

## 技術資料



# 高熱伝導率を有するホットスタンピング金型用鋼

## RDH395

樋口成起\*<sup>1</sup>, 梅森直樹\*<sup>1</sup>, 増田哲也\*<sup>2</sup>

### High Thermal Conductivity Steel for Hot Stamping “RDH395”

Shigeki HIGUCHI, Naoki UMEMORI and Tetsuya MASUDA

#### Synopsis

High thermal conductivity tool steel for hot stamping “RDH395” was developed. The characteristic of RDH395 is that it has high thermal conductivity while maintaining the high hardness required for tool steel. (thermal conductivity: 37-40 W/(m·K) at 54 HRC).

For hot stamping, high thermal conductivity tool steel improves cycle time of working because it promotes removal of heat from the steel sheet. Additionally, RDH395 has better wear resistance than JIS SKD61 (AISI H13) because it can be used at 54 HRC. In a hot stamping test, RDH395 decreased surface temperature and wear amount of die more than JIS SKD61. From the above, RDH395 is recommended for hot stamping dies.

## 1. 緒 言

近年、自動車の衝突安全および燃費性能向上ニーズによる適用部品の高強度化や軽量化のため、高張力鋼板（以後ハイテン材）の使用率<sup>1), 2)</sup>が上昇するとともに、ハイテン材強度も高くなってきている。そのハイテン材の加工法として日本国内では、これまで主に冷間プレス工法が適用されていた。しかしながら、冷間プレス工法では、1.2 GPa 級ハイテン材以上の高強度化ニーズにともない、ハイテン材特有のスプリングバックに起因する形状凍結性の悪さや金型の損傷（かじりや欠け）が顕著にみられるようになってきた<sup>3)</sup>。そこで、近年日本国内においてホットスタンピング工法が注目されつつある。

ホットスタンピング工法は、鋼板をオーステナイト変態域まで加熱した後に、金型内で成形と冷却（焼入

れ）を同時に行うため、1.5 GPa 級以上の超ハイテン材でスプリングバックが発生せずに成形可能となり、形状凍結性に優れるメリットがある。一方で、鋼板が一定温度以下になるまでプレス下死点保持による金型内での冷却が必要となるため、成形のサイクルタイムが冷間プレス工法よりも大幅に劣るデメリットがある。そのため、ホットスタンピング工法で使用される金型用鋼には、鋼板の抜熱を促進させサイクルタイムを向上させる目的で高い熱伝導率が要求される。同時に、金型長寿命化ニーズも存在するため、耐摩耗性向上の目的で高い硬さも要求される。

そこで、熱伝導率に特化させつつ金型に必要な焼入性や硬さを兼ね備えたホットスタンピング金型用鋼 RDH395 を開発した。本報告では、RDH395 の諸特性とホットスタンピング成形試験での抜熱効果および耐摩耗性を紹介する。

2018年3月28日 受付

\* 1 大同特殊鋼(株)技術開発研究所 (Corporate Research & Development Center, Daido Steel Co., Ltd.)

\* 2 大同特殊鋼(株)工具鋼事業部 (Tool Steel Marketing & Sales Department, Daido Steel Co., Ltd.)

## 2. RDH395の諸特性

### 2. 1 位置付け

Fig. 1にRDH395の熱間ダイス鋼（汎用鋼 JIS SKD61, 弊社開発鋼 DH31-EX), 冷間ダイス鋼（汎用鋼 JIS SKD11, 弊社開発鋼 DC53)との位置付けを示す。前述した通りRDH395は、熱伝導率に特化しており、熱間ダイス鋼の硬さを維持したまま従来にない高熱伝導率を有する鋼種である。

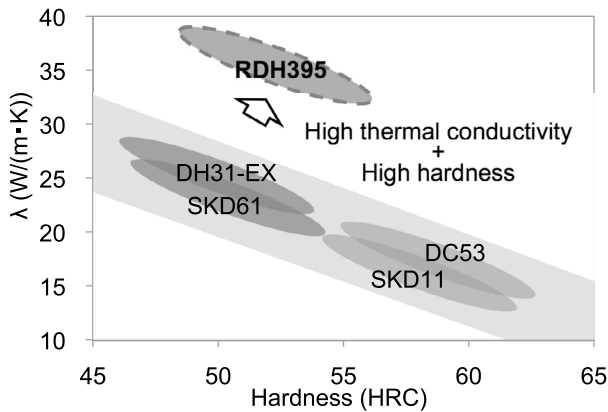


Fig. 1. Positioning of RDH395.

