

(技術資料)

# 高生産性ホットスタンプ用鋼板

## Steel Sheets for Highly Productive Hot Stamping



濱本紗江\*<sup>1</sup>  
Sae HAMAMOTO



大森裕之\*<sup>1</sup>  
Hiroyuki OMORI



浅井達也\*<sup>1</sup>  
Tatsuya ASAI



水田直気\*<sup>2</sup>  
Naoki MIZUTA



神保規之\*<sup>2</sup>  
Noriyuki JIMBO



山野隆行\*<sup>2</sup>  
Takayuki YAMANO

Rapid progress is being made in the application of hot-stamped, super-high strength parts to automobile bodies. Hot stamping is a technology that can solve the problems associated with high-strength steel sheet, e.g., an increased stamping load and the deterioration of dimensional accuracy; however, the method has suffered from low press productivity and the limitation of part shapes. In order to overcome these issues, a steel sheet for hot stamping has been developed via compositional design. This paper introduces the characteristics of the newly developed steel sheet and its practical applications, including a demonstration of the multi-step hot stamping.

まえがき = 自動車の衝突安全基準強化および排出ガス削減のための軽量化を目的として、車体骨格部材への高強度鋼板の適用が進んでいる。当社は種々の冷間成形用高強度鋼板を提供しており、最近では、自動車ボデー骨格としては世界で初採用となる1180MPa級を実用化した<sup>1), 2)</sup>。しかし冷間成形用高強度鋼板は、鋼板の強度が上昇するに従ってプレス荷重が増加し、寸法精度が悪化するといった問題<sup>3)</sup>が発生することから、現状では1180MPa超級の実用化は限られている。

このような問題を解決する手法としてホットスタンプ<sup>4), 5)</sup>の適用が拡大している。ホットスタンプは、オーステナイト域に一度加熱した後、高温で成形し、そのまま金型内で冷却してマルテンサイト組織を得る技術であり、1500MPa級の高強度化を容易に行うことができる。ホットスタンプ用鋼板としては一般に22MnB5鋼(ポロン鋼)が用いられることが多いが、強度確保のための金型での冷却に時間を要し、生産性は冷間成形用鋼板の10分の1程度である<sup>6)</sup>。そこで、成分設計<sup>6), 7)</sup>や金型冷却の工夫<sup>8)</sup>によるプレス生産性向上が提案されてきた。

当社でもホットスタンプ用鋼板における上記のような問題に着目し、主に成分設計を最適化させた高生産性ホットスタンプ用鋼板を開発したので紹介する。

### 1. 開発鋼の成分設計の考え方

22MnB5鋼を用いたホットスタンププロセスでは、図1に示すように、オーステナイト化後、金型内で冷却し、200℃以下まで保持して離型することにより、1500MPaを満足するのに必要なマルテンサイト組織を達成している<sup>9)</sup>。例えば、600℃の離型で強度が達成できるのであれば、従来約15s必要だった金型保持による冷却時間を

約3sまで大幅に短縮させ、プレス生産性を向上させることができる。また、従来のホットスタンプでは、離型後の強度が1500MPaとなっており、金型耐久性や切断部の遅れ破壊問題から、その後のピアス、トリムにはレーザー加工が必要となり、生産性の低下と設備投資によるコストアップとなる。

いっぽう、金型保持時間を短縮できれば成形後もまだ鋼板の温度が高く、強度の低い状態を維持できる。そうすると、成形後に引き続きトリムやピアスも同一プレス機内で行う多工程ホットスタンプが可能となる。このことにより、ホットスタンプ部品の生産性が大幅に改善されることが期待される。

そこで、表1に示す成分の冷延鋼板(板厚1.4mm)を用いて図2に示す熱処理を行い、硬さに及ぼす金型離型温度( $T_0$ )の影響を調査した。その結果を図3に示す。ここでの開発では、フェライトおよびベイナイト変態を

