

実機試験によるホットスタンピング金型評価技術

梅森直樹*

Die Material Evaluation Technology by Actual Hot Stamping Equipment

Naoki UMEMORI

Synopsis

Application of ultra-high tensile strength steels to automobile parts is increasing with the aim of reducing weight and improving crashworthiness. The hot stamping method has received much attention in recent years because it can achieve higher strength than conventional press forming methods. In the hot stamping method, steel sheets heated to high temperature are press-formed in dies and are quenched rapidly while being formed, which increases their strength. As the disadvantages of hot stamping, low productivity and die damage have been cited. To understanding the differences of performance of the mold materials to improve the disadvantages, die material evaluation technology by actual hot stamping equipment was introduced.

In this study, an evaluation result of die wear is indicated. DHA-HS1 which has higher hardness than JIS SKD61, has superior wear resistance to hot stamping than SKD61. Moreover, by applying much higher thermal conductivity DHA-HS1, the rise in temperature of the surface of die can be reduced.

1. 緒言

近年、自動車の軽量化および衝突安全性の要求が高まっており、自動車部品において超高張力鋼板の使用率が増加している。ホットスタンピングは、鋼板をオーステナイト変態域まで加熱し、金型で成形と同時に抜熱させることで焼入を行い、従来の冷間成形の超高張力鋼板よりも高強度の部品を製造できる工法として注目されている。ホットスタンピングの課題として生産性の低さがあり¹⁾、その要因の一つとして、金型で鋼板を抜熱するため、プレス下死点での保持時間が必要であることが挙げられる。鋼板の抜熱を促進させ、下死点での保持時間の短縮を図るため、金型には高熱伝導化が求められる。また、金型の損傷が発生することもホットスタンピングの課題になっている。金型損傷としては、摩耗や凝着があり、金型摩耗は過冷オーステナイトの変形抵抗や鋼板

加熱時に生成される酸化物²⁾などが複合的に影響していると考えられる。

金型損傷に対する金型性能の差異は金型材料の物性値だけでは実際の金型損傷を評価できず、実操業における負荷を模擬する必要がある。そこで、ホットスタンピング実機設備を導入し、金型評価技術の開発を実施した。本報告では金型の摩耗評価技術の紹介、摩耗への金型材料の影響について報告する。

2. 金型摩耗評価技術

2.1 評価試験設備

実生産での金型の損傷は、早い場合に数万ショット程度の生産で発生する。そこで導入した金型評価技術においても数万ショットの成形加工を行えるように、作業者

2020年5月19日 受付

* 大同特殊鋼(株)技術開発研究所 (Corporate Research & Development Center, Daido Steel Co., Ltd.)

の負担が少なく、かつ操業バラツキの影響を小さくするため、ロボットによる自動搬送を採用した。また、加熱された鋼板が連続的に搬出できるように回転式加熱炉（大同プラント工業㈱製）を採用した。鋼板を成形するプレス機は110t電動サーボプレス（㈱アマダオリイ製）を用い、鋼板を搬送するロボットは加熱炉側とプレス機側で各1台ずつ計2台（ファナック㈱製）を用いた。

2. 2 評価用金型および成形品

摩耗評価における評価用金型と成形品の形状を Fig. 1 に示す。ホットスタンピング鋼板は亜鉛めっき鋼板（鋼種：22MnB5）、1.2 mm 厚さの 50 × 300 mm の形状を用い、回転式加熱炉で鋼板を加熱し、その後、金型に搬送し、型を閉じて成形し、下死点保持を行い金型内で冷却した。金型には、Fig. 1 に示すように上部パンチおよび下部ダイに水冷孔を設置し、水を流しつつ、試験を行った。成形品はセンターピラーなどを模擬したハット曲げ形状を採用した。Fig. 1 に示すように上部パンチを評価部位とし、3章で示す金型材料ごとの摩耗量の評価を行った。

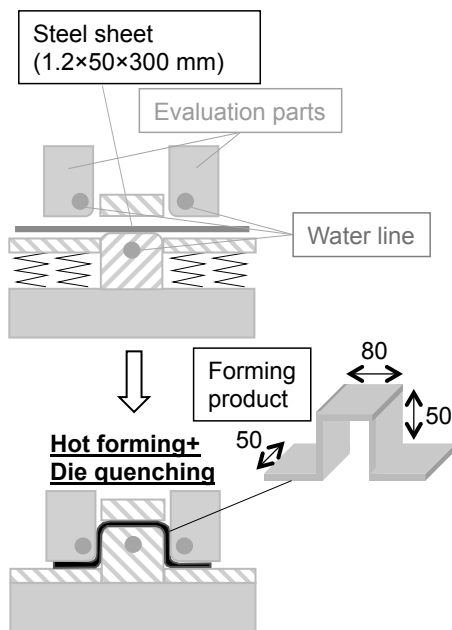


Fig. 1. Die and forming product.

