawing force during sliding test without oil

3. プレス成形性

3.1 小型モデル試験機でのプレス成形性

3.1.1 張出し成形性

「JAZ[®]」の、GAハイテンへの適用効果を検証する目的で張出し成形性を評価した。機械的特性の影響を排除する目的で、実機製造したGAハイテンの表面に、実験室でJAZ[®]付与処理を実施し供試材とした。母材には、伸びの異なる440 MPa～980 MPa級の強度を有する厚さ1.2 mmのGAハイテンを用いた。張出し成形は液圧バルジ試験機を用いて、図10に模式図を示すように、直径100 mm、肩R10 mmのパンチ、直径153 mmのダイスで実施し、割れが発生する直前の成形高さを割れ限界高さとして測定した。ブランクホルダーにはロックビードを設置し、フランジからの材料流入を抑制した。潤滑油は、前述の洗浄油を同様に塗油した。

図11に円錐台張出し試験における鋼板の伸びと限界成形高さの関係を示す。伸びの増加とともに限界成形高さは増加する傾向を示し、伸びと限界成形高さとの間に良い相関が認められた。また、GAハイテンに「JAZ[®]」を適用することにより、従来のGAと比較して、同一の伸びにおける限界

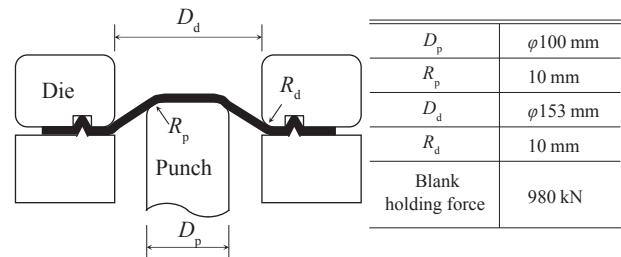


図10 円錐台張出し成形試験の模式図

Fig. 10 Schematic diagram of conical stretch forming test

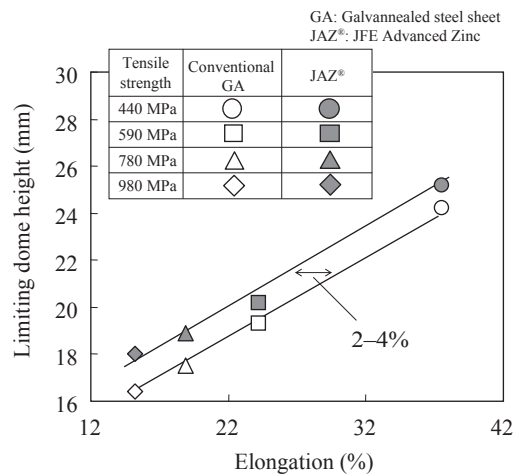


図11 円錐台張出し成形における成形高さに及ぼす伸びの影響

Fig. 11 Influence of elongation on limiting dome height in conical stretch forming

成形高さが増加しており、張出し成形性が向上したことを示している。これは、パンチ肩部などの摺動部において摺動抵抗が低減し、その結果、パンチ接触部からの素材の流出が促進されたためと考えられる。さらに、本結果から、GAハイテンへの「JAZ®」の適用効果を伸びに換算すると2~4%相当であると見積もられる。

3.1.2 深絞り成形性

同様に \bar{r} 値の異なる、270 MPa~980 MPa級の強度を有する厚さ1.2 mmのGAハイテンを母材として用いて深絞り成形性の評価を実施した。50 t深絞り試験機を用いて実施し、**図12**に模式図を示すようにSKD製の直径50 mm、肩R5 mmのパンチ、直径53 mm、肩R8 mmのダイスを使用した。

供試材を直径の異なる円形に加工し、ブランクホルダー圧を4.9~88.2 kNに変化させ成形評価を実施した。深絞り成形では一般的にブランクホルダー圧の増加にともない割れが発生しやすくなる傾向にあり、反対に、ブランクホルダー圧が減少するとしわが発生しやすい傾向にあることが知られている。ここでは、**図13**に模式図を示すように、割れ、しわが発生せずに絞り成形が可能な、両者の限界のブランク径を測定し、この結果とパンチ径(50 mm)の比から、限界絞り比を算出した。潤滑油は、先述の洗浄油を同様に塗油した。