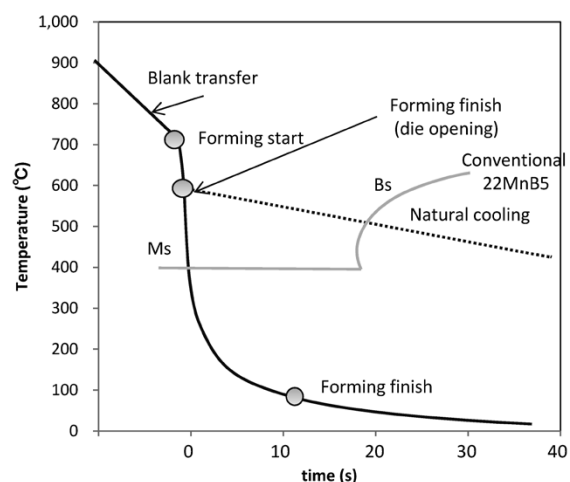


図1 既存のホットスタンプにおける鋼板温度変化  
Fig. 1 Steel temperature change in conventional hot stamping

\*<sup>1</sup> 鉄鋼事業部門 技術開発センター 薄板開発部 \*<sup>2</sup> 鉄鋼事業部門 技術開発センター プロセス技術開発部

表 1 供試材の化学成分

Table 1 Chemical composition of steels

	C	Si	Mn	Cr	Ti	B
Conventional 22MnB5	0.23	0.02	1.3	0.2	0.02	0.0029
Hi-Mn	0.23	0.20	2.1	-	0.02	0.0015
Hi-Si	0.22	1.19	1.3	0.2	0.03	0.0025
Developed steel	0.22	1.20	2.2	-	0.02	0.0015

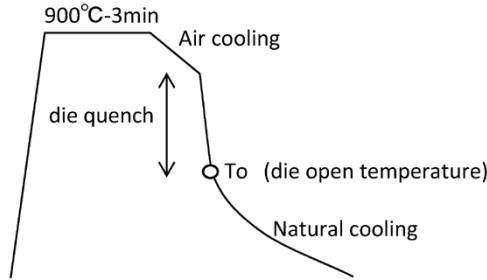


図 2 実験方法  
Fig. 2 Experimental method

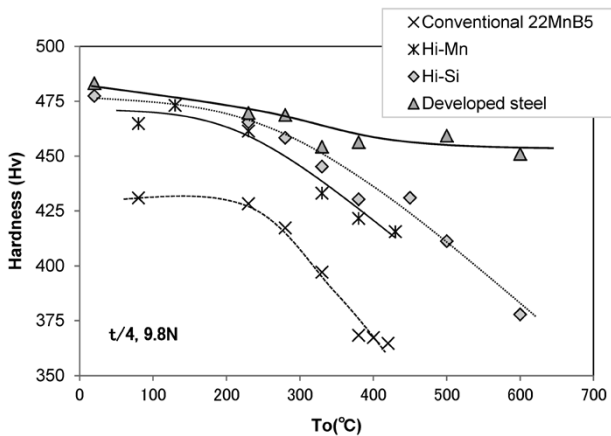


図 3 硬さに及ぼす金型離型温度の影響  
Fig. 3 Effect of die open temperature on hardness

抑制するため、MnとSiの添加に着目した。Siはさらにマルテンサイトの焼戻し軟化抵抗も増加させることが可能である。

22MnB5鋼に対し、Mnを増加したHi-Mn鋼では、いずれの離型温度においても硬さを上昇させることが可能である。しかしながら、1500MPaに相当する450HV以上を安定的に満足させるには200°C以下への冷却が必要である。Siを増加したHi-Si鋼でもHi-Mn鋼と同様の結果を示している。いっぽう、SiおよびMnを同時に増加した開発鋼は優れた焼入れ性を示し、600°Cの離型でも450HV以上の硬さが得られるうえに、離型温度による硬さ変化も小さい。このように、金型冷却によらず硬さを確保することが可能な開発鋼は金型保持時間を大幅に短縮でき、同一プレス機内でさらなる加工工程を追加できる。