### 2. 2 熱伝導率

Fig. 2に熱伝導率（測定方法：レーザーフラッシュ法）の温度依存性を示す。RDH395の熱伝導率は、全温度域で35 W/(m·K)以上であり、既存鋼対比、非常に優れている。また、200℃付近で極大をとる傾向を示しており、最高で約40 W/(m·K)となる。

ホットスタンピング工法において、鋼板（22Mn5Bなど）はMs点が約400℃、Mf点が約200℃でマルテンサイト変態するため<sup>4)</sup>、早急に200℃以下に冷却した方が微細な組織が得られると思われる。その点においてRDH395の200℃付近の極大は有効だと考えられる。

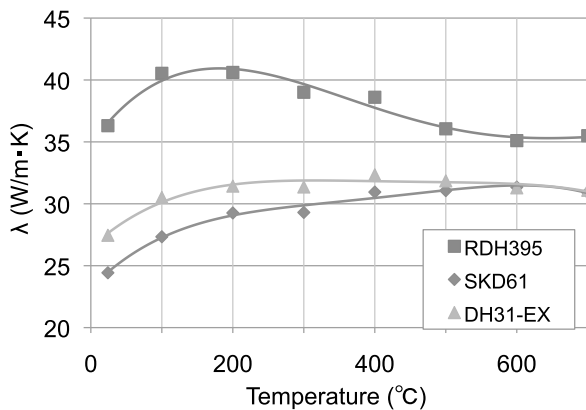


Fig. 2. Thermal conductivity.

### 2. 3 焼戻し性能

Fig. 3に焼戻し性能曲線を示す。1030℃で1h保持後に急冷して焼入れた試験片を用い、各温度で1h保持の焼戻しを2回行い硬さを測定した。RDH395の焼戻し硬さは、最大で約54 HRCであり、既存鋼と同等である。また、400～600℃の焼戻し温度間で安定して54 HRCとなり、既存鋼対比、二次硬化の極大値が明確でない。この挙動は、焼戻しでの硬さ調整を容易にするため、硬さ外れなどのトラブル抑制に有効だと考えられる。

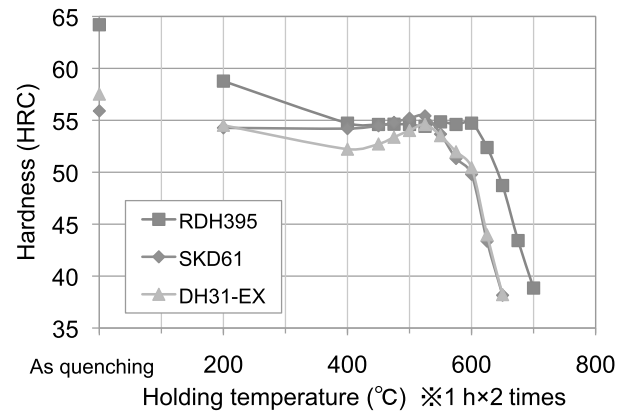


Fig. 3. Hardness at RT after tempering.