2. 3 評価試験条件

鋼板の加熱条件を決めるにあたり、950℃で300s保持した後の鋼板の表層において、電子プローブマイクロアナライザ（EPMA）による元素濃度分析を行い、その結果を Fig. 2 に示す。富士本ら³⁾の報告と同様に、表層から酸化亜鉛、Fe-Zn 固溶体および下地鋼が形成されていることを確認した。また、加熱された鋼板がプレス

機まで搬送して成形を開始するまでの温度および金型内での冷却した後の型開き直後の成形品の温度をサーモグラフィで測定した結果を Fig. 3 に示す。小嶋⁴⁾の報告による連続冷却変態曲線と比較すると、本報告の成形を開始するまでの温度はフェライト・パーライトおよびベイナイトが生成する温度域に達していない、金型内での冷却速度も平均 52℃/s になっており、マルテンサイト単相となる冷却速度 30℃/s 以上^{4), 5)}を満たしていることを確認した。

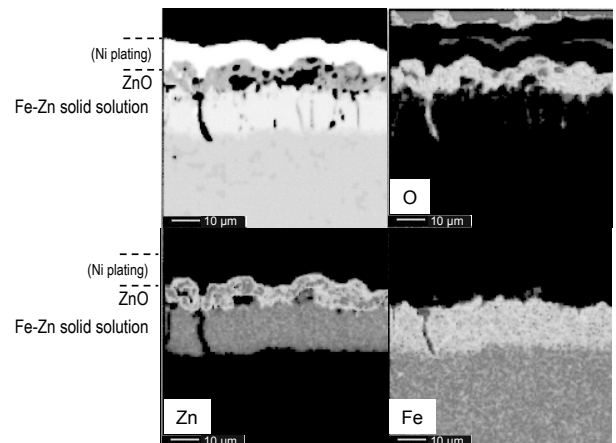


Fig. 2. EPMA analysis near surface of steel sheet after heating.

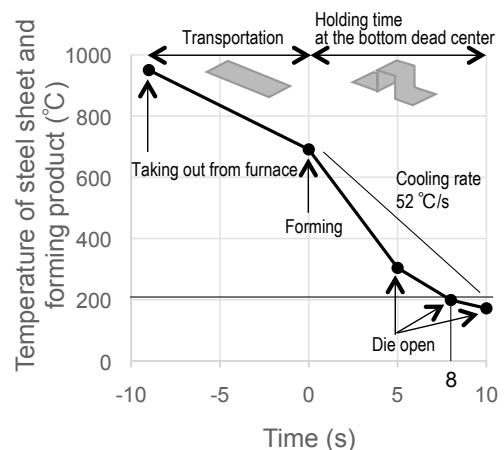


Fig. 3. Cooling curve of steel sheet.

また、連続冷却変態曲線⁴⁾よりマルテンサイト変態は400℃で始まって200℃程度で終了するため、200℃程度までの下死点保持が必要である⁵⁾。Fig. 3より200℃程度となる下死点保持時間は8s以上が必要となっている。その下死点保持時間が8sの時の成形品の硬さを Fig. 4 に示す。引張強さが1,500 MPa 程度となるビッカース硬さ450～500 HV 程度⁶⁾を満たしていることを確認できたため、3章における金型材料ごとの摩耗量の評価には下死点保持時間8sを採用した。その他の摩耗評価における試験条件については Table 1 に示す。