図 4 に開発鋼のCCT曲線を示す。開発鋼は、MnおよびSiの添加効果によってフェライトおよびベイナイト変態が抑制されており、従来の22MnB5鋼では約30°C/sとなる臨界冷却速度は約5°C/sである。

部品内で安定した硬さを達成するには、Ms点以下の冷却速度（二次冷却速度）の依存性が小さいことも必要である。そこで、図 5 に示すように、冷延鋼板を900°Cまで昇温した後380°Cまで急冷し、二次冷却速度（CR<sub>2</sub>）

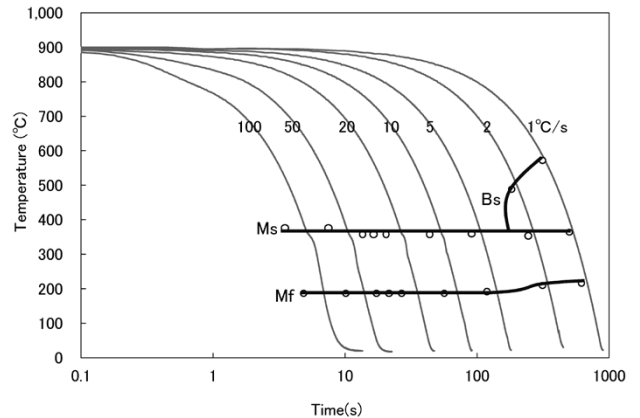


図 4 開発鋼のCCT線図  
Fig. 4 CCT diagram of the developed steel

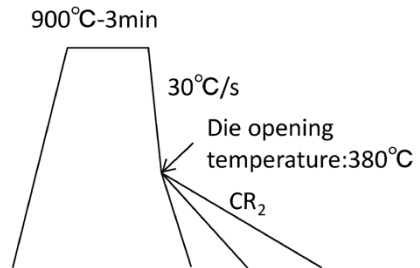


図 5 実験方法  
Fig. 5 Experimental method

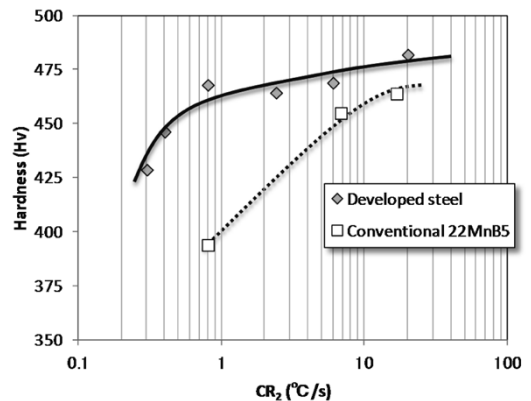


図 6 硬さに及ぼす2次冷却速度の影響  
Fig. 6 Effect of secondary cooling rate on hardness

を変化させて製作した供試材を用い、硬さに及ぼす二次冷却速度の影響を調査した。図 6 にその結果を示す。22MnB5鋼は二次冷却速度の影響を受けて硬さが大幅に低下しているのに対し、開発鋼は冷却速度依存性が小さく、硬さが安定している。これは、22MnB5鋼は冷却速度の低下に従ってマルテンサイトの自己焼戻しが進むが、開発鋼はSi添加によって焼戻し軟化抵抗が上昇し、硬さが安定しているためと考えられる。

開発鋼ではこのように、MnおよびSiを適切に添加することで加熱後の幅広い冷却条件下で強度確保が可能となり、380°C以下の範囲において実用上の冷却速度範囲

内（5℃/s以上）で安定した硬さが得られる。

## 2. 開発鋼の特性

### 2.1 ホットスタンプ処理後の基本特性

板厚1.4mmの冷延鋼板を900℃に加熱後、図7(a)に示す金型を用いて(b)に示す形状に成形し、(b)に示す位置から切り出してJIS 5号試験片を作製した。なお、金型保持時間は保持なし(0s)と15sで行った。これらの試験片を用いて行った引張試験の結果を表2に示す。22MnB5鋼ではホットスタンプ処理後の金型保持時間15sで1500MPa以上の強度を示すのに対し、開発鋼は金型保持時間なしでも1500MPa以上の強度を示した。