図14に鋼板の \bar{r} 値と限界絞り比の関係を示す。母材の強

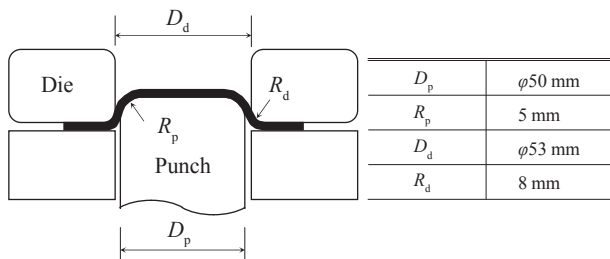


図12 深絞り成形試験の模式図

Fig. 12 Schematic diagram of deep drawing test

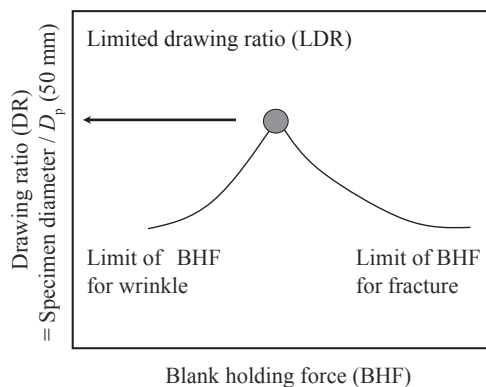


図13 限界絞り比の評価方法の模式図

Fig. 13 Schematic diagram of method of evaluating limited drawing ratio

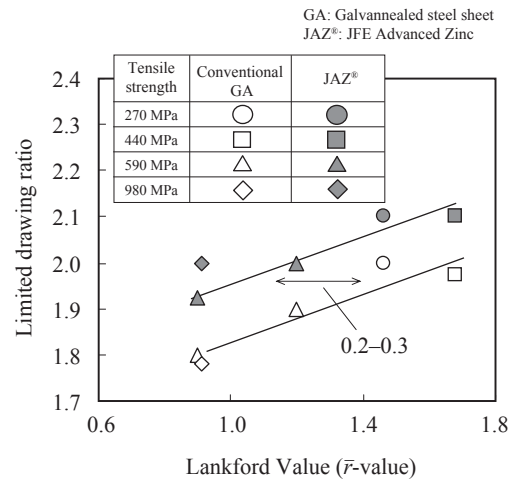


図14 深絞り成形における限界絞り比に及ぼす \bar{r} 値の影響

Fig. 14 Influence of Lankford Value (\bar{r} -value) on limited drawing ratio in deep drawing

度によらず、 \bar{r} 値の増加とともに限界絞り比は増加する傾向を示した。また、GAハイテンに「JAZ®」を適用することにより、従来のGAと比較して同一の \bar{r} 値における限界絞り比が増加しており、深絞り成形性が向上したことを示している。これは、GAに「JAZ®」を適用することにより、フランジ部やダイス肩部などの摺動部において摺動抵抗が低減し、その結果素材の流入が促進されたためと考えられる。さらに、本結果から、GAハイテンへの「JAZ®」の適用効果を \bar{r} 値に換算すると0.2~0.3相当であると見積もられる。

3.2 モデル金型を用いた実プレス成形性

3.2.1 リアサイドメンバーモデル

ほぼ同一の機械的特性値を有する590 MPa級ハイテンを母材とする従来のGAと「JAZ®」の実機製造材を用いて、実プレス成形試験を実施した。実部品スケールのリアサイドメンバーモデル金型を使用し、1200 tシングルアクションメカニカルプレス機にて成形した。プレス時のクッション力を変化させて試験し、成形部品における割れおよびしわの発生状況を評価した。ここで、割れ、しわがともに発生しない成形可能範囲が広いほどプレス成形性が良好であることを示している。**図15**に各供試材の成形可能範囲を示す。従来のGAと比較して「JAZ®」のほうが、成形可能範囲が広く、590 MPa級ハイテンを母材とした場合においても「JAZ®」は、従来のGAより良好なプレス成形を有することが明らかである。

3.2.2 センターピラーモデル

ほぼ同一の機械的特性値を有する980 MPa級ハイテンを母材とする従来のGAと「JAZ®」の実機製造材を用いて、同様に、実プレス成形試験を実施した。実部品スケールのセンターピラーモデル金型の一部を使用し、1200 tシングルアクションメカニカルプレス機にて成形した。下死点からのストローク制御により、成形高さを変化させ、割れが発生し

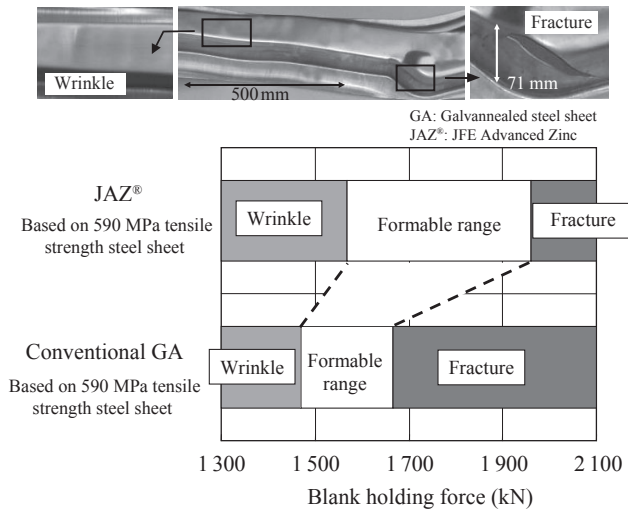


図 15 リアサイドメンバーモデル金型を用いた実プレス成形における成形可余裕量
 Fig. 15 Formable range of blank holding force measured in actual press forming of the model rear side member