### 2. 4 焼入性

Fig. 4に1030℃から等速冷却した場合の連続冷却変態曲線（CCT）を示す。RDH395は、冷却速度1.5℃/minでもパーライトの析出が認められず、マイクロ組織で全面マルテンサイトとなる臨界冷却速度は、JIS SKD61と同等である。またFig. 5に焼入れ冷却速度を変えた場合の焼戻し硬さを示す。1030℃で1h保持後に各冷却速度で冷却し560℃で2回焼戻しを行った。RDH395は、9℃/min以上の焼入れ冷却速度であれば最高硬さ54 HRCが得られる。そのため、ある程度大きい金型であっても中心部の冷却速度が9℃/minを確保できれば内部硬さがばらつくことなく均一に熱処理可能である。

Fig. 6に実型サイズの熱処理を模擬した200mm角ブロック（厚：200mm、幅：205mm）における焼入・焼戻し後の断面硬さ分布を示す。真空炉を用いて1030℃で1h保持後に6bar（N<sub>2</sub>ガス）で冷却し560℃で2回焼戻しを行った。中心から表層まで均一に約54 HRCが得られており、実際の200mm角ブロックにおいても熱処理による硬さのばらつきが無いことを確認できた。

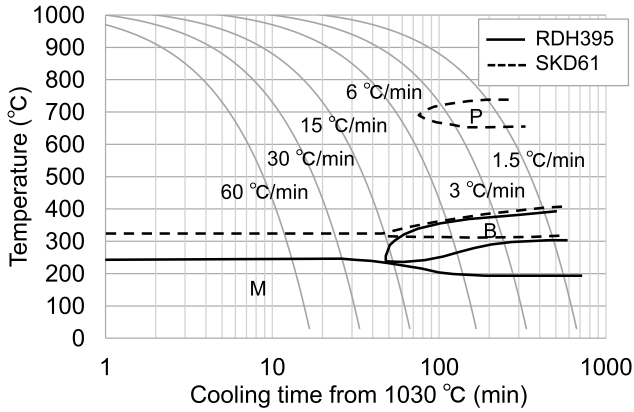


Fig. 4. Continuous cooling transformation diagrams (cooling from 1030 °C).

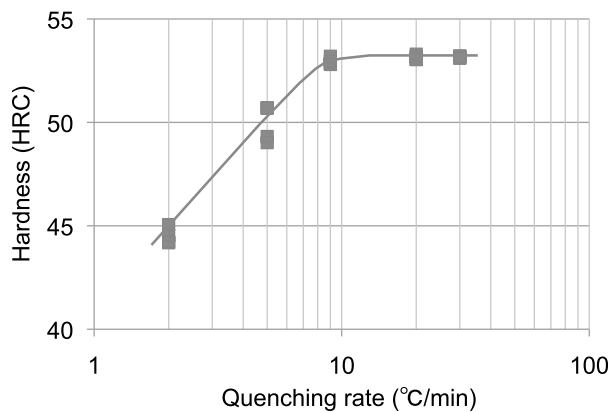


Fig. 5. Influence of quenching rate on tempering hardness.

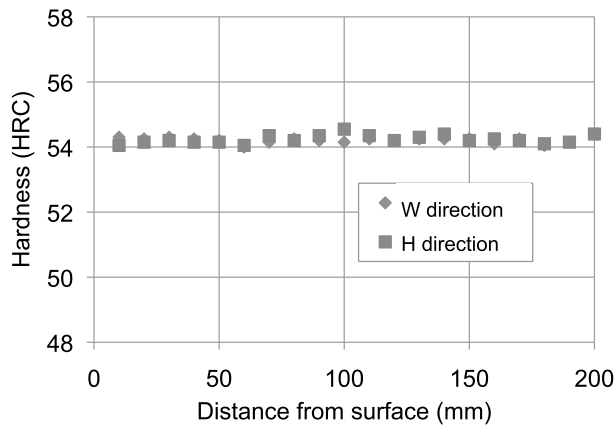


Fig. 6. Hardness distribution of cross section.