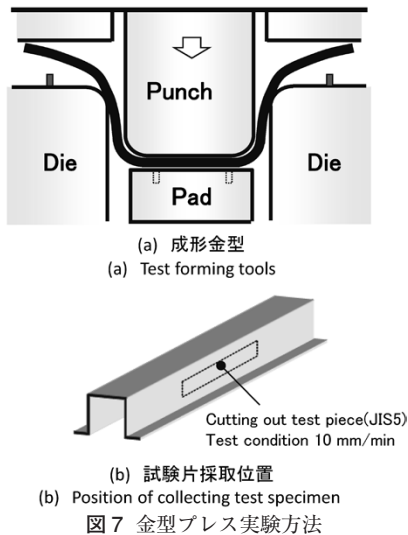


Fig. 7 Experimental methods for die pressing

表2 機械的特性に及ぼす金型保持時間の影響

Table 2 Effect of holding time of die quenching on mechanical properties

	Holding time at die quenching (s)	Die open temperature (°C)	YS (MPa)	TS (MPa)	EL (%)
Developed steel	0	about 600	1,056	1,504	10
Conventional 22MnB5	15	about 200	1,149	1,512	8
	0	about 600	1,028	1,080	6

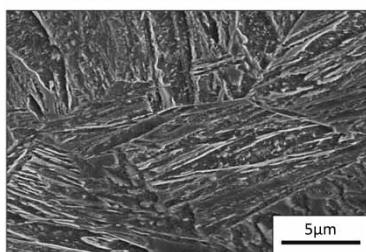
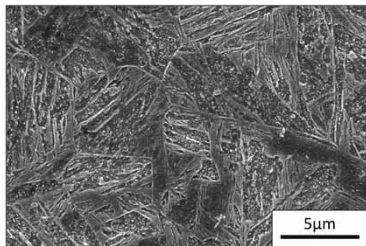


図8 ホットスタンプ後の組織  
Fig. 8 Microstructure of die quenched steel

図8に、22MnB5鋼の金型15s保持後、および開発鋼の金型保持なしの冷却後組織を示す。いずれもマルテンサイト単一組織となっているが、開発鋼は22MnB5鋼と比較して炭化物の生成が少ない。これは、Siによる炭化物抑制効果によるものと考えられ、焼戻し軟化抵抗を上昇させ、金型保持時間なしでも高い強度が得られる一因と推定される。

### 2.2 実用特性

スポット溶接性、化成処理性、および低温靱性を評価するため、板厚(t) 1.4mmの開発鋼冷延鋼板を900℃に加熱後、380℃まで強制冷却し、放冷した。さらに、エア圧力0.4~0.5MPa、φ0.3mmの鉄球を用いたショットブラストによって表面のスケールを除去して供試材とした。引張強さ(TS)は1500MPa級であることを確認している。

表3に示した条件によってスポット溶接を行い、ナゲット径に及ぼす電流の影響を調査した。その結果を図9に示す。ナゲット径が $4\sqrt{t}$ となる溶接電流値は6.0kA、ちり発生時(溶融金属の飛散)の溶接電流値は8.0kAを示し、従来の22MnB5鋼や他のハイテン鋼と同程度の約2.0kAの適正溶接電流範囲が存在する。図10に十字引張

表3 スポット溶接条件  
Table 3 Spot welding conditions

Electrode tip	Dome type Cu-Cr, tip diameter: 6 mm
Electrode force	4,000 N
Welding time	20 cycles (60Hz)