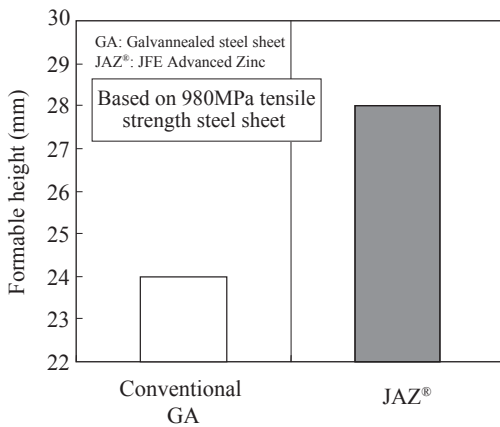
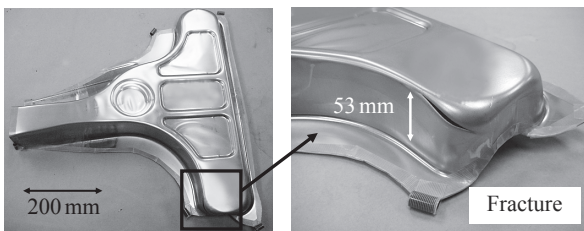


図 16 センターピラーモデル金型を用いた実プレス成形における成形可能高さ
 Fig. 16 Formable height without fracture in actual press forming of the model center pillar

ない限界成形高さを評価した。ここで、割れが発生しない成形限界高さが大きいほどプレス成形性が良好であることを示している。図 16 に各供試材の成形限界高さを示した。従来の GA と比較して「JAZ[®]」のほうが、成形限界高さが大きく、980 MPa 級ハイテンを母材とした場合においても

「JAZ[®]」は、従来の GA より良好なプレス成形性を有することが明らかである。

4. おわりに

近年自動車への採用が拡大する GA ハイテンのプレス成形性向上を目的に、摺動特性に優れた「JAZ[®]」を GA ハイテンへ適用することによるプレス成形性の向上を検討した。

- (1) 「JAZ[®]」は、GA ハイテンへも適用が可能であり、自動車用鋼板に求められる摺動条件において、優れた摺動特性を示した。その効果は軟鋼に適用した場合と同程度であった。
- (2) GA ハイテンへの「JAZ[®]」の適用効果として、小型モデル成形評価から機械的特性に換算し、伸びで 2～4% 相当、 \bar{r} 値で 0.2～0.3 相当と見積もられた。
- (3) 590 MPa、980 MPa 級ハイテンを母材とする従来の GA と「JAZ[®]」を用いた実スケールプレス評価で「JAZ[®]」適用による成形性向上を確認した。

参考文献

- 1) たとえば、妻鹿哲也, 長谷川浩平, 川邊英尚. JFE 技報. 2004, no. 4, p. 33-38.
- 2) Numakura, Y.; Nakayama, M.; Yamada, M.; Fukada, A.; Konda, S. SAE Technical Paper 900509. 1990.
- 3) Sakurai, M.; Yamasaki, Y.; Hashimoto, S.; Inoue, S.; Hiraya, A.; Urakawa, T.; Inagaki, J. Galvatech' 98. Chiba, Japan, ISIJ. 1998, p. 620.
- 4) 中島清次, 片桐知克, 加藤千昭. 川崎製鉄技報. 2002, vol. 34, no. 2, p. 76.
- 5) 自動車用高潤滑 GA 鋼板「JAZ[®]」(JFE Advanced Zinc). JFE 技報. 2007, no. 16, p. 54-55.
- 6) 平章一郎. ふえらむ. 2010, vol. 15, no. 11, p. 50-53.
- 7) 星野克弥, 多田雅彦, 窪田隆広, 池田倫正, 藤田栄, 平章一郎, 吉見直人, 杉本芳春. 自動車技術会学術講演会前刷集. 2009, no. 102-09, p. 9.
- 8) Yoshimi, N.; Masuoka, H.; Taira, S.; Imokawa, T.; Nagoshi, M.; Yamasaki, Y.; Sugimoto, Y.; Fujita, S. Galvatech' 07. Osaka, Japan, ISIJ. 2007, p. 620.
- 9) Hoshino, K.; Taira, S.; Yoshimi, N.; Higai, K.; Yamasaki, Y.; Nagoshi, M.; Sugimoto, Y. SAE Technical Paper 2011-01-1056.
- 10) 樋貝和彦, 山崎雄司, 稲積透. 塑性加工学会秋季講演会. 2011, p. 330.
- 11) 小豆島明. 第 49 回塑加連講論. 1998, p. 365-366.



星野 克弥



樋貝 和彦



平 章一郎