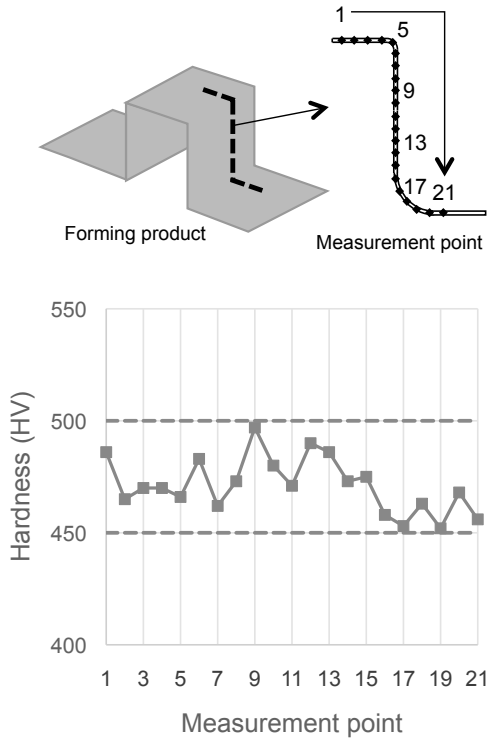


Fig. 4. Cross-section hardness of forming product.

3. 金型摩耗試験

3. 1 金型材料

評価部位には、Table 1 に示す SKD61 (JIS G 4404), DH31-EX (当社開発鋼), DHA™ -HS1 (当社開発鋼)^{7), 8)} を用いた。その DHA-HS1 の位置づけを Fig. 5 に示す。DHA-HS1 は SKD61 対比、硬さと熱伝導率が高い鋼種である。Fig. 6 に熱伝導率の温度推移を示す。常温～700℃において、DHA-HS1 は SKD61 および DH31-EX より高い熱伝導率を有しているため、金型表面温度の低下が期待でき、ホットスタンピング工法での生産性の向上の改善が貢献できる。

本試験の評価用金型の作製に用いた焼入・焼戻し処理条件および調質後の硬さを Table 2 に示す。

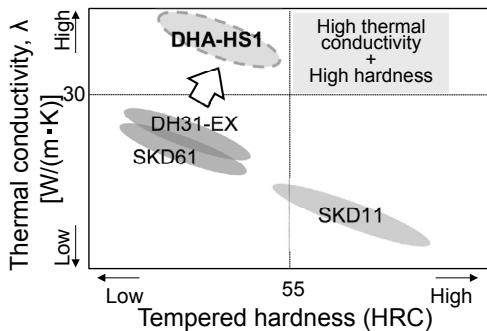


Fig. 5. Position diagram of DHA-HS1.

Table 1. Test condition.

Steel sheet	Steel	Zn coated steel sheet (22MnB5)	
	Shape	1.2×50×300 mm	
Die	Steel	DHA-HS1 JIS-SKD61 DH31-EX	
	Volume of cooling water	Upper die	7 L/min
		Lower die	4 L/min
	Temperature of cooling water	25 °C	
Clearance	+8 %		
Furnace	Temperature	950 °C	
	Holding time	5 min	
Press	Load	20 ton	
Cycle time	Transportation from furnace to press	9 s	
	Descending and ascending of press	3.5 s	
	Holding time at the bottom dead center	8 s	
	Other transportation	9.5 s	
	Total time each 1 shot	30 sec (2 spm)	

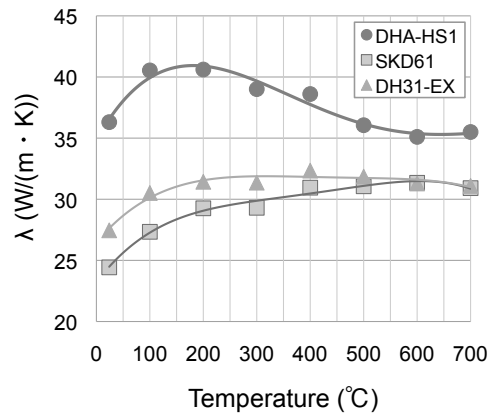


Fig. 6. Thermal conductivity of DHA-HS1.

Table 2. Die materials.

Steel	Heat treatment conditions		Hardness after heat treatment
	Quenching	Tempering	
DHA-HS1	1030 °C × 1 h Gas cooling	560 °C × 1 h Air cooling, twice	54 HRC
SKD61	1030 °C × 1 h Gas cooling	600 °C × 1 h Air cooling, twice	49 HRC
DH31-EX	1030 °C × 1 h Gas cooling	500 °C × 1 h Air cooling, twice	53 HRC

3. 2 摩耗量測定

摩耗量の評価として1000ショットごとにおける外観観察および摩耗量の測定を行った。摩耗量の測定には非接触3次元形状測定機（株式会社キーエンス製）を用い、上部パンチの摺動部表面の形状を測定し、凹となる部分の体積の合計を摩耗体積とした⁹⁾。