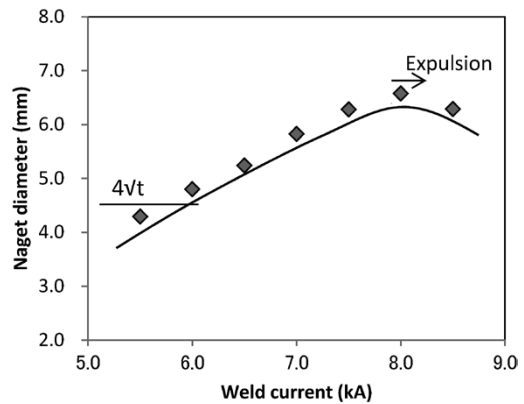


図9 スポット溶接電流とナゲット径の関係  
Fig. 9 Relationship between spot welding current and nugget diameter

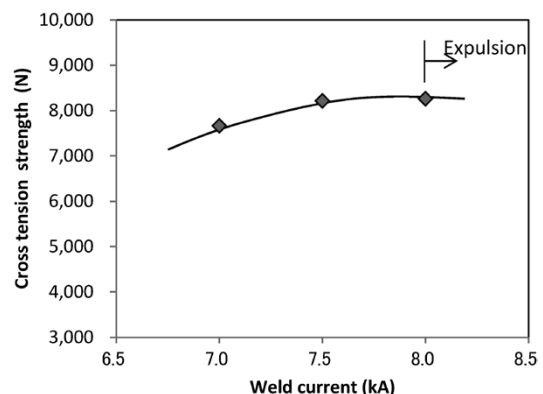


図10 スポット溶接電流と十字引張強度の関係  
Fig. 10 Relationship between spot welding current and cross tension strength



強度に及ぼす溶接電流の影響を示す。適正溶接電流範囲内で従来の22MnB5鋼と同程度の7,000 N以上の安定した十字引張強度が得られた。

化成処理性は、市販の処理液（日本ペイント(株)製サーフダインSD6350）を用いて評価した。鋼板表面のりん酸塩皮膜を図11に示す。すけ（素地の露出）は認められず、また結晶サイズや形態も良好である。

JIS 4号シャルピー試験片を作製し、評価した結果を図12に示す。いずれの試験温度においても脆性破面は確認されず、-40℃と室温で同等の吸収エネルギーを示しており、低温靱性の実用特性を満足する。

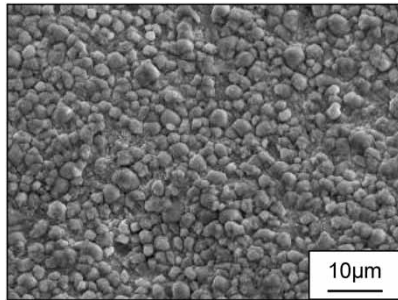


図11 開発鋼のりん酸塩結晶皮膜

Fig.11 Micrograph of phosphate crystal on developed steels

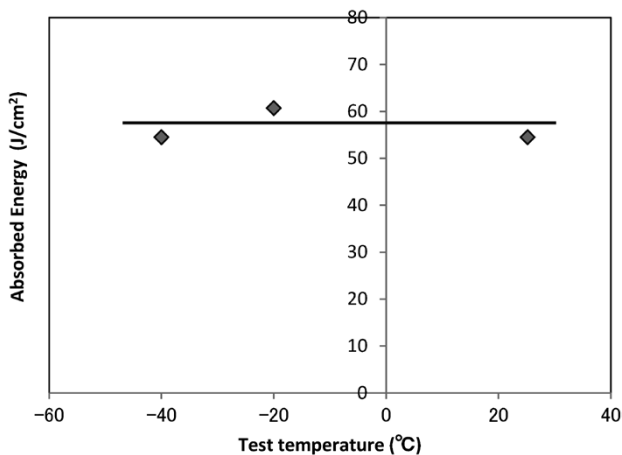


図12 開発鋼のシャルピー試験結果

Fig.12 Results of Charpy test of developed steel

### 3. 開発鋼の実用性の評価

#### 3.1 多工程ホットスタンプの検証

開発鋼の優れた焼入れ性と硬さ安定性は、多工程ホットスタンプ、あるいはテーラードブランクにおける差厚材溶接部のような、金型での接触が不十分となりやすいホットスタンプ<sup>10)</sup>にも効果を発揮できることが期待される。