## 2. 5 軟化抵抗

Fig. 7 に 600 °C での軟化抵抗を示す。焼入・焼戻しを行った試験片を 600 °C で各時間保持した後に室温硬さを測定した。なお、初期硬さは、600 °C の焼戻しで得られる硬さ (RDH395 : 約 54 HRC, SKD61 : 約 50 HRC) に調質した。RDH395 は、100 h 保持後も 40 HRC 以上を

有している。既存鋼が 10 h 保持後に約 40 HRC に軟化していることから、RDH395 の軟化抵抗は、既存鋼対比、10 倍以上と非常に優れている。ホットスタンピング工法では、テーラードテンパリングや成形負荷が高い部分で金型が高温に晒される場合があるため、軟化にともなう摩耗や塑性変形などの金型損傷が懸念される。RDH395 の優れた軟化抵抗は、そのような損傷に対し有効だと考えられる。

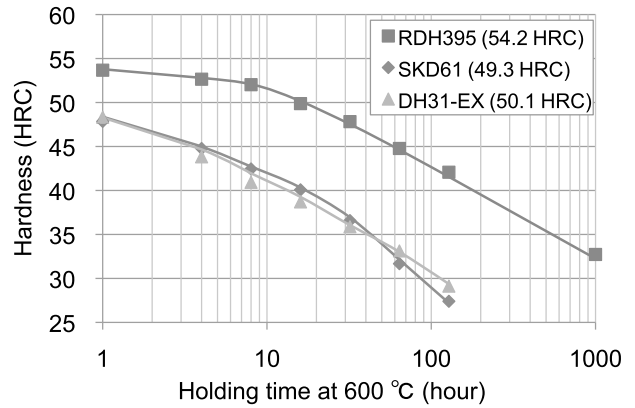


Fig. 7. Softening resistance.

## 2. 6 破壊靱性

Fig. 8 に T-L 方向の破壊靱性値 ( $K_{IC}$ ) を示す。約 54 HRC に調質した RDH395 の  $K_{IC}$  は、約 50 HRC の JIS SKD61 と同等であった。また、工具鋼硬さ - 破壊靱性のバンド上に位置しており、工具鋼としての必要特性は確保していると思われる。

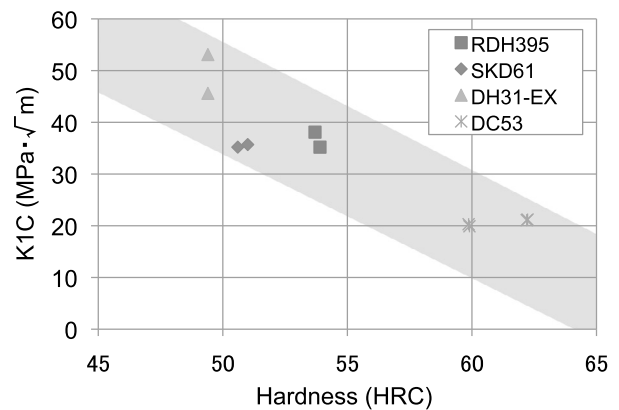


Fig. 8. Fracture toughness.

## 2. 7 窒化特性

Fig. 9 に PS 処理 (塩浴窒化処理, 大同 DM ソリューション(株)製) 後の硬さ分布を示す。RDH395 の窒化層の表層硬さは約 900 HV となり、窒化層深さは、既存鋼対比、約 2 倍の 0.36 mm 程度となる。

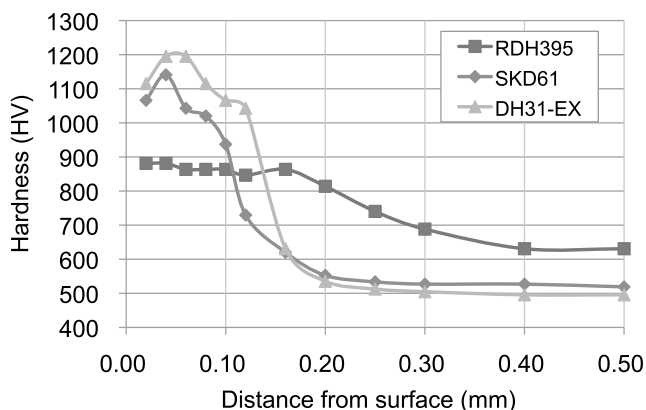


Fig. 9. Hardness distribution of PS nitriding.