3. 3 結果と考察

本実機設備を用いた摩耗評価結果を Fig. 7, Fig. 8 に示す。Fig. 7 は各ショット数における上型パンチの R 部近傍の外観写真であり、Fig. 8 は各ショット数における上型パンチの摩耗量の推移を示している。これらの結果より、ショット数が増えていくほど摩耗量が増加しているが、DHA-HS1 は SKD61 および DH31-EX 対比、摩耗量が少なくなっている。

鋼種による摩耗の差について以下に考察する。鍛造金型の摩耗予測モデルとして金型の強度を考慮した次式のような式が挙げられる^{10), 11)}。

$$W = k \int \frac{PV}{YS} dt$$

ここで、W: 摩耗深さ、YS: 金型強度、P: 面圧、V: 相対すべり速度、dt: 微小時間、k: 定数である。金型材料による影響因子は YS: 金型強度および k: 定数¹¹⁾ となり、金型強度はプレス成形中に上昇する温度時の強度である。金型材料の高温強度は室温強度と相関があり、高硬度化に伴い高温強度が向上する¹²⁾。本試験に用いた金型材料の高温強度として、Fig. 9 に 500℃ および 600℃ における 0.2% 耐力を示し、SKD61 対比高硬度にすることが可能な DHA-HS1 は高温強度が高く、摩耗量が少なくなったと考えられる。

加えて、金型摩耗には金型温度が影響していることも考えられる¹¹⁾。本試験における連続成形時の金型温

度の推移を Fig. 10 に示す。この金型温度は直径 1 mm の熱電対を用いて上型パンチの表層から 2 mm 位置の温度を測定した結果である。高熱伝導率材 DHA-HS1 は SKD61 および DH31-EX 対比、プレス成形中の金型温度が約 20℃ 低下した。この結果より、DHA-HS1 の適用により、プレス成形中の金型温度の上昇が抑制され、金型表面の強度を高めることができたと考えられる。よって、金型強度の高低の順序と本試験での鋼種による摩耗量の優劣の順序が一致しており、本実機設備を用いて鋼種変更による耐摩耗性の評価が可能である。

今後、高熱伝導率金型材料の適用による金型摩耗の抑制効果をさらに精度を上げて検証していく。本章で挙げた鍛造金型の摩耗予測モデルにおいて微小時間あたりの YS: 金型強度が摩耗深さに影響している。Fig. 10 は表層から 2 mm 位置の金型温度であり、実際に摩耗が生じている最表面の温度はより高温になっている。その最大温度次第で金型強度が変わっていくため、プレス成形中の金型の最表面温度測定を今後検討していく。

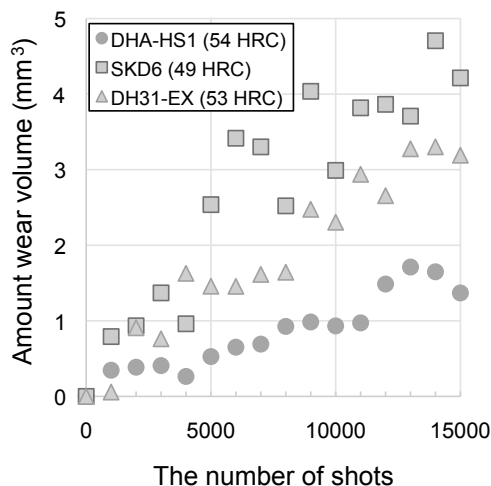


Fig. 8. Wear volume of upper evaluation parts after each shot.

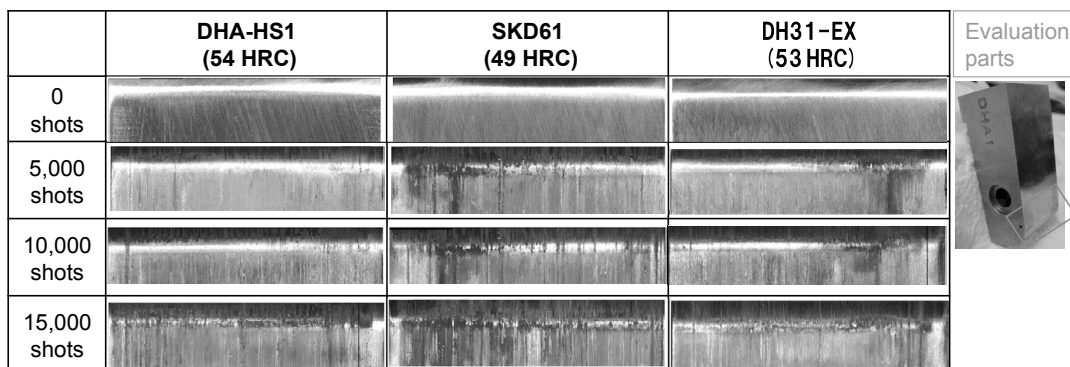


Fig. 7. Surface condition of upper evaluation parts after each shot.