そこでここでは、図13に示す工程で多工程ホットスタンプの検証実験を行った。本検証では、従来の1工程では成形が困難と想定される図13-Stage #3のような部品形状を3工程で成形する複数の金型セットを作製し、2工程、3工程それぞれにピアス、トリムを組み込んだ。これらの金型セットをクランクプレス機に装備した。開発鋼（板厚1.4mm）のブランクを900℃に加熱してStage #1金型に移送し、クランクプレス機のサイクルタイムを20spm (Shot per minute) として金型間はロボットで搬送した。なお、Stage #3の離型温度は約300℃であり、寸法精度は良好である。

得られた部品各部の硬さ分布を図14に示す。上記と同工程で成形した22MnB5鋼はいずれの測定位置におい

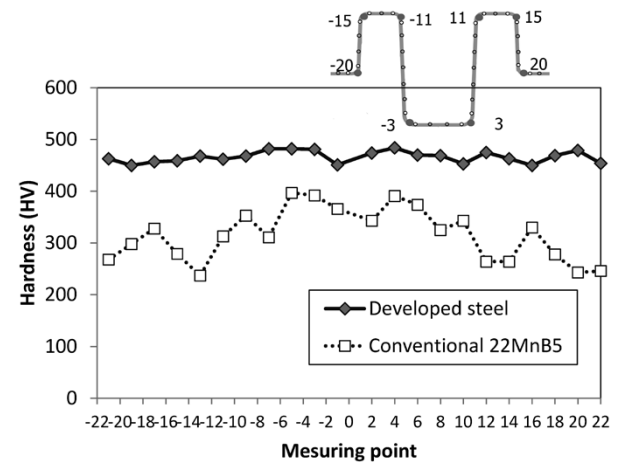


図14 部品の硬さ分布

Fig.14 Hardness distributions of specimens

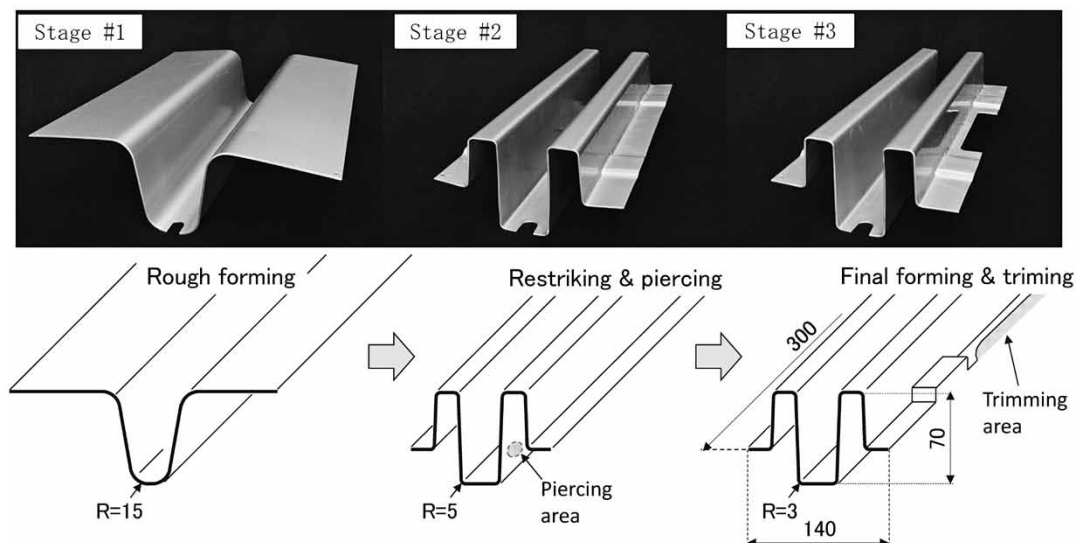


図13 多工程ホットスタンプにおける部材形状変化

Fig.13 Member shape changes in the multi-step hot stamping

ても450HVを満足せず、部品内での硬さのばらつきも大きい。いっぽうで開発鋼は、部品全体で450HV以上の安定した硬さが得られている。すなわち、開発鋼を用いることによってこのような多工程ホットスタンプを行うことが可能であり、複雑形状化のみならず、トリミングやピアシングも同一プレス機内での加工が可能であることを明らかにした。