## 2. 8 溶接性

Fig. 10 に溶接ままの溶接部表層から材料内部への硬さ分布を示す。焼入・焼戻を行った試験片に対し、TIG 溶接棒 (JIS SKD61) を用いて肉盛溶接した。RDH395 の溶接部硬さは、既存鋼と同等であるが、高軟化抵抗を有するため、HAZ 部では軟化が見られない。そのため、軟化した HAZ 部から生じる恐れがあるヒートクラックや座屈を抑制可能と思われる。

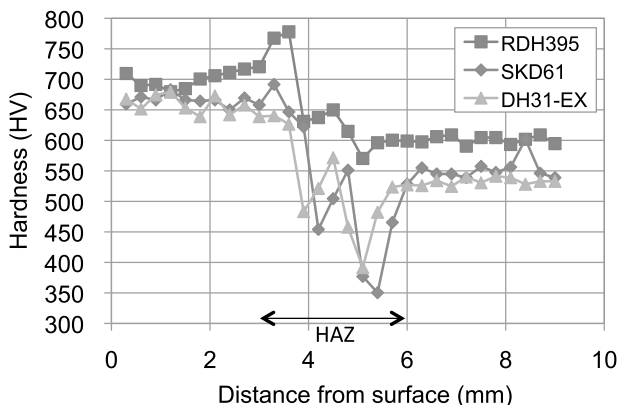


Fig. 10. Hardness distribution of TiG welding.

## 3. RDH395 の効果検証

### 3. 1 ホットスタンピング成形試験方法

Fig. 11 に RDH395 の効果検証に使用したハット曲げ型の模式図を示す。加速試験および実成型時のしわの影響を模擬するため下ダイは一部突起形状とした。また、比較鋼に JIS SKD61 を用い、それぞれの硬さは、実用時の大割れを考慮して破壊靱性値が同等となる硬さに調質した。試験では、900 °C で 300 s 加熱した鋼板を連続で成形し、金型の抜熱効果および耐摩耗性を評価した。

なお、抜熱効果確認には、Al めっき鋼板、耐摩耗性評価にはめっき無し鋼板を用いた。

Fig. 12 に鋼板の成形後断面硬さ分布を示す。成形後の鋼板は、下死点保持無しでも保持有りと同等の硬さが得られていたため、下死点保持は実施しないことにした。

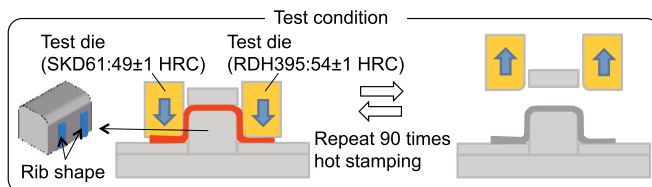


Fig. 11. Hot stamping test mold.

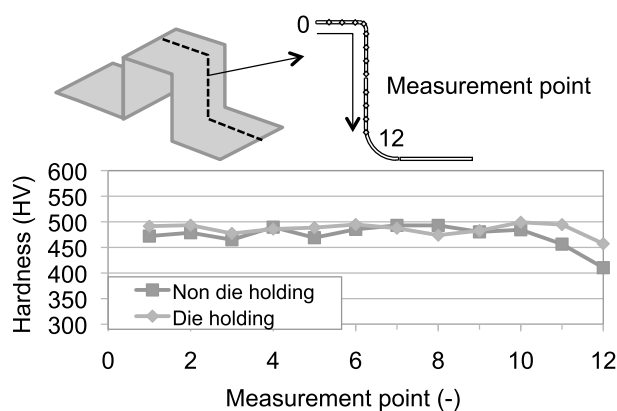


Fig. 12. Hardness distribution of steel sheet after hot stamping.