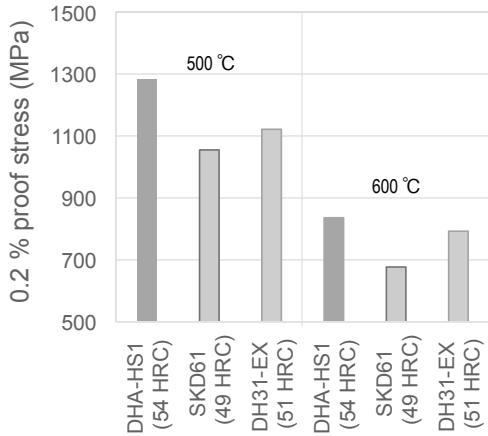


Fig. 9. 0.2 % proof stress of DHA-HS1.

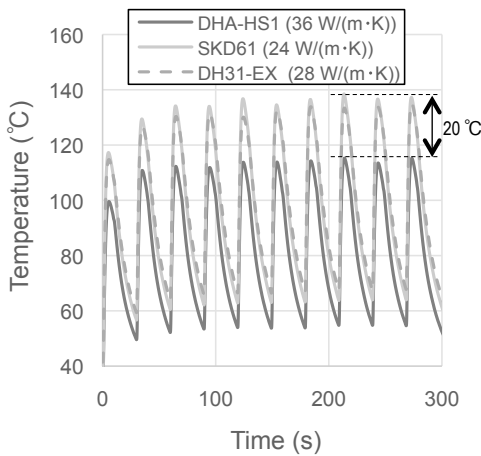


Fig. 10. Temperature of evaluation parts at 2 mm depth from the surface.

4. 結 言

実機試験設備を導入し、金型摩耗評価技術の確立および摩耗への金型材料の影響について評価を行い、以下の知見が得られた。

1. 本実機設備を用いた摩耗評価において、鋼種による摩耗の差が出ており、鋼種変更による耐摩耗性の評価が可能となった。複合的な要因に影響される金型摩耗の現象の解明に貢献できると考える。
2. 当社開発鋼 DHA-HS1は、SKD61対比高硬度(≦ 54 HRC)にすることが可能であり、かつプレス成形中の金型表面温度の上昇を抑制できることから、ホットスタンピング金型の耐摩耗性向上が可能である。

今後、本評価技術の精度向上のために実際の金型損傷との相関関係や、金型凝着などの他の金型損傷の評価技術にも本設備を活用していく。

DHAは大同特殊鋼株式会社の登録商標または商標です。

(文 献)

- 1) 森謙一郎: ホットスタンピング入門, 第1版, 日刊工業新聞社(2015), 37.
- 2) 森謙一郎: ホットスタンピング入門, 第1版, 日刊工業新聞社(2015), 107.
- 3) 富士本博紀, 中田匡浩, 内原正人, 今井和仁, 小嶋啓達, 総田良之: 自動車技術会論文集, 47(2016), 979.
- 4) 小嶋啓達: 塑性と加工, 54(2013), 586.
- 5) 森謙一郎: ホットスタンピング入門, 第1版, 日刊工業新聞社(2015), 53.
- 6) 森謙一郎: ホットスタンピング入門, 第1版, 日刊工業新聞社(2015), 33.
- 7) 樋口成起, 梅森直樹, 増田哲也: 型技術, 33(2018), 8, 98.
- 8) 稲垣直人, 樋口成起: 型技術, 33(2018), 13, 44.
- 9) 梅森直樹, 稲垣直人: 型技術, 34(2019), 12, 56.
- 10) B. Painter, R. Shivpuri, T. Altan: J. Mater. Process. Tech, 59(1996), 132.
- 11) 岡島琢磨, 大江章平, 吉田広明, 五十川幸宏, 石川考司: 電気製鋼, 82(2011), 125.
- 12) 河野正道: 素形材, 59(2018), 10.



梅森直樹