### 3.2 開発鋼板の表面特性

22MnB5鋼および開発鋼の冷延鋼板を大気炉加熱により900℃まで昇温した後空冷し、700℃から室温まで金型冷却を行った。このときのそれぞれの鋼板表面の外観を図15に示す。22MnB5鋼ではスケールが多く剥(は)が

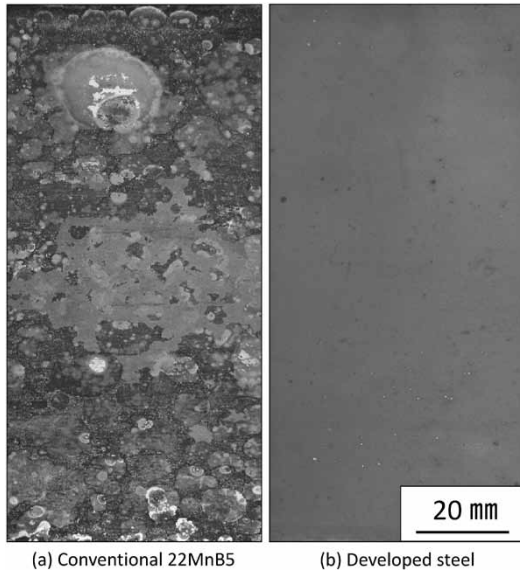


図15 金型冷却後の外観  
Fig.15 Sheet surface after die quenching

れ落ちているのに対し、開発鋼はスケール密着性に優れ、ほとんど剥がれ落ちない。Siは鋼の高温酸化抵抗を増し<sup>11)</sup>、酸化スケールの生成を抑制することが知られている。開発鋼は1.0%以上のSiを添加していることからスケールが薄くなり、密着性が向上したと考えられる。

このような開発鋼の特性は、実プレスにおいて金型内スケール剥がれを防止し、スケール噛み込みによる部品疵を防止できることが期待される。

**むすび** = 当社では今回、生産性に優れる新たなホットスタンプ用鋼板を開発し、本稿においてその主要特性について紹介した。開発鋼は、高生産性に加えて優れたと硬さ安定性を示す。また、スポット溶接性や化成処理性、低温靱性についても顧客の要求を満足する特性を有することから、多工程ホットスタンプへの利用へも期待される。さらに、優れたスケール密着性は金型内におけるスケールの剥離(はくり)を防止できることから、ホットスタンププロセスの安定化にも寄与する。

当社では今後も顧客から満足いただける鋼板の開発に努め、高強度鋼板の適用拡大に寄与していく所存である。

### 参考文献

- 1) 村田忠夫ほか：R&D神戸製鋼技報. 2017, Vol.66, No.2, p.17-20.
- 2) 福原恵美ほか. 日産技報. 2015, No.76, p.5.
- 3) 佐藤章仁. 塑性と加工. 2005, Vol.46, No.534, p.548.
- 4) 中嶋勝司. CAMP-ISIJ, 2004, Vol.17, p.980.
- 5) 小嶋啓達. プレス技術. 2004, Vol.42, No.8, p.38.
- 6) 瀬沼武秀ほか. 塑性と加工. 2008, Vol.49, No.567, p.71.
- 7) 瀬沼武秀ほか. 塑性と加工. 2010, Vol.51, No.594, p.54.
- 8) 森謙一郎ほか. 塑性加工春季講演会. 2015, p.247.
- 9) D. W. Fan et al. MS&T. 2007, p.98.
- 10) 藍田和雄. プレス技術. 2014, Vol.52, No.8, p.34.
- 11) 森岡 進. 鉄鋼腐食科学. 朝倉書店, 1972, p.58-60