### 3. 2 高熱伝導率による抜熱効果

Fig. 13 にホットスタンピング成形試験における金型表面の型開き直後温度を示す。测温は、温度が安定する 30 ショット以降にサーモビューアを用いて行った。RDH395 の表面温度は、JIS SKD61 対比、約 20 °C 低くなっており、高熱伝導率を有する RDH395 の高い冷却能を確認した。この結果より、RDH395 の適用で鋼板の抜熱が早くなることが示唆され、サイクルタイム向上への貢献を裏付けることができた。

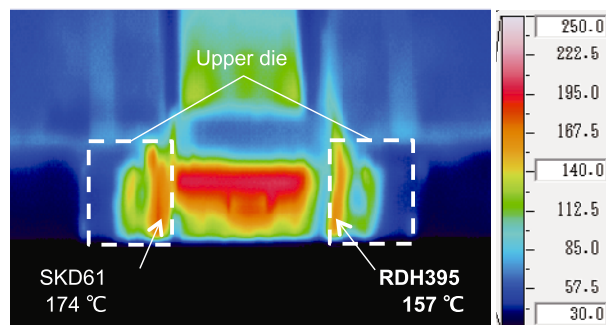


Fig. 13. Surface temperature of upper die after die quenching.

### 3. 3 耐摩耗性

Fig. 14 にホットスタンピング成形試験における金型摩耗量評価を示す。各ショットでダイの摩耗量を測定し、90 ショットまでの摩耗量推移を評価した。なお、摩耗量は、One-Shot 3D (VR-3100, (株)キーエンス製) を用いて摩耗部の体積で評価した。RDH395 は、摩耗が促進せず、90 ショット後において JIS SKD61 対比、摩耗量が約 70 % 低減していた。この結果より、RDH395 の適用で摩耗による型メンテナンス回数削減にも貢献可能と思われる。

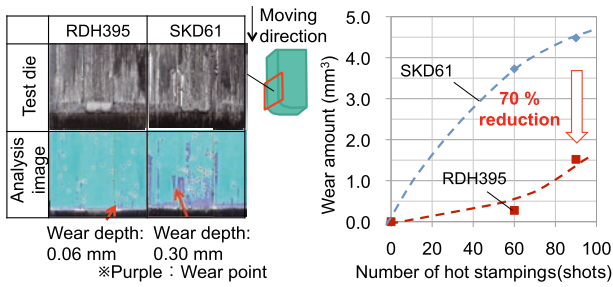


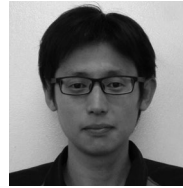
Fig. 14. Wear amount of hot stamping die.

## 4. 結 言

- (1) RDH395は、熱間ダイス鋼の硬さを維持したままで 35～40 W/(m・K) の高い熱伝導率を有するホットスタンピング金型用鋼である。高い冷却能により、ホットスタンピング成形時の抜熱が早くなるため、サイクルタイム向上に貢献可能だと思われる。
- (2) RDH395は、高熱伝導率に加え、軟化抵抗も非常に優れる。テーラードテンパリングなどで高温に晒された場合でも軟化し難く、摩耗や塑性変形の抑制に有効だと考えられる。
- (3) 焼入性や破壊靱性値などのその他特性に関しても、工具鋼として必要な特性を満たしており、金型として使用上問題ないと思われる。
- (4) ホットスタンピング成形試験により、RDH395の適用で抜熱が早くなるとともに摩耗量も低減することを確認した。RDH395は、ホットスタンピング成形の金型に推奨される鋼種である。

(文 献)

- 1) 吉武明英, 池田倫正: 塑性と加工, 52(2011), 766.
- 2) 薄鋼板成形技術研究会編: プレス成型難易ハンドブック, 日刊工業新聞社, 2017, 32.
- 3) 森謙一郎: ホットスタンピング入門, 日刊工業新聞社, 2015, 23.
- 4) 森謙一郎: ホットスタンピング入門, 日刊工業新聞社, 2015, 52.



樋口成起



梅森直樹



増田